

Schriftenreihe des  
Lehrstuhls für  
Logistikmanagement

Nr. 1  
Jahrgang 2018

Kotzab, H. (Hrsg.)

Standortplanungsmodelle:  
Softwarelösungen und deren praktische Bedeutung in  
Frachtumschlag und Lagerei

Bogdanow, Martin

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	III
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	IV
<b>Formelverzeichnis</b> .....	V
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	VI
<b>1 Einleitung</b> .....	1
<b>2 Grundlagen der Standortplanungsforschung</b> .....	3
2.1 Strategisches Netzwerkdesign in einer Supply Chain .....	3
2.2 Aufgaben der Lagerei und des Frachtumschlags.....	4
2.3 Historischer Überblick zu den Themen dieser Arbeit .....	5
2.4 Qualitative und quantitative Standortfaktoren.....	8
2.5 Einführung in die Graphentheorie .....	12
2.6 Einführung in die Distanzberechnung .....	15
<b>3 Entscheidungsmethoden zur Standortwahl</b> .....	22
3.1 Qualitative Standortplanung .....	22
3.1.1 Checklistenverfahren.....	22
3.1.2 Nutzwertanalyse .....	24
3.1.3 Sonstige qualitative Entscheidungshilfen.....	25
3.2 Investitionskostenmodelle .....	26
3.2.1 Statische Verfahren .....	27
3.2.2 Dynamische Verfahren.....	28
3.2.3 Kritische Beurteilung .....	29

---

3.3	Analytische Methoden der Standorttheorie .....	30
3.3.1	Center of Gravity Methode.....	35
3.3.2	Median Probleme .....	36
3.3.3	Center-Probleme.....	41
3.3.4	Covering Probleme.....	45
3.3.5	Hub Location Problem .....	47
3.3.6	Erweiterungen der Modelle .....	49
<b>4</b>	<b>Software zur Lösung von Modellen in der Standortplanung.....</b>	<b>51</b>
4.1	Software zur Lösung von linearen und ganzzahligen Optimierungsproblemen.....	52
4.2	Softwarelösungen für die Standortplanung .....	53
<b>5</b>	<b>Befragung von Entscheidungsträgern in der Standortplanung.....</b>	<b>61</b>
5.1	Durchführung der Befragung.....	64
5.2	Ergebnisse der Onlinebefragung .....	65
5.3	Ergebnisse der Telefonate .....	70
5.4	Kritische Beurteilung der Befragung.....	71
<b>6</b>	<b>Analyse und Auswertung der Befragung.....</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>76</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>A</b>
	<b>Verweise zur beschriebenen Optimierungssoftware.....</b>	<b>N</b>
	<b>Fragebogen der Umfrage.....</b>	<b>O</b>

---

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Standortfaktorensystematik nach Hansmann.....	10
<b>Abbildung 2:</b> Gerichtete und ungerichtete Graphen .....	13
<b>Abbildung 3:</b> parallele Kanten, parallele Pfeile, Schlingen .....	14
<b>Abbildung 4:</b> Manhattan Distance .....	16
<b>Abbildung 5:</b> Euklidische Entfernungsmessung .....	17
<b>Abbildung 6:</b> Quadrierte Euklidische Entfernungsmessung .....	18
<b>Abbildung 7:</b> $l_p$ -Entfernungsmessung .....	19
<b>Abbildung 8:</b> Kostenstruktur von Distributionssystemen.....	33
<b>Abbildung 9:</b> Variation in Logistics Cost and Response Time with Number of Facilities ....	33
<b>Abbildung 10:</b> Optimal solution to the absolute 1-, 2-, 3-, and 5-center problem.....	42
<b>Abbildung 11:</b> Comparison of absolute and vertex p-Center solutions.....	43
<b>Abbildung 12:</b> Ergebnisse zur Bekanntheit qualitativer Methoden.....	66
<b>Abbildung 13:</b> Ergebnisse zur Bekanntheit transportkostenorientierter Methoden.....	67
<b>Abbildung 14:</b> Ergebnisse zur Bekanntheit investitionskostenorientierten Methoden.....	67
<b>Abbildung 15:</b> Ergebnisse zur Relevanz der Entscheidungsmethoden.....	68
<b>Abbildung 16:</b> Ergebnisse zur Beurteilung verschiedener Aussagen .....	69
<b>Abbildung 17:</b> Ergebnisse zur Beurteilung von Standortfaktoren .....	69

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Hauptaufgaben der Lagerei und des Frachtumschlags.....	5
<b>Tabelle 2:</b> Beispiel für ein Checklistenverfahren .....	23
<b>Tabelle 3:</b> Nutzwertanalyse am Beispiel der Standortplanung eines Bremer ZOB .....	25
<b>Tabelle 4:</b> Charakterisierung von Standortplanungsproblemen .....	34
<b>Tabelle 5:</b> Notation of different type of HLPs .....	48
<b>Tabelle 6:</b> Software für LP und MILP.....	53
<b>Tabelle 7:</b> Softwarelösungen für die Standortplanung .....	59
<b>Tabelle 8:</b> Input und Output der betrachteten Standortplanungsmodelle .....	78

---

## Formelverzeichnis

<b>Formel 1:</b> Distanzberechnung auf einer Linie.....	15
<b>Formel 2:</b> rechtwinkliges Entfernungsmaß .....	16
<b>Formel 3:</b> euklidisches Entfernungsmaß .....	17
<b>Formel 4:</b> quadriertes euklidisches Entfernungsmaß .....	17
<b>Formel 5:</b> $l_p$ -Entfernungsmaß .....	18
<b>Formel 6:</b> Rentabilitätsvergleichsrechnung.....	27
<b>Formel 7:</b> Amortisationsrechnung.....	28
<b>Formel 8:</b> Kapitalwertmethode .....	28
<b>Formel 9:</b> Annuitätenmethode.....	29
<b>Formel 10:</b> interne Zinssatz-Methode .....	29
<b>Formel 11:</b> Center of Gravity Methode.....	36
<b>Formel 12:</b> 1-Median Problem im kontinuierlichen Raum .....	37
<b>Formel 13:</b> p-Median Problem im kontinuierlichen Raum .....	38
<b>Formel 14:</b> p-Median Problem im Netzgraphen .....	40
<b>Formel 15:</b> Warehouse Location Problem .....	41
<b>Formel 16:</b> 1-Center Problem im kontinuierlichen Raum.....	41
<b>Formel 17:</b> vertex 1-Center Problem im Netzgraphen .....	43
<b>Formel 18:</b> vertex p-Center Problem im Netzgraphen .....	44
<b>Formel 19:</b> Set Covering Problem.....	46
<b>Formel 20:</b> Maximum Covering Problem .....	47
<b>Formel 21:</b> Hub Location Problem .....	48

## Abkürzungsverzeichnis

APO	<b>A</b> dvanced <b>P</b> lanner and <b>O</b> ptimizer
CoG	<b>C</b> enter of <b>G</b> ravity
ERP	<b>E</b> nterprise <b>R</b> essource <b>P</b> lanning
FIFO	<b>F</b> irst <b>I</b> n <b>F</b> irst <b>O</b> ut
FLO	<b>F</b> acility <b>L</b> ocation <b>O</b> ptimizer
FLP	<b>F</b> acility <b>L</b> ocation <b>P</b> roblem
HLP	<b>H</b> ub <b>L</b> ocation <b>P</b> roblem
GIS	<b>G</b> eoinformationssystem
LC	<b>L</b> abel <b>C</b> orrecting
LIFO	<b>L</b> ast <b>I</b> n <b>F</b> irst <b>O</b> ut
LISA	<b>L</b> ocal <b>I</b> ndicators of <b>S</b> patial <b>A</b> ssociation
LP	<b>L</b> inear <b>P</b> rogramming
LS	<b>L</b> abel <b>S</b> etting
MFLP	<b>M</b> ulti <b>F</b> acility <b>L</b> ocation <b>P</b> roblem
MILP	<b>M</b> ixed <b>I</b> nteger <b>L</b> inear <b>P</b> rogramming
N.b.	<b>N</b> eben <b>b</b> edingung
NLP	<b>N</b> on <b>l</b> inear <b>P</b> rogramming
SOP	<b>S</b> tand <b>o</b> rt <b>p</b> lanung
SFLP	<b>S</b> ingle <b>F</b> acility <b>L</b> ocation <b>P</b> roblem
SPP	<b>S</b> hortest <b>P</b> ath <b>P</b> roblem
WLP	<b>W</b> arehouse <b>L</b> ocation <b>P</b> roblem
WSP	<b>W</b> arehouse <b>S</b> ite <b>P</b> lanner
ZOB	<b>Z</b> entraler <b>O</b> mnibus <b>B</b> ahnhof

# 1 Einleitung

Bei einer make-or-buy Entscheidung wird geprüft, welche Prozesse sich auslagern lassen, um sich als Unternehmen auf seine Kernkompetenzen konzentrieren zu können (vgl. Gudehus & Kotzab, 2012: 96, 801ff.). Die steigende Bedeutung der Frachtumschlags- und Lagereibranche ist daher auch der Zunahme solcher Entscheidungen und somit einer Zunahme von externen Beschaffungslagern und dem Outsourcing von Logistikprozessen geschuldet. So übertragen beispielsweise deutsche Automobilhersteller immer häufiger ihre Lagereiprozesse an dafür spezialisierte Logistikdienstleister (DSLIV, 2015: 32). Die Fläche, die von Lager- und Umschlageinrichtungen in Anspruch genommen wird, beträgt inzwischen 99,5 Millionen m<sup>2</sup>. Davon sind etwa 72 % Lagerflächen, welche sich in der Praxis allerdings nicht immer eindeutig von Frachtumschlagsflächen abgrenzen lassen, da viele Flächen doppelt genutzt werden. Bis zuletzt gab es einen Anstieg der bewirtschafteten Lagerflächen pro Betrieb auf durchschnittlich 22.346 m<sup>2</sup>. Ein Drittel der Lager- und Umschlagsflächen werden dabei gemietet, wodurch sich bei ungewissen wirtschaftlichen Entwicklungen stets eine Flexibilität wahren lässt (DSLIV, 2015: 31-32).

Diese Arbeit wird sich mit dem Thema befassen, wie günstige Standorte für logistische Einrichtungen lokalisiert werden können. Der Schwerpunkt wird hierbei auf den Bereich des Frachtumschlags und der Lagerei gelegt, auch wenn Hintergründe von Standortentscheidungen beleuchtet werden, die genauso auf die Lokalisierung anderer Einrichtungen zutreffen. Bei der Standortplanung im Sinne dieser Arbeit geht es um die Beurteilung von Standorten und um die Optimierung ihrer Lage. Dabei können verschiedene Methoden angewandt werden um im Rahmen einer solchen Planung eine Entscheidung zu treffen. Moradi und Bidkhorji (2009: 37) sowie Eiselt und Sandblom (2012: 224) sehen eines von vielen Anwendungsfeldern der mathematischen Standortoptimierung darin, Lagerhäuser in Bezug zu Produktionsstätten und Kunden zu lokalisieren. John Current et. al (2002: 83-84) zeigen eine ganze Reihe verschiedener Anwendungsmöglichkeiten für mathematische Standortplanungsmodelle auf und zählen auch Lagerhäuser und Frachtumschlagsplätze dazu. Es zeigt sich daher ein großes Interesse darin, Einrichtungen der Lagerei und des Frachtumschlags optimal zu positionieren.

Ziel dieser Arbeit soll sein, eine Übersicht über verschiedene qualitative und quantitative Methoden zu bieten, welche im Rahmen einer Standortplanung genutzt werden können. Dabei wird stets der Anspruch verfolgt wissenschaftsgeschichtliche Urheber und Entwicklungen zu benennen. Zudem soll herausgefunden werden, welche Software in diesem Zusammenhang verfügbar ist und wie sich bestehende Angebote in ihrem Funktionsumfang unterscheiden. Hierauf aufbauend soll überprüft werden, welche Methoden und Softwarelösungen tatsächlich in der Praxis bekannt sind und angewendet werden. Auch sollen die Faktoren herausgefunden werden, welche bei einer Standortentscheidung in der Branche der Lagerei und des Frachtumschlags eine maßgebliche Rolle spielen.



Diese Arbeit ist in vier Hauptteile gegliedert: Grundlagenklärung, Beschreibung verschiedener Entscheidungsmethoden zur Standortwahl, Softwarelösungen und die Befragung von Entscheidungsträgern in der Standortplanung. Im Rahmen der Grundlagen wird erklärt, was unter einem strategischen Netzwerkdesign zu verstehen ist und wie die Standortplanung in der Logistik einzuordnen ist. Anschließend werden die Aufgaben in Lagerei und Frachtumschlag beschrieben. Es folgt ein Kapitel zu historischen Erkenntnissen in den Bereichen Standorttheorie, Graphentheorie und Distanzberechnung. Daran schließt ein Kapitel an, welches verschiedene Sichtweisen und Definitionsansätze zu dem Begriff „Standortfaktor“ beleuchtet. Da analytische Methoden in der Standorttheorie ein Verständnis über Graphen und die Ermittlung von Distanzen voraussetzen, werden diese Themen in den Kapiteln 2.5 und 2.6 von Grund auf beschrieben. Die im nächsten Hauptteil folgenden Entscheidungsmethoden zur Standortwahl werden in drei Abschnitte unterteilt: qualitative Entscheidungsmethoden, Investitionskostenmodelle und analytische Methoden der Standorttheorie. Während die ersten zwei dem Bereich der Standortbeurteilung zuzuschreiben sind, geht es bei analytischen Methoden grundsätzlich um die Standortoptimierung. Im vierten Kapitel werden die Ergebnisse aus der Recherche zu entsprechenden Softwarelösungen präsentiert. Zum einen wird eine Übersicht über Softwarelösungen für Optimierungsprobleme gegeben, zum anderen wird Software vorgestellt und beurteilt, welche ausschließlich zur Planung von Standorten dient. Kapitel 5 befasst sich mit einer Befragung, die mit Entscheidungsträgern in der Standortplanung durchgeführt wurde. Es wird die methodische Herangehensweise beschrieben und erklärt, wieso sich eine quantitative Umfrage für die Untersuchung eignet. Anschließend werden in zwei Kapiteln die Ergebnisse präsentiert und es erfolgt eine kritische Beurteilung der Vorgehensweise. Im sechsten Kapitel werden die Ergebnisse ausgewertet und interpretiert. Das letzte Kapitel bietet schließlich eine Zusammenfassung dieser Arbeit und einen kurzen Ausblick über aufbauende Forschungsmöglichkeiten.

## 2 Grundlagen der Standortplanungsforschung

Zu Beginn sollen die Grundlagen der Forschung zur Standortplanung beschrieben werden. Im ersten Unterkapitel wird beschrieben, was ein Netzwerkdesign ist und wie die Standortplanung in der Logistik einzuordnen ist. Dann werden die Aufgaben der Lagerei und des Frachtumschlags aufgezeigt und eingegrenzt. Anschließend wird ein historischer Überblick über die Themen in dieser Arbeit gegeben. Dabei geht es hauptsächlich um die Standorttheorie, jedoch werden auch Meilensteine in der Graphentheorie und bei den Kürzeste-Wege-Algorithmen angeschnitten. Im darauf folgenden Kapitel wird der Standortfaktor definiert und es werden Standortfaktoren verschiedener Autoren zusammengetragen. Die letzten zwei Unterkapitel in diesem Grundlagenteil werden dazu genutzt um ein Basiswissen zu der Graphentheorie und der Distanzberechnung zu generieren, da dieses in Kapitel 3.3 zum Verständnis verschiedener Modelle vorausgesetzt wird.

### 2.1 Strategisches Netzwerkdesign in einer Supply Chain

Eine Supply Chain besteht aus einem Netzwerk verschiedener Einrichtungen, wie Produktionsstätten, Distributionszentren, Lagerhäusern und Servicecentern, welche unterschiedliche Aufgaben erfüllen. Eine hohe Effizienz der Supply Chain wird durch die optimale Netzwerkplanung erreicht. An die Netzwerkplanung bestehen hohe Anforderungen, da heute geplante Einrichtungen auch in den Folgejahren erfolgreich funktionieren sollen, obwohl sich Markttrends oder Systembedingungen verändern. Die Standortplanung wird daher der strategischen Planung zugerechnet, denn es handelt sich typischerweise um Langzeitprojekte mit hohen Kosten, die zudem einen großen Einfluss auf die taktische und operative Ebene haben (Bender et al., 2002: 176-177). In diesem Rahmen muss auch entschieden werden, ob der Kauf einer Einrichtung einer Miete vorzuziehen ist. Letztere bietet sich insbesondere dann an, wenn Nachfrage, Preise, Wechselkurse oder Wettbewerbslage instabil sind (Chopra & Meindl, 2007: 152). Die größte Herausforderung an die Gestaltung des Netzwerkdesigns liegt darin, gleichzeitig verschiedene Länder, Planungsperioden, Produkte, Kunden, Händler und Zulieferer, Produktions- und Distributionsstätten sowie Transportmöglichkeiten zu berücksichtigen (Goetschalckx & Fleischmann, 2005: 121).

Daraus resultieren folgende Entscheidungen, die im Rahmen des Netzwerkdesigns getroffen werden müssen (Chopra & Meindl, 2007: 114-115; Goetschalckx & Fleischmann, 2005: 121; Bender et al., 2002: 177):

- die Anzahl, Standorte und Kapazitäten aller benötigten Einrichtungen in der Supply Chain
- die Rolle, die jede Einrichtung in der Supply Chain einnehmen soll
- die Zuständigkeit der Zulieferer für bestimmte Rohstoffe und bestimmte Einrichtung

- die Beziehungen der verschiedenen Herstellprozesse und die Aufteilung der Produkte auf die Produktion
- die Mengen der Produkte und Materialien, die zu produzieren, transportieren und zu lagern sind
- die Transportkanäle, über die geliefert werden soll
- welche Märkte von welcher Einrichtung bedient werden sollen.

Wie entscheidend das Netzwerkdesign für weitere Planungsschritte ist, zeigt beispielsweise Bazargan (2010) am Beispiel von kommerziellen Luftverkehrsunternehmen. Erst durch die Bestimmung des Netzwerkdesigns können schrittweise die Flugzeugflotte, die Flugrouten und schließlich das Personal geplant werden.

Ein dazu ergänzender Ansatz sind Location-Routing Probleme. Solche Modelle zielen auf die gleichzeitige Optimierung von zwei Planungsschritten: der Planung von Standorten und der Routenplanung. Dies bedeutet, dass kein Standort, von dem alle Nachfragepunkte bedient werden können, gesucht wird, sondern stattdessen ein Standort mit einer günstigen Routinglösung ermittelt wird. Hierfür müssen drei aufeinander aufbauende Entscheidungen getroffen werden: (1) Wo soll der Standort lokalisiert werden? (2) Welche Kunden werden dem Standort zugeteilt? (3) Wie soll die Route der Fahrzeuge aufgebaut sein, um die Kunden von den Standorten aus zu bedienen? (Current et al., 2002: 95). Auf diese Verknüpfung von Standort- und Routingproblemen soll in dieser Arbeit jedoch nicht weiter eingegangen werden. Für eine Übersicht zu aktuellen Herausforderungen sei auf Drexl und Schneider (2015), Prodhon und Prins (2014) sowie auf Nagy und Salhi (2007) verwiesen.

## **2.2 Aufgaben der Lagerei und des Frachtumschlags**

Diese Arbeit fokussiert sich auf die Lagerei und den Frachtumschlag. Da bereits Merkmale genannt wurden, welche diese Branche auszeichnen und Dimensionen von Lager- und Umschlagsflächen dargelegt wurden, soll dieses Kapitel nun Aufschluss über die genauen Tätigkeiten in diesen Bereichen geben.

In der nachfolgenden Tabelle 1 werden die genauen Aufgaben zusammengefasst dargestellt, welche diesen logistischen Feldern zuzuschreiben sind. Die Hauptaufgaben sind nicht immer scharf voneinander zu trennen und es kommt teilweise zu Überschneidungen bei Tätigkeiten in der Lagerei und bei Tätigkeiten im Frachtumschlag. Grundsätzlich sind dabei zwei Bereiche von Aufgaben zu unterscheiden: die operativen Aufgaben und die administrativen Aufgaben. So befassen sich operative Aufgaben eher mit der Bearbeitung und örtlichen Verschiebung von Waren und Sendungsstücken, wohingegen administrative Aufgaben Management- und Planungsprozesse umsetzen (Gudehus & Kotzab, 2012: 804).

## HAUPTAUFGABEN DER LAGEREI UND DES FRACHTUMSCHLAGS

	Frachtumschlag	Lagererei
<b>operative Aufgaben</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beladen und Entladen</li> <li>• Umschlag und Transshipment</li> <li>• Zusammenführen und Aufteilen von Ladungseinheiten</li> <li>• Sortieren und Ordnen</li> <li>• Verpacken und Auspacken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Aufgaben des Frachtumschlags</li> <li><b>zusätzlich zu diesen:</b></li> <li>• Einlagerung und Auslagerung</li> <li>• Zwischenlagerung</li> <li>• Lagerhaltung</li> <li>• Kommissionierung</li> <li>• Zusammenführung von Aufträgen</li> <li>• Eingangsprüfung</li> <li>• Qualitätsprüfung</li> <li>• Verpackung und Warenauszeichnung</li> <li>• Zusammenführung von Ladungseinheiten</li> <li>• Zusammenführung von Sendungen</li> </ul>
<b>administrative Aufgaben</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung der Verpackung und Abfüllung</li> <li>• Planung der Aufträge und des Personals</li> <li>• Planung der Ladungsträger und Handling-Geräte</li> <li>• Arrangement und Management der operativen Aufgaben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung und Errichtung von Gebäuden, Systemen und Equipment</li> <li>• Management der operativen Lagerhaltung</li> <li>• Lageradministration</li> <li>• Bestandskontrolle und Bestandsplanung</li> <li>• Auftragsabwicklung</li> </ul>

Tabelle 1: Hauptaufgaben der Lagererei und des Frachtumschlags (eigene Darstellung, zusammengefasst und übersetzt aus Gudehus & Kotzab, 2012: 804).

### 2.3 Historischer Überblick zu den Themen dieser Arbeit

Drei Themen werden in diesem Kapitel aus einer wissenschaftsgeschichtlichen Perspektive genauer betrachtet. Zu Anfang soll ein Überblick über die wichtigsten Ereignisse und Kontroversen in der Standorttheorie gegeben werden. Anschließend werden die Entstehung der Graphentheorie und die erste publizierte Verwendung des Begriffs „Graph“ beschrieben. Abschließend wird die Entstehungsgeschichte von Distanzberechnungsverfahren im Graphen beschrieben. Dieser letzte Teil macht ersichtlich, dass viele Wissenschaftler zu den verschiedenen Problemlösungen beigetragen haben und sich dennoch bis heute nur einige, wenige mit der Namensgebung dieser Verfahren rühmen dürfen.

Die erste Arbeit, die das Thema der Standortplanung aus wissenschaftlicher Sicht aufgreift, ist die von Johann Heinrich von Thünen aus dem Jahr 1826. Während sich diese Abhandlung noch auf den landwirtschaftlichen Betrieb bezog, kamen in den folgenden Jahren immer mehr Arbeiten auch über die industrielle Standorttheorie dazu (Bankhofer, 2001: 21). Alfred Weber (1909) gilt als der erste, der eine systematische Standorttheorie entwickelt hat, welche auf die Strukturmerkmale der industrialisierten Wirtschaft aufbaut. Auf ihn ist auch das sogenannte

Weber-Problem zurückzuführen, ein transportkostenorientiertes Modell zur Standortoptimierung (siehe Kapitel 3.3.2). Doch auch schon vor Weber gab es Wissenschaftler, die sich mit der Standortplanung befasst haben. So argumentiert Harold W. Kuhn (1973), dass das Weber-Problem bereits 1750 von Pierre de Fermat untersucht und gelöst wurde. Anhand sehr alter und nur schwer zugänglicher Quellen zeigt Kuhn, dass bereits der italienische Physiker und Mathematiker Evangelista Torricelli (1608-1647), ein Schüler von Galileo, und der italienische Mathematiker Battista Cavalieri (1598-1647) sich unabhängig voneinander mit geometrischen Standortfragen beschäftigten und auch eine Lösung des Weber-Problems aufzeigten. Eine detaillierte Aufarbeitung der Geschichte zu diesem Thema bietet Wesolowsky (1993). Eine weitere historische Betrachtung zur Entstehung der Standorttheorie (Englisch: *location science*), sowie eine Zusammenfassung des heutigen Standards bieten Love et al. (1988).

Laut Hale und Moberg (2003: 23-24) gelten außerdem folgende Ereignisse und Persönlichkeiten als richtungsgebend in der Standorttheorie: Im Jahr 1885 fand George Chrystal als erster die geometrische Lösung für ein ungewichtetes 1-Center-Problem (siehe Kapitel 3.3.3). Harold Hotelling (1929) legte als erster eine Arbeit zum Einfluss von Wettbewerbern auf Standortentscheidungen vor. Im Jahr 1937 stellte Endre Weiszfeld (1937) einen Algorithmus zur Lösung des Weber-Problems vor (siehe Kapitel 3.3.2). In diesem Zusammenhang kann William Miehle (1958) genannt werden, der diesen Algorithmus entdeckte, den Beweis korrigierte und schließlich passend in die Standortforschung einordnete. Der Weiszfeld-Algorithmus blieb somit über zwanzig Jahre unentdeckt, was womöglich daran liegt, dass er in einem japanischen Mathematikjournal auf Französisch publiziert wurde. Seifollah Hakimi (1964) hat ausgiebig die Standortplanung in einem Netzwerk erforscht und grundlegende Erkenntnisse hierzu vorgestellt. So unter anderem die Lösung des  $p$ -Median und des  $p$ -Center-Problems (siehe Kapitel 3.3.2 und 3.3.3). Und schließlich Leon Cooper (1963), der einen wertvollen Beitrag zur Forschung im Bereich der Location-Allocation-Probleme<sup>1</sup> geleistet hat. Isabel Mota (2017: 4126) sieht zudem die Leistungen von ReVelle und Swain (1970) als einen bedeutsamen Einfluss auf die Entwicklung der Standortplanungsforschung, da diese die mathematische Programmierung, in Form von linearer Programmierung und Branch-and-Bound-Methoden, diesem Bereich nahebrachten.

Die Bestimmung eines optimalen Standortes abgeleitet von Webers Methode sorgt für Diskussion in der Betriebswirtschaftslehre. Bei seiner „reinen Theorie des Standorts“ handelt es sich um ein statisch geschlossenes Modell, welches sich lediglich auf mathematisch

---

<sup>1</sup> Bei der es nicht nur um die Lokalisierung der Standorte (Location) geht, sondern zugleich die optimale Zuordnung von Kunden beachtet wird (Allocation). Es gilt dabei zwischen eindeutiger (Single-Allocation) und mehrfacher (Multi-Allocation) Zuordnung zu unterscheiden (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 102).

berechenbare Standortfaktoren bezieht. In der Grundform werden Absatzfaktoren ausgeklammert und lediglich Transport- und Arbeitskosten, sowie Agglomerationseffekte in Betracht gezogen. An diesem Modell wird kritisiert, dass eine zu einseitige Betrachtung der Kostenseite vorgenommen wird und die Absatzseite vernachlässigt wird. Dem setzt Karl Christian Behrens (1971) mit dem Ziel, eine empirisch-realistische Standorttheorie zu schaffen, entgegen und publiziert eine „allgemeine Standortbestimmungslehre“, die sich neben Industriebetrieben auch auf Handels- und Dienstleistungsbetriebe bezieht. Durch eine möglichst systematische Analyse sollen alle relevanten Standortfaktoren, von denen betriebswirtschaftliche Standortentscheidungen abhängen, berücksichtigt werden. Hierbei werden sowohl kosten- als auch ertragsrelevante Standortfaktoren betrachtet und es wird klar zwischen gütereinsatzbezogenen und absatzbezogenen Faktoren unterschieden. Zudem werden nicht quantifizierbare Markt- und Branchenfaktoren mit in die Betrachtung gezogen (siehe Kapitel 2.4). Das Ergebnis einer quantitativen Berechnung wird anschließend im qualitativen Vergleich potenzieller Standorte lediglich als ein Standortfaktor zwischen vielen betrachtet (Kinkel 2004: 50; Bea, 2009: 368-369). Zu weiteren Vertretern dieser Standorttheorie zählen Rüschenpöhler (1958) und Meyer (1960) (Philipp, 2006). Dem Argument einer Vernachlässigung der Absatzseite ist jedoch entgegenzusetzen, dass sich mittlerweile durchaus Modelle in der sogenannten Standorttheorie etabliert haben, welche das Ziel einer hohen Marktabdeckung verfolgen, wie das Maximum Covering Problem (siehe Kapitel 3.3.4).

Eine andere Sichtweise bietet der behavioristische Ansatz zur Standortentscheidung von Alan Pred (1967). Dieser geht davon aus, dass Entscheidungsträger nicht rational handeln, da sie zum einen nicht alle Informationen besitzen können und zum anderen nicht alle Informationen verwerten können. Dieser Ansatz berücksichtigt, dass auch, wenn von einer großen Menge an Informationen ausgegangen wird, diese trotzdem nicht oder falsch genutzt werden können. Gleichzeitig kann eine Standortentscheidung, die auf wenigen Informationen basiert, zufällig erfolgreich ausfallen (Rodrigue, 2017).

Ein anderes Thema, welches in dieser Arbeit behandelt wird, ist die Graphentheorie. Dénes König (1936), ein ungarischer Mathematiker, schrieb mit „Theorie der endlichen und unendlichen Graphen“ als erster ein Buch zu dem Thema Graphentheorie (Eiselt & Sandblom, 2012: 175). Die Anfänge der Graphentheorie führen allerdings noch weiter in der Zeit zurück. Der schottische Chemiker William Cullen hat bereits 1758 die Kräfte zwischen verschiedenen Molekülpaaren in chemischen Reaktionen durch Graphen dargestellt und auch die Illustrationen des Chemikers William Higgins zeigten in seinem Buch von 1789 Graphen, die teilweise gewichtet sind. Die Bezeichnung „Graph“ für die Notationen chemisch abhängiger Strukturen wurde zuerst vom Mathematiker James J. Sylvester (1878: 284) verwendet. Zwar benutzte Arthur Cayley (1874: 444-446) diesen Begriff bereits vier Jahre vor ihm in einer Publikation, doch soll die Idee dafür ursprünglich von Sylvester stammen und nur durch seine Mitarbeit entstanden sein (Rouvray, 1988: 5-7).

Darauf aufbauend wird in Kapitel 2.6 das Thema der Distanzberechnung behandelt. Hierbei geht es unter anderem um die kürzesten Wege in einem Netzwerk. Laut Schrijver (2005) beruhen sowohl der Dijkstra-Algorithmus als auch der Bellman-Ford-Algorithmus auf einem Grundschema, welches zuerst von Ford (1956) beschrieben wurde. Außerdem wurde das Label-Setting-Verfahren bereits zeitlich vor Dijkstra (1959) von Leyzorek et al. (1957) in einem Jahresbericht beschrieben und in ähnlicher Form, jedoch in seiner Laufzeit langsamer, von Dantzig (1958). Auch das Label-Correcting-Verfahren ist nicht nur in Arbeiten von Bellman (1958) und Moore (1959) zu verorten, sondern lässt sich zudem auf die Arbeit von Shimbel (1955) zurückführen. Das Floyd-Warshall-Verfahren, welches von Floyd (1962) und Warshall (1962) fast zeitgleich publiziert wurde, ist auf die Arbeit von Kleene (1956) zurückzuführen (Schrijver, 2005: 41-42, 46). Für weitere historische Entwicklungen im Bereich der kombinatorischen Optimierung wird die Arbeit von Alexander Schrijver (2005) empfohlen.

## **2.4 Qualitative und quantitative Standortfaktoren**

In der Standortplanung gibt es verschiedene Faktoren, die einen Einfluss auf die Standortentscheidung nehmen. In welchem Verhältnis die einzelnen Faktoren zueinander stehen, ist davon abhängig, ob der Standort international, national, innerhalb einer Region oder in einer Gemeinde gesucht wird (Moradi & Bidkhor, 2009: 37-38).

Was genau wird unter einem Standortfaktor verstanden? Alfred Weber, der den Begriff des Standortfaktors prägte (Brede, 1971: 26), definierte ihn folgendermaßen: „Wir verstehen unter einem S t a n d o r t s f a k t o r einen seiner Art nach scharf abgegrenzten Vorteil, der für eine wirtschaftliche Tätigkeit dann eintritt, wenn sie sich an einem bestimmten Ort, oder auch generell an Plätzen bestimmter Art vollzieht. Einen »Vorteil« d. h. eine Ersparnis an »Kosten« und also für die Standortslehre der Industrie eine Möglichkeit, dort ein bestimmtes Produkt mit weniger Kostenaufwand als an anderen Plätzen herzustellen; noch genauer gesagt: den als Ganzes betrachteten Produktions- und Absatzprozeß eines bestimmten industriellen Produkts nach irgend einer Richtung billiger durchzuführen als anderswo.“ (Weber, 1906: 16).

Standortfaktoren lassen sich differenzieren in quantitative und qualitative sowie in generelle und spezielle. Quantitative Standortfaktoren unterscheiden sich insofern von qualitativen Standortfaktoren, dass ihr Beitrag zum Unternehmenserfolg durch analytische Entscheidungsmodelle direkt gemessen werden kann. Bei qualitativen Standortfaktoren werden die Zielbeträge erst von den Planungs- und Entscheidungsträgern subjektiv geschätzt und durch heuristische Entscheidungsmodelle bewertet (Kinkel, 2004: 50-51). Generelle Standortfaktoren sind all jene, die jede Industrie beeinflussen, wie Transportkosten, Arbeitskosten oder Grunderwerb und Pacht. Spezielle hingegen sind nur für bestimmte Industrien von Bedeutung, wie beispielsweise der Feuchtigkeitsgehalt der Luft in der Produktion oder die Abhängigkeit von fließendem Wasser (Weber, 1906: 18-19).

Als die drei wichtigsten Standortfaktoren macht Weber Transportkosten, Arbeitskosten und Agglomerationsvorteile aus. Die Arbeitskosten werden vor allem dann standortentscheidend, wenn die Einsparung der Arbeitskosten die Mehrkosten des Transports übertreffen (Weber, 1906: 19, 25). Unter Agglomerationsvorteilen werden Vorteile verstanden, die durch die Ballung von Industriebetrieben entstehen, wie beispielsweise eine niedrige Grundrente, Ortsvereinigungen mit Hilfgewerbe oder andere Vorteile. Diese sorgen dafür, dass sich Industrien an konkreten, determinierten Punkten orientiert und so ein erstes Grundnetz der Industrieorientierung geschaffen wird (Weber, 1906: 19). Dazu sei ein Beispiel zu positiven Wechselwirkungen im Güterverkehrszentrum Bremen zu nennen. Kerstin Lange (2009: 56) beschreibt, dass durch Einkaufskooperationen und eine gestiegene Nachfragemacht den dortigen Unternehmen eine Verkürzung der Lieferzeiten sowie eine höhere Vorleistungsqualität und -verfügbarkeit möglich ist. Zudem können Transport- und Logistikkooperationen zu Kosteneinsparungen führen, indem sich der Einsatz von Personal, Infrastrukturen, Staplerfahrzeugen, Logistikeinrichtungen und Frachtkapazitäten bündeln.

Richter und Buchner (2004: 185) stellen allerdings in Frage, ob Standortfaktoren eine unveränderbare Gegebenheit sind. Häufig bliebe unberücksichtigt, dass Unternehmen Standortfaktoren durch Engagement in regionalen Kooperationen und Netzwerken positiv beeinflussen können. Sie kommen zu dem Schluss, dass die Unternehmensentwicklungen, die Spezialisierungen und auch unterschiedlichen Unternehmensstrategien nachhaltige Wirkungen auf Standortfaktoren haben.

Eine mögliche Aufstellung quantitativer und qualitativer Standortfaktoren schlägt Karl-Werner Hansmann vor (1974: 91). Er beschreibt zehn quantitative und sieben qualitative Standortfaktoren, die bei der Standortwahl entscheidend sind. Diese Darstellung lässt zwar die Absatzfaktoren außen vor, bietet jedoch detailliertere Übersicht über Faktoren, die bei der Standortwahl entscheidend sind, als die Reduzierung auf Transport- und Arbeitskosten (siehe Abb. 1).



## STANDORTFAKTORENSYSTEMATIK NACH HANSMANN

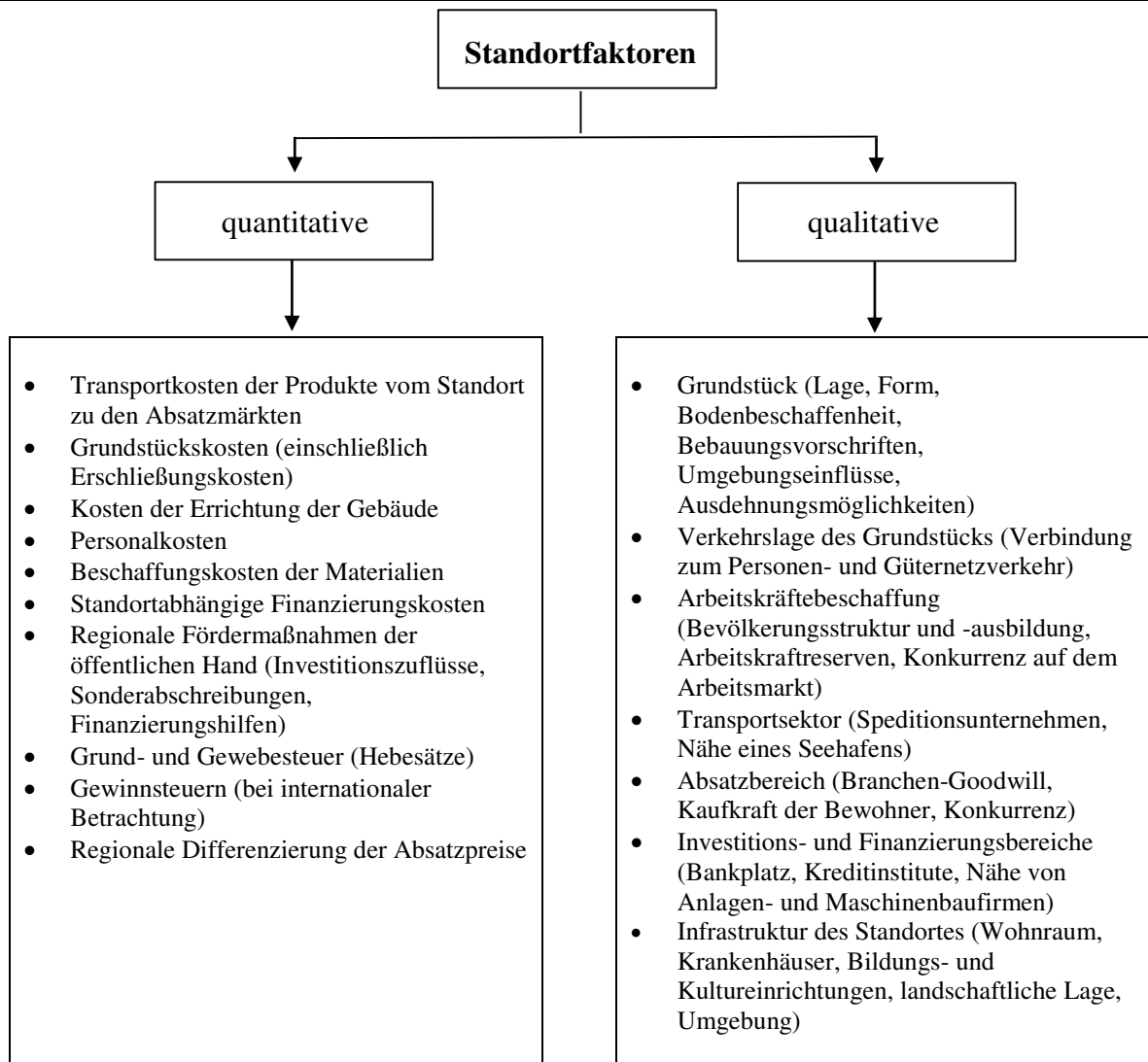


Abbildung 1: Standortfaktorensystematik nach Hansmann (Hansmann, 1974:91).

Steffan Kinkel (2004: 52-55) kritisiert an der Darstellung von Hansmann, dass sie sich auf Umweltfaktoren beschränke und die betriebspezifische Performance sowie den Netzwerkbedarf vernachlässige. Außerdem kritisiert er, dass keine Differenzierung der tatsächlich erfolgskritischen Standortfaktoren nach der verfolgten Standortstrategie stattfinde. Hierzu bietet er eine eigene Darstellung, welche aufbauend auf die Darstellung Hansmanns eine Unterteilung in qualitative und quantitative Produktions- (Input) und Marktfaktoren trifft, sowie die Erweiterung um qualitative und quantitative Performancefaktoren (Output) bietet, sodass Faktoren berücksichtigt werden, die vom Unternehmen beeinflussbar sind (Kinkel, 2004: 53). Diese Performancefaktoren sind auf quantitativer Seite (1) die Produktivität und Herstellkosten, (2) die Prozessgüte, sowie (3) die Durchlaufzeiten. Auf qualitativer Seite sind es (1) die

Innovationsfähigkeit, (2) die Flexibilität bei der Produktionsanpassung und (3) die Produktqualität. Damit wird auch die Kritik von Karl Christian Behrens (1971) respektiert, der bemängelte, dass die Absatzfaktoren in Hansmanns Modell keine Rolle spielen. Alle drei Oberkategorien sind zudem vom Netzwerkbedarf beeinflusst, dem jeweiligen Bedarf an Kooperationen und Netzwerken am jeweiligen Standort. Unausgeschöpfte Potenziale vorhandener Netzwerke stehen in Wechselwirkung mit den Kosten für den eigenen Netzwerkaufbau (Kinkel, 2004: 53-55).

Min und Melachrinoudis (1999: 77-78) gehen in ihrer Fallstudie weiter ins Detail und benennen 26 verschiedene Faktoren, die bei der Lokalisierung eines Standortes zu beachten sind. Diese lassen sich in sechs Untergruppen unterteilen: (1) räumliche Gegebenheiten, (2) Kosten für den Erwerb des Grundstücks und dessen laufende Kosten, (3) Zugang zum Transportnetzwerk, (4) Nähe zu Kunden und Zulieferern, (5) Lebensqualität und (6) lokale Anreize, wie die Qualität der Arbeitskräfte, starke Gewerkschaften oder Leistungen eines Industrieparks.

Für eine detailliertere Auflistung der Standortfaktoren in Bezug auf eine internationale Standortwahl bedarf es neben der räumlichen Betrachtung des Aktionsradius des Unternehmens auch die Berücksichtigung der strategischen Orientierung des Unternehmens. Hierzu differenziert Boris Hummel (1997: 84) die externen Standortfaktoren in Länderfaktoren und Branchenfaktoren und ergänzt diese um die Dimension der internen Ziele und Strukturen eines Unternehmens.

Neben möglichen wesentlichen Änderungen in den standortspezifischen Kosten und Absatzgegebenheiten, sind dabei auch Umstände wie Währungsvor- und -Nachteile bei der Beschaffung, Handelsbarrieren und Zölle, Produkthaftung und Auswirkungen auf den Stammsitz zu beachten. Eine detaillierte Zusammenfassung über erfolgskritische Standortfaktoren bei verschiedenen Internationalisierungsstrategien (Erschließung von Absatzmärkten, Kostenreduktion im Niedriglohnland, Following Customer, Erschließung von Technologie/Know-How) bietet Kinkel (2004: 55 ff.). Weitere Faktoren, die bei der Suche eines internationalen Standorts besonders relevant sind, sind die politische Stabilität, das Wirtschaftsklima, Pflichten, Steuern und Abgaben (Moradi & Bidkhor, 2009: 37)

Aufbauend auf der Kategorisierung von Min und Melachrinoudis und unter der Berücksichtigung der Darstellung Hansmanns lassen sich folgende Kategorien der Standortfaktoren identifizieren:

- Transportkosten (Kosten und Lieferzeit für den Transport der Produkte zu den Absatzmärkten, Nähe zu Kunden und Lieferanten),
- Arbeitskosten und Arbeitskräftebeschaffung (Bevölkerungsstruktur und -ausbildung, Arbeitskraftreserven, Konkurrenz auf dem Arbeitsmarkt, etc.),

- Agglomerationsvorteile (Nähe zu Hilfgewerbe, Einkaufs- und Logistikkooperationen, andere Kooperationen, etc.),
- Räumliche Gegebenheiten (Grundstücksform, Bodenbeschaffenheit, Ausdehnungsmöglichkeiten, etc.),
- Kosten für den Erwerb des Grundstücks (einschließlich Erschließungskosten, Kosten für die Errichtung der Gebäude, etc.),
- Zugang zum Transportnetzwerk (Nähe eines Seehafens, Verkehrslage des Grundstücks, Speditionsunternehmen, etc.),
- Lebensqualität (Wohnraum, Krankenhäuser, Bildungs- und Kultureinrichtungen, etc.),
- Lokale finanzielle Anreize (Gewebesteuerhebesatz, regionale Fördermaßnahmen, Standortabhängige Finanzierungskosten, etc.),
- Absatzbezogene Faktoren (Produktivität, Innovationsfähigkeit, Marktzugang und Konkurrenz, Wettbewerbsstrategie, regionale Differenzierung der Absatzpreise, etc.),
- Internationalisierungsfaktoren (Zölle, Wechselkurs, Steuern, etc.).

Diese Kategorien stellen eine Bündelung der Standortfaktoren genannter Autoren dar. Da sich dieser Ansatz an Min und Melachrinoudis orientiert, findet eine Unterteilung in quantitativen und qualitativen Standortfaktoren, wie bei Hansmann oder Kinkel, in dieser kategorisierenden Sichtweise nicht statt.

## **2.5 Einführung in die Graphentheorie**

Eine Vielzahl von Systemen wird auf der Grundlage von Netzwerken konstruiert. So gibt es konkrete, physikalische Netzwerke, z. B. im Verkehr das Straßen-, Bahn- oder Flugnetz, in der täglichen Versorgung das Strom-, Gas- oder Wassernetz, oder auch in der Kommunikation das Telefon- oder Datenübertragungsnetz. Es lassen sich aber auch abstrakte Sachverhalte in Netze modellieren, so zum Beispiel bei der Projektplanung oder in der Geschäftsprozessoptimierung (Suhl & Mellouli, 2013: 10).

Für die Netzwerkoptimierung gibt es verschiedene Anwendungsfelder. Von der Analyse eines kostenminimalen Transports über schnellstmögliche Belieferung von Kunden bis hin zur Ermittlung kürzester Wege innerhalb eines Verkehrsnetzwerks (Suhl & Mellouli, 2013: 11). Durch die Modellierung von Wegen und Standorten mit Hilfe von Entfernungen oder anderen Eigenschaften wie Kosten und Zeit, eignet sich diese Art der Darstellung auch für die Standortplanung (Eiselt & Sandblom, 2012: 222).

In der Graphentheorie geht es um Sachverhalte, die in Graphen mit verschiedenen Attributen dargestellt werden. Teilweise werden die Begriffe Netzwerk oder Netzgraph synonym dazu benutzt (vgl. Domschke & Drexl, 2005: 65ff.; Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 11ff.; Hamacher et al., 2016: 11). Dies ist jedoch semantisch ungenau. Eiselt und Sandblom (2012: 175) weisen darauf hin, dass diese Synonyme aus Gründen der Vereinfachung genutzt werden, allerdings

viele Graphentheoretiker der Beschreibung eines Graphen als Netzwerk nur in bestimmten Fällen zustimmen würden. So stellt laut ihrer Definition erst ein gerichteter Graph ein Netzwerk dar. Deza und Deza (2013: 247) hingegen verstehen unter einem Netzwerk einen bewerteten Graphen, also einen Graphen zusammen mit einer Funktion, welche jeder Kante positive Gewichte zuweist. Im Folgenden sollen nun die verschiedenen Attribute beschrieben werden.

Ein Graph  $G$  besteht aus einer Menge  $V$  von  $n$  Knoten (abgeleitet vom englischen Begriff *vertices*) und einer Menge  $E$  von  $m$  Kanten (abgeleitet vom englischen Begriff *edges*). Die Elemente in  $E$ , also Verbindungen zwischen zwei Knoten  $i, j \in V$  werden mit dem Symbol  $(i, j)$  dargestellt. Es handelt sich um einen ungerichteten Graphen, wenn die Knotenpaare der Elemente aus  $E$  nicht geordnet sind, also wenn  $(i, j)$  identisch mit  $(j, i)$  für alle Kanten in  $E$  ist. Sind die Knotenpaare geordnet, wird  $G$  in diesem Fall als gerichteter Graph bezeichnet und die Kantenmenge wird als Menge  $E$  von  $m$  Pfeilen, gelegentlich auch als Menge  $A$  von  $m$  Pfeilen (abgeleitet vom englischen Begriff *arcs*) bezeichnet. Eine weitere, übliche Darstellung der Verbindungen aus der Kanten- bzw. Pfeilmenge ist  $e_{ij}$  bzw.  $a_{ij}$ . Gelegentlich wird die Knotenmenge auch als  $N$  (abgeleitet vom englischen Begriff *nodes*) bezeichnet (Domschke & Drexl, 2005: 65-66; Eiselt & Sandblom, 2012: 175-176; Deza & Deza, 2013: 249; Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 11-17).

#### GERICHTETE UND UNGERICHTETE GRAPHEN

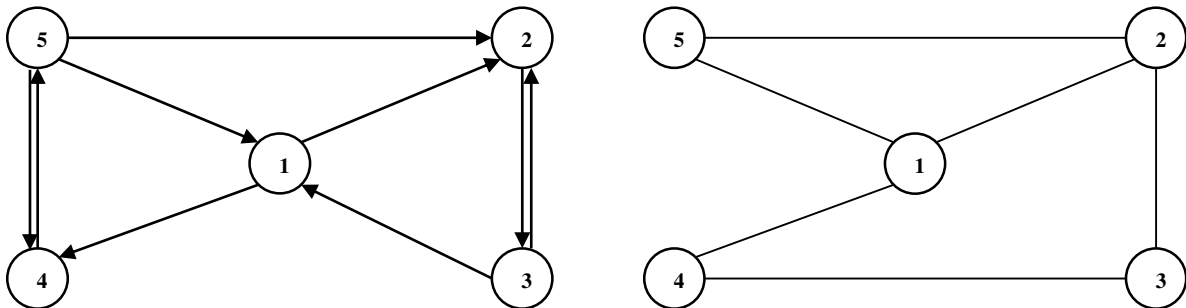


Abbildung 2: Gerichtete (links) und ungerichtete (rechts) Graphen (eigene Darstellung, in Anlehnung an Domschke & Drexl, 2005: 65).

Der linke Teil der Abbildung 2 zeigt einen gerichteten Graphen  $G = (V, A)$  mit der Knotenmenge  $V = \{1, 2, 3, 4, 5\}$  und der Pfeilmenge  $A = \{(1, 2), (1, 4), (2, 3), (3, 1), (3, 2), (4, 5), (5, 1), (5, 2), (5, 4)\}$ . Der rechte Teil hingegen zeigt einen ungerichteten Graphen  $G = [V, E]$  mit der Knotenmenge  $V = \{1, 2, 3, 4, 5\}$  und der Kantenmenge  $E = \{[1, 2], [1, 4], [1, 5], [2, 4], [2, 5], [3, 4]\}$ .

Sowohl Domschke und Drexl (2005: 65) als auch Mattfeld und Vahrenkamp (2014: 12, 15) unterscheiden Kanten in ungerichteten Graphen von Pfeilen in gerichteten Graphen in der Schreibweise durch runde und eckige Klammern. Hier herrscht allerdings keine Einigkeit, so

dass die Autorenpaare die jeweils anderen Klammern zur Unterscheidung von Kanten und Pfeilen nutzen. Andere Autoren unterscheiden dies nicht und verwenden stattdessen durchweg runde Klammern, um die Verbindungen zwischen Knoten zu beschreiben (vgl. Deza & Deza, 2013: 249f; Eiselt & Sandblom, 2012: 175ff) Im Weiteren wird ebenfalls vereinfacht ohne Unterscheidung verfahren.

Bei einem Pfeil, der von Knoten  $i$  zu Knoten  $j$  führt, heißt  $i$  Anfangsknoten und  $j$  Endknoten des Pfeils. Haben zwei Pfeile oder Kanten identische Anfangs- und Endknoten, so werden diese als parallele Kanten oder parallele Pfeile bezeichnet. Ist der Anfangsknoten identisch mit dem Endknoten, so heißt diese Verbindung Schlinge (siehe Abb. 3). Ein Graph ohne Schlingen und ohne parallele Kanten oder Pfeile heißt schlichter Graph. Des Weiteren ist ein Graph endlich, wenn die Anzahl von Elementen in der Knotenmenge  $V$  endlich ist. Ein schlichter Graph, der sowohl gerichtet ist als auch eine endliche Knotenmenge hat, heißt Digraph (Domschke & Drexl, 2005: 66-67; Deza & Deza, 2013: 249; Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 12-16).

#### PARALLELE KANTEN, PARALLELE PFEILE, SCHLINGEN

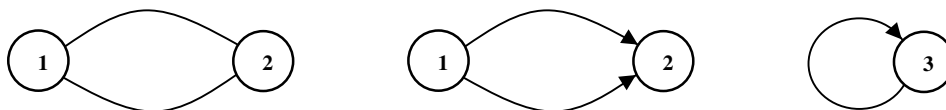


Abbildung 3: parallele Kanten (links), parallele Pfeile (Mitte), Schlingen (rechts) (eigene Darstellung, in Anlehnung an Domschke & Drexl, 2005: 66).

Ein Digraph ist vollständig, wenn alle Knoten miteinander verbunden sind und für jedes Knotenpaar  $i, j$  eine Verbindung in beide Richtungen besteht. Weiter wird dieser als zusammenhängend bezeichnet, wenn es möglich ist von jedem Knoten über einen Weg zu einem beliebigen anderen Knoten zu gelangen. Eine Folge von Verbindungen, von einem Anfangsknoten zu einem Endknoten, wird im gerichteten Graphen als Weg, im ungerichteten Graphen als Kette bezeichnet. Bei dieser Bezeichnung ist zu beachten, dass keine Knotenverbindung wiederholt vorkommt. Ist der Anfangsknoten gleich mit dem Endknoten, wird dieser Weg als Zyklus bzw. Kreis bezeichnet (Domschke & Drexl, 2005: 67-68; Deza & Deza, 2013: 249-250; Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 12-13, 16).

Um Logistiksysteme und Verkehrsnetze genauer abzubilden, lassen sich Kanten und Pfeilen Bewertungen beziehungsweise Gewichte in Form von reellen Zahlen zuordnen. So wird von einem bewerteten Graphen gesprochen, wenn sämtliche Pfeile oder Kanten eine Bewertung  $c(i, j)$  bzw.  $c_{ij}$  mit  $i, j \in V$  besitzen. Diese Bewertung beziehungsweise Gewichtung  $c$  lässt sich als Kostenabbildung auf den Pfeilen bzw. Kanten verstehen und kann als Kosten für den Transport, die Distanz der Verbindung als Längeneinheit, die Fahrtzeit zwischen den Knoten oder ähnliches interpretiert werden. Ein bewerteter Graph besteht somit aus  $G = (V, E, c)$

(Domschke & Drexl, 2005: 68; Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 17). Äquivalent dazu kann ein Graph auch eine Knotenbewertung besitzen (Domschke & Drexl, 2005: 68)

Die Summe aller Pfeilbewertungen auf einem Weg ergibt die Länge eines Weges  $w$ . Der kürzeste Weg  $w_{ij}^*$  ist der Weg von Knoten  $i$  zu Knoten  $j$ , für den kein anderer Weg  $w$  existiert, für den  $w_{ij} < w_{ij}^*$  gilt (Domschke & Drexl, 2005: 68).

## 2.6 Einführung in die Distanzberechnung

Methoden zur Bestimmung von Distanzen zwischen zwei Punkten spielen eine wichtige Rolle bei Anwendungen in der Geometrie und in der Graphentheorie (Deza & Deza, 2013: xi) Daher ist es naheliegend, dass auch bei mathematischen Standortplanungsmodellen das gewählte Entfernungsmaß eine wesentliche Rolle in der Berechnung einnimmt. Dabei ist es stets das Ziel zwischen meist mehreren vorgegebenen Orten, in der Regel Kundenstandorten oder anderen Nachfragepunkten, und dem zu ermittelnden Standort, z. B. einem Lager, die Entfernung zu bestimmen (Thonemann, 2010: 95-96). Nachfragepunkte repräsentieren statistische Bevölkerungsdaten, Städte, oder andere Kundenballungsräume (Eiselt & Sandblom, 2012: 222). Im Kern geht es hierbei darum, Verbindungen von einem Punkt zu einem anderen Punkt zu quantifizieren. Insbesondere in der Graphentheorie werden diese Punkte auch als Knoten bezeichnet. Die Begriffe Distanz und Entfernung werden in diesem Zusammenhang häufig synonym verwendet, gleiches gilt für die Bezeichnungen als Verfahren, Entfernungsmaß, Methode oder Metrik.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um die Distanzberechnung durchzuführen. Im Folgenden werden zuerst die gängigsten Verfahren vorgestellt, welche für Modelle im kontinuierlichen Raum genutzt werden: die rechtwinklige Entfernungsmessung, die normale und die quadrierte euklidische Entfernungsmessung sowie die  $l_p$ -Entfernungsmessung. Die Voraussetzung für diese Berechnungen ist, dass die betrachteten Punkte Koordinaten in einem rechtwinkligen (X, Y)-Koordinatensystem besitzen (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 18). Anschließend werden drei Verfahren für die Entfernungsberechnung im (semi-)diskreten Raum beschrieben.

Der Abstand von zwei beliebigen Punkten auf einer Linie, also im eindimensionalen Raum, bestimmt sich durch die Differenz ihrer Koordinatenwerte  $k$ . Dabei wird der Betrag genommen, damit eine positive Distanz gemessen wird (Thonemann, 2010: 96-98). Die Distanz von Punkt X zu Punkt Y wird dabei als Distanzfunktion wiedergegeben und berechnet sich somit durch

$$d(x, y) = |k_x - k_y|. \quad (1)$$

Hiervon leitet sich die rechtwinklige Entfernungsmessung ab. Diese wird auch als rechtlineare Entfernungsmessung bezeichnet und ist unter anderen Namen, wie  $l_1$ -distance, Taxicab geometry, Manhattan-distance, snake-distance oder city-block-distance bekannt (Black, 2006).

Dabei wird die Distanz zwischen zwei Punkten als die Summe der absoluten Differenzen ihrer Einzelkoordinaten definiert. Im zweidimensionalen Raum lautet die Formel für die zwei Punkte  $x$  und  $y$ , mit den jeweiligen horizontalen und vertikalen Koordinatenwerten ( $h$ ,  $v$ ),

$$d(x, y) = |h_x - h_y| + |v_x - v_y| \quad (2)$$

Die Formel zeigt, dass die so errechnete Entfernung eine Addition aus der horizontalen Entfernung entlang der X-Achse und der vertikalen Entfernung entlang der Y-Achse darstellt. Dieses Verfahren erweist sich als nützlich um innerstädtische Entfernungen abzuschätzen oder Entfernungen auf integrierten Schaltkreisen zu bestimmen (Hamacher et al., 2016: 6-7; Black, 2006). Die Bezeichnung Manhattan-Entfernung bezieht sich auf die Straßen des New-Yorker Stadtteils, die schachbrettmusterartig angeordnet sind, da dieses Verfahren in solchen Umgebungen gute Ergebnisse liefert (Royer, 2001: 55; Thonemann, 2010: 96-97).

#### MANHATTAN DISTANCE

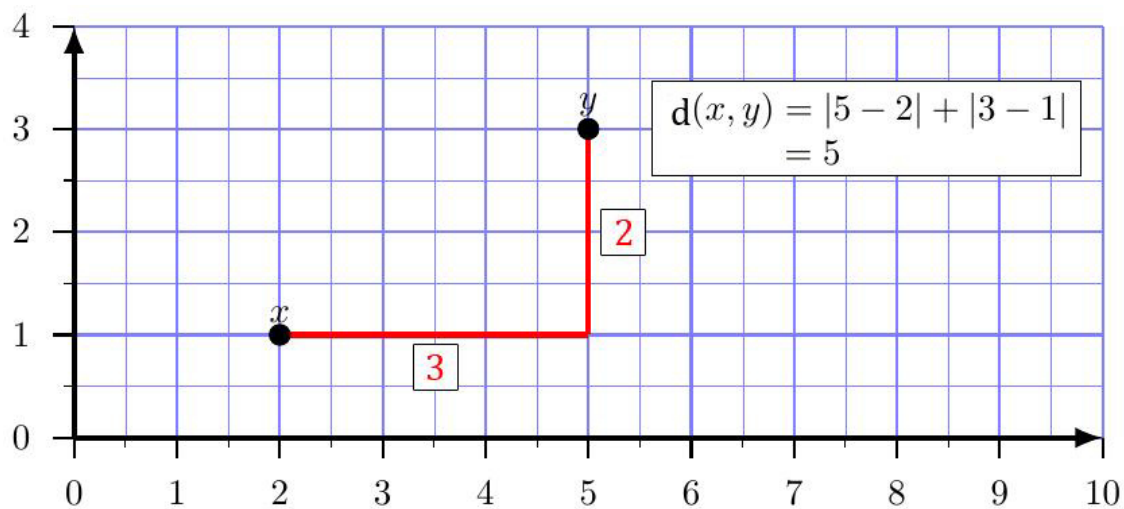


Abbildung 4: Manhattan Distance (Hamacher et al., 2016: 7, Anpassung durch den Verfasser).

Eine andere Art, die Entfernung zwischen zwei Punkten zu messen, ist die euklidische Entfernungsmessung. Dieses Verfahren beschreibt die Luftlinie zwischen zwei Punkten und ist daher im Englischen auch als *as-the-crow-flies-distance* oder *beeline-distance* geläufig. Da sich der Abstand im zweidimensionalen Raum mithilfe der Bildung eines rechtwinkligen Dreiecks ergibt, wird diese Methode auch als Pythagoras Abstand bezeichnet (Deza & Deza, 2013: 94). Es ist wahrscheinlich das am häufigsten verwendete Verfahren zur Bestimmung von Entfernungen (Hill & Lewicki, 2007: 127). Für die zwei Punkte  $x$  und  $y$  mit den Koordinaten  $(h_x, v_x)$  und  $(h_y, v_y)$  lautet die Distanzfunktion

$$d(x, y) = \sqrt{(h_x - h_y)^2 + (v_x - v_y)^2} \quad (3)$$

Es wird also die direkte Verbindungslinie zwischen zwei Standorten gemessen. Dieses Verfahren eignet sich vor allem für weite Entfernungen, beispielsweise bei einem Standort in Berlin und einem in München, da dabei angenommen werden kann, dass es Verkehrswege gibt, die annähernd auf der direkten Verbindungslinie zwischen den zwei Orten existieren (Thonemann, 2010: 97). Auch lassen sich Luft- und Wasserverbindungen mit diesem Verfahren exakt abbilden (Zarinbal, 2009: 7).

#### EUKLIDISCHE ENTFERNUNGSMESSUNG

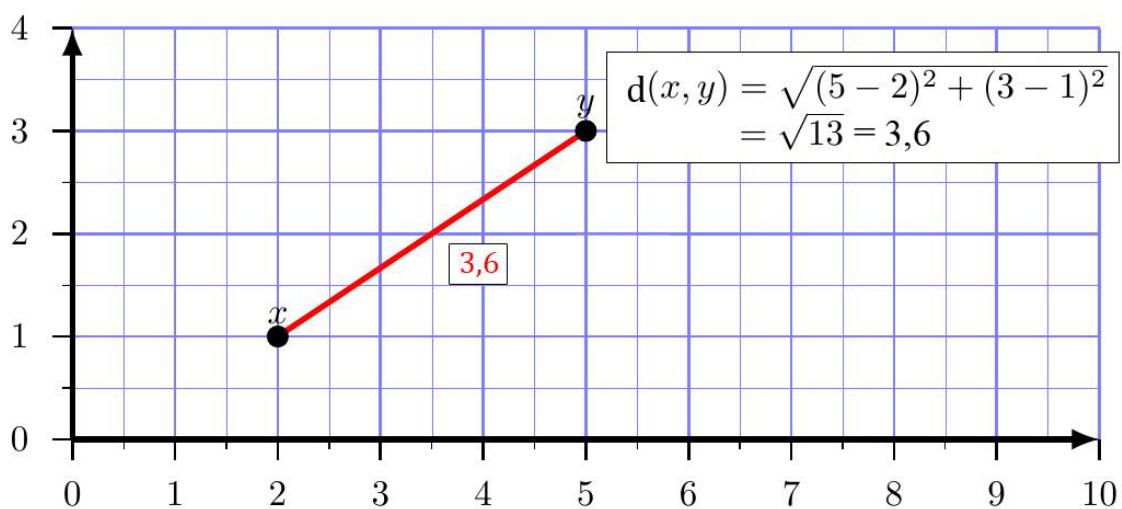


Abbildung 5: Euklidische Entfernungsmessung (Hamacher et al., 2016: 7, Anpassung durch den Verfasser).

Ähnlich funktioniert auch ein weiteres Verfahren zur Distanzberechnung, welches sich von der euklidischen Entfernungsmessung nur durch die Wurzel unterscheidet: die quadrierte euklidische Entfernungsmessung (Deza & Deza, 2013: 295).

$$d(x, y) = (h_x - h_y)^2 + (v_x - v_y)^2 \quad (4)$$

Dadurch, dass sich bei der Berechnung euklidischer Distanzen zum Teil Entscheidungsvariablen innerhalb der Wurzel befinden und diese Wurzel bei der quadrierten Form entfällt, sind Standortprobleme mit diesem Verfahren schneller und einfacher zu berechnen (Hamacher et al., 2016: 7). Das Ergebnis dieser Methode stellt eine Annäherung an die Berechnung einer euklidischen Distanz dar, dennoch kann es nicht als Ersatz verwendet werden. Durch die quadrierte Entfernung fallen Ausreißer im Datensatz, also längere Strecken, wesentlich stärker ins Gewicht. Zudem hat es aus dem gleichen Grund einen starken Einfluss auf das Ergebnis, ob mit einer Längeneinheit von Metern oder Kilometern gerechnet wird. Dennoch eignet sich dieses Entfernungsmessungsverfahren gut für Probleme, in denen



progressiv mehr Gewicht auf Objekte gelegt werden soll, die weiter entfernt sind, wie beispielsweise bei einer Cluster-Analyse oder deren Erweiterung als Korrespondenzanalyse (Hill & Lewicki, 2007: 127, 137ff.).

#### QUADRIERTE EUKLIDISCHE ENTFERNUNGSMESSUNG

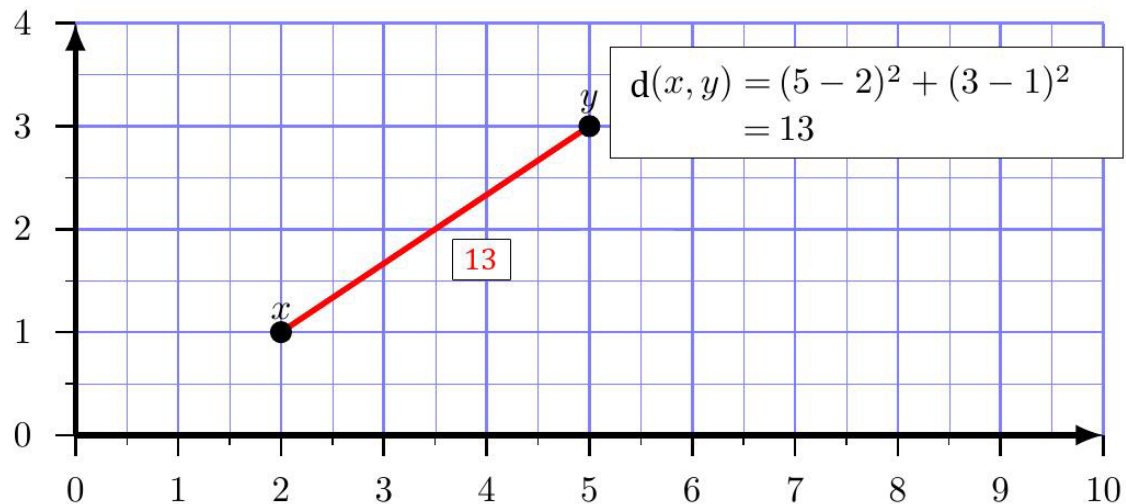


Abbildung 6: Quadrierte Euklidische Entfernungsmessung (Hamacher et al., 2016: 7, Anpassung durch den Verfasser).

Da teilweise weder die rechtwinkligen noch die euklidischen Entfernungen den realen Distanzen entsprechen, können diese auch mit einer allgemeinen Formel bestimmt werden, welche sich den spezifischen Gegebenheiten entsprechend anpassen lässt: das  $l_p$ -Entfernungsmaß bzw. Minkowski-Entfernungsmaß. Dieses ist definiert als

$$d(x, y, p) = (|h_x - h_y|^p + |v_x - v_y|^p)^{1/p} \quad (5)$$

An dieser Formel lässt sich erkennen, dass bei  $p = 1$  die rechtwinklige und bei  $p = 2$  die euklidische Entfernungsmessung erhalten wird. Sie beide sind Spezialfälle des  $l_p$ -Entfernungsmaß und sind daher auch als  $l_1$ -Distanz bzw.  $l_2$ -Distanz bekannt (Thonemann, 2010: 123). Für  $p = \infty$  ergibt sich ein weiterer Spezialfall, die Chebyshev-Distanz. Deren Ergebnis ist immer der größere Wert der beiden Teildistanzen (Zarinbal, 2009: 7). Die Chebyshev-Entfernungsmessung kann mit einer Königfigur auf einem Schachbrett beschrieben werden. Bei einem diagonalen Zug beträgt die zurückgelegte Strecke  $d = 1$  (im Vergleich, bei den Manhattan Distanzen beträgt  $d = 2$ ). Die Anwendungsmöglichkeiten für diese spezielle Entfernungsmessung sind vergleichsweise rar, jedoch kann damit beispielsweise in der Lagerhauslogistik gut wiedergegeben werden, wie lange ein Brückenkran benötigt, um Objekte von einem Ort zu einem anderen zu bewegen (Cormier, 2005: 96). Generell zeigt sich für die  $l_p$ -Entfernungsmessung eine lineare Konvergenz für  $1 \leq p \leq 2$  (Drezner et al., 2004: 14). Mit

diesem Verfahren werden die Entfernungen häufig besser geschätzt, als mit der rechtwinkligen oder euklidischen Entfernungsmessung. Welcher genaue Wert jedoch für  $p$  eingesetzt werden soll, muss in Versuchen festgestellt werden. Dabei ist die beobachtete Entfernung mit der berechneten Entfernung zu vergleichen und das  $p$  so zu wählen, dass die Differenz zwischen ihnen minimiert wird (Thonemann, 2010: 123).

#### $L_p$ -ENTFERNUNGSMESSUNG

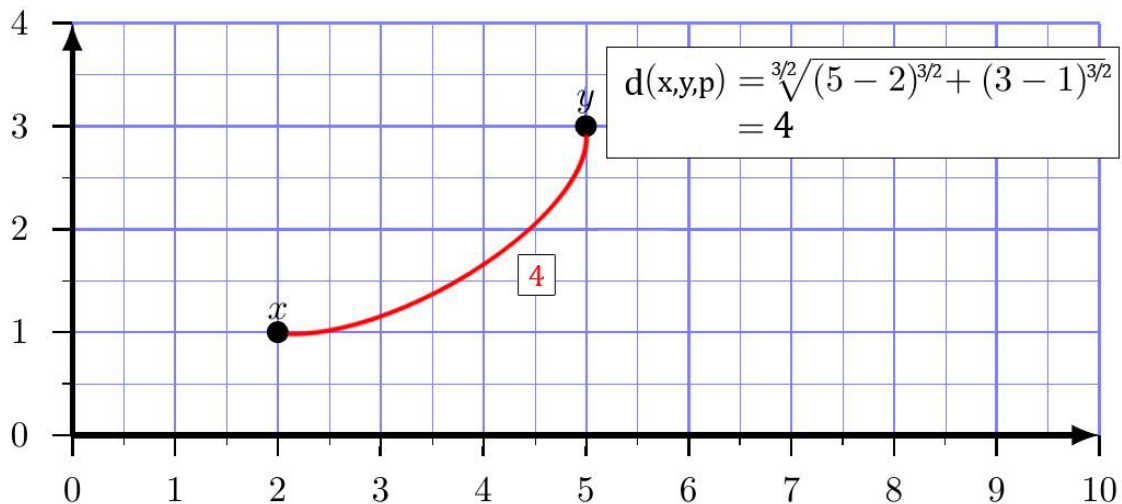


Abbildung 7:  $l_p$ -Entfernungsmessung (eigene Darstellung, in Anlehnung an Hamacher et al., 2016: 7).

Die hier aufgeführten Formeln zur Entfernungsmessung sind entsprechend auch im dreidimensionalen Raum anwendbar (Deza & Deza, 2013: 94). Weitere Methoden zur Entfernungsmessung werden unter anderem von Zarinbal (2009: 6-13) beschrieben oder von Drezner et al. (2004: 15) in einer Sammlung mit entsprechenden Verweisen aufgezeigt.

Um die Entfernungen im Graphen, beziehungsweise im semidiskreten Raum zu bestimmen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Vorausgesetzt wird die Bewertung eines Graphen. Gesucht werden dabei in der Regel die kürzesten oder preisgünstigsten Wege, jedoch sind auch anderen Zielsetzung möglich, wie z. B. die Ermittlung der längsten Wege (Suhl & Mellouli, 2013: 173, 183; Kesswani: 2017: 79). In der Fachliteratur werden hauptsächlich drei Formen der kürzesten Wege Probleme, der Shortest Path Problems (SPP), angegangen. Zum einen gibt es die one-to-one SPP, welche den kürzesten Weg von einer Quelle zu einer Senke bestimmen, und die one-to-all SPP, deren Aufgabe es ist, von einer Quelle die kürzesten Wege zu allen anderen Knoten im Graphen zu finden. Diese sind die sogenannten single-source SPP. Zudem gibt es all-to-all bzw. all-pairs SPP, bei denen das Ziel ist, die kürzesten Wege von jedem Knoten zu jedem anderen Knoten im Graphen zu bestimmen (Eiselt & Sandblom, 2012: 186; Kesswani, 2017: 78).

Der wohl berühmteste und bekannteste Algorithmus zum Lösen eines SPP ist der Dijkstra-Algorithmus (Suhl & Mellouli, 2013: 11, 174; Eiselt & Sandblom, 2012: 188). Benannt ist dieser Algorithmus nach seinem Erfinder Edsger W. Dijkstra (1959: 269-271). Die Voraussetzung für diesen Algorithmus ist, dass die Bewertung der Kanten nicht negativ ist. Zyklen sind zulässig, jedoch nicht von entscheidender Bedeutung bei einer optimalen Lösung, da keine negativen Kanten vorkommen (Suhl & Mellouli, 2013: 174). Bei diesem Algorithmus werden die Knoten aus  $G$  in drei Teilmengen unterteilt: (A) die der schon bekannten kürzesten Wege beziehungsweise die der permanent gelabelten Wege, (B) die Knoten, zu denen Wege bekannt sind, und der erst einmal temporär gelabelten Wege und (C) die Knoten von  $G$ , zu denen noch keine Wege bekannt sind. Letztere dient der Übersichtlichkeit, kann aber mit Menge B zusammengelegt werden und ist daher optional. Es beginnt damit, dass der Anfangsknoten mit dem permanenten Label 0 markiert wird und alle anderen Knoten das temporäre Label  $\infty$  bekommen. Nach und nach werden die, immer beginnend mit dem kleinsten Weg, temporär gelabelten Knoten abgearbeitet und als permanent erklärt, bis der Endknoten als permanent erklärt ist (one-to-one SPP) oder keine Knoten mehr in der Menge B vorhanden sind (one-to-all SPP). Dabei wird in jedem Schritt überprüft und gegebenenfalls korrigiert, ob das temporäre Label günstiger ist, als das permanente Label vom Vorgänger plus den dazwischen liegenden Weg. Die Label zum Ende des Algorithmus entsprechen schließlich der Distanzen zum Anfangsknoten (Suhl & Mellouli, 2013: 174-178; Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 77-83; Eiselt & Sandblom, 2012: 186-190).

Der Dijkstra-Algorithmus wird wegen der Einordnung der Knoten in verschiedene Mengen auch als Label-Setting (LS)-Verfahren bezeichnet. Eine andere Methode zur Berechnung der kürzesten Wege in einem Graphen als one-to-all SPP, ist der Bellman-Ford-Algorithmus. Dieser Algorithmus fällt unter die Bezeichnung der sog. Label-Correcting (LC)-Verfahren, da hierbei ein Knoten mehrfach überprüft wird. LC-Verfahren lassen es in der Regel zu, dass Kanten auch mit negativer Bewertung im Graphen vorkommen können (Suhl & Mellouli, 2013: 178). Zudem können diese Verfahren einen Vorteil bezüglich des Rechenaufwands haben. Wenn die tatsächliche Anzahl von Pfeilen etwa 30% der maximal möglichen Anzahl von Pfeilen beträgt, wie es teilweise in Modellierungen von Verkehrsnetzen vorkommt, dann sind solche Verfahren schneller als der Dijkstra-Algorithmus (Domschke & Drexl, 2005: 75).

Die Bellman-Ford-Methode funktioniert ähnlich wie der Algorithmus von Dijkstra, die Menge B mit temporär gelabelten Knoten ist jedoch als Schlange organisiert und Knoten werden prinzipiell als temporär betrachtet. Die Schlange kann nach der FIFO-Strategie (*First-In First-Out*) geführt werden, aber auch eine Dequeue-Strategie (*double-ended-queue*, Kombination von FIFO und LIFO (*Last-In First-Out*)) ist umsetzbar. Wenn ein Knoten bearbeitet wird, dann wird er der Schlange eingereiht und es werden seine Nachfolger betrachtet und deren Label gegebenenfalls verbessert. Anschließend werden gleichermaßen, Schritt für Schritt, die nächsten Knoten und ihre Nachfolger betrachtet. Der Algorithmus geht jeden Knoten in jeder

Iteration erneut durch. Die Iterationen wiederholen sich, bis sich kein Label mehr verändert. Zudem erkennt der Algorithmus negative Zyklen (Schrijver, 2005: 41-42; Suhl & Mellouli, 2013: 178-181; Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 84-87).

Letzteres Verfahren findet sich in der Literatur unter verschiedenen Namen wieder. Neben der Bezeichnung als Bellman-Ford-Algorithmus beschreiben andere Autoren diesen auch als Ford/Moore-Algorithmus (Suhl & Mellouli, 2013: 178-181), FIFO-Algorithmus (Domschke & Drexl, 2005: 74-75) oder Label-Correcting-Verfahren (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 84-87).

Eine weitere effiziente Methode zur Lösung eines all-to-all SPP ist das Floyd-Warshall-Verfahren. Für diese Methode wird zu Beginn eine Matrix benötigt, in der alle bekannten Kantenlängen zwischen den Knoten abgebildet sind. Diese sogenannte  $(n \times n)$ -Adjazenzmatrix wird nun mit Hilfe einer Vorgängermatrix, also einer Matrix in der für jeden Knoten der Vorgänger markiert ist, Schritt für Schritt zu einer Distanzmatrix  $\mathbf{D} = (d_{ij})$  verbessert. Jede Iteration speichert eine neue Distanzmatrix und überprüft nach und nach die Zeile und Spalte jedes Knotens. Dabei wird verglichen, ob der bisherige Wert kürzer ist, als der Wert zum Vorgänger plus den Weg zwischen dem betrachteten Knoten und dem Vorgänger. Nach  $n$  (die Anzahl der Knoten) Iterationen stoppt der Algorithmus und das Ergebnis ist die Distanzmatrix  $\mathbf{D}$  mit den kürzesten Wegen von jedem Knoten zu jedem Knoten (Suhl & Mellouli, 2013: 181-183; Eiselt & Sandblom, 2012: 190-195). Zudem ist es auch möglich, parallel zu dem Algorithmus die daraus resultierenden Wege abzubilden (Eiselt & Sandblom, 2012: 193). Dieses Verfahren ist auch als Tripel-Algorithmus bekannt. Ein ähnlicher all-to-all SPP Matrixalgorithmus mit demselben Rechenaufwand ist der Algorithmus von Dantzig (Domschke, 2007: 89).

Im Bereich der Covering Probleme sind zu den hier genannten Distanzberechnungen zusätzlich unterschiedliche Covering Distanzmaße möglich, wie beispielsweise Flächen in Form von schrägen Parallelogrammen oder Blöcken. Drezner und Wesolowsky (2004) sowie Karasakal und Karasakal (2004) bieten darüber hinaus noch andere Covering Distanzmaße (Canbolat & Massow, 2009: 201).

### **3 Entscheidungsmethoden zur Standortwahl**

Eine Standortentscheidung entsteht grundsätzlich aus einer komplexen und unsicheren Ausgangssituation. Umso wichtiger ist es daher, eine möglichst optimale Informationsgrundlage diesbezüglich zu schaffen (Hummel, 1997: 227). Grundsätzlich dienen die Modelle der Standorttheorie dem Optimierungsgedanken, sodass im Sinne der jeweiligen Zielsetzung der bestmögliche Standort ermittelt wird. Auf der anderen Seite zählt zu der Standortplanung aber auch die Standortbewertung (Kinkel & Buhmann, 2004: 33). Deshalb sind zusätzlich zu den Methoden der Standorttheorie weitere Entscheidungsmethoden zur Standortplanung zu nennen: qualitative und investitionskostenorientierte Methoden. In Kapitel 3.1 werden vier qualitative Entscheidungshilfen behandelt, mit deren Hilfe eine fundierte Vorauswahl von Standorten getroffen werden kann. Das Kapitel 3.2 befasst sich anschließend mit der Bewertung von Investitionsvorhaben. Dazu werden die gängigsten statischen und dynamischen Investitionskostenmodelle vorgestellt. In den Unterkapiteln 2.5 und 2.6 wurden bereits Grundlagen für die Standortplanung nach den Methoden der Standorttheorie behandelt. Diese werden in Kapitel 3.3 genauer betrachtet und sind dort unterteilt in die jeweilige Zielsetzung. Dabei ist zusätzlich die räumliche Betrachtungsweise ein weiterer, wichtiger Faktor.

#### **3.1 Qualitative Standortplanung**

Mit Hilfe eines heuristischen Verfahrens lässt sich die Komplexität eines Entscheidungsproblems reduzieren, um dann auf eine gute (jedoch nicht optimale) Lösung bei vertretbaren Kosten, Aufwand und Risiko zu kommen (Maier & Tödtling, 2006: 26-27). Im Folgenden werden vier solcher Verfahren vorgestellt, die eine Standortplanung von einer qualitativen Herangehensweise aus betrachten: (1) das Checklisten Verfahren, (2) die Nutzwertanalyse, (3) die Länderrisikoanalyse und (4) die Nachahmung. Das Ziel ist dabei nicht unbedingt den optimalen Standort zu finden, sondern einen oder mehrere gut geeignete Standorte. Diese können im Folgenden als Entscheidungshilfe für andere Verfahren dienen. Auch ist anzumerken, dass die Entscheidungsfaktoren bei diesen Methoden häufig von subjektiver Natur des Entscheidungsträgers sind (Kinkel, 2004: 50-51).

##### **3.1.1 Checklistenverfahren**

Mittels des Checklistenverfahrens kann die Anzahl der potenziellen Standortalternativen eingegrenzt werden. Dazu werden die als besonders relevant eingeschätzten Standortfaktoren aufgelistet, einzeln bewertet und gegenübergestellt, ohne jedoch einen Gesamtwert für die einzelnen Standortalternativen zu ermitteln. Mit der Definition von Mindestanforderungen und anhand von K.O.-Kriterien wird so eine Vorauswahl für die Standortwahl getroffen (Kinkel 2004: 34).

Die Faktoren einer Checkliste werden normalerweise auf Basis der Unternehmenserfahrung erstellt, damit lediglich unternehmensspezifische, erfolgskritische Standortfaktoren betrachtet werden, welche im Sinne der geplanten Unternehmensstrategie stehen (Kinkel & Buhmann, 2004: 39-40). Je nach verfolgter Strategie des Unternehmens werden jeweils andere Faktoren von den Entscheidungsträgern als erfolgsgestimmend wahrgenommen. Das Checklistenverfahren hilft dabei, zunächst den Fokus auf einige wenige Faktoren zu legen (Kinkel, 2004: 33-34). Häufig sind daraus resultierende Ausschlusskriterien für potenzielle Standorte die rechtliche Stabilität einer Region, ein Investitionsrisiko, fehlende geografische und geopolitische Eignung (beispielsweise wegen Klima, Wasser, Naturkatastrophen, etc.) aber auch das Fehlen von potenziellen Basisanforderungen (Kinkel & Buhmann, 2004: 33-34). Mit dem Checklistenverfahren kann eine gute Grundlage für weitere Analysen geschaffen werden (Kinkel, 2004: 34).

#### BEISPIEL FÜR EIN CHECKLISTENVERFAHREN

		Standort						
		A	B	C	D	E	F	G
geopolitisch	rechtliche Stabilität	+	+	+	+	+	+	+
	keine Gefahr vor Naturkatastrophen	+	+	+	+	+	+	+
	Achtung von Menschenrechten	+	+	+	+	+	+	+
Kosten	regionale Energiekosten < 0,2 € / kWh	+	-	+	+	+	+	+
	Grunderwerb < 5 Mio. €	+	+	+	+	+	+	-
	Hebesatz höchstens 350%	+	+	+	-	+	+	+
Infrastruktur	Parkplätze, ÖPNV, Autobahnanschluss	+	+	+	+	+	+	+
	starker Breitbandanschluss	+	+	+	+	+	+	-
	Wachstumsmöglichkeiten	+	+	+	-	-	+	+
Umfeld	Nähe zu Forschungseinrichtungen	+	+	+	+	+	+	+
	Nähe zu Technologie- und Gründungszentren	+	+	+	+	-	+	+
	Nähe zu Beratungsunternehmen, anderen Dienstleistern	+	+	+	+	+	+	+

Tabelle 2: Beispiel für ein Checklistenverfahren (eigene Darstellung).

Tabelle 2 zeigt ein Beispiel für das Checklistenverfahren. An der linken Seite sind die Ausschlusskriterien nach verschiedenen Bereichen formuliert. Hier wird nur eine denkbare Auswahl von Kriterien aufgezeigt. Denkbar wären andere oder weitere Faktoren in den Bereichen der Auflagen und Bestimmungen, Absatzmöglichkeiten, Beschaffung, Umwelt und

Nachhaltigkeit, Mitarbeiter oder Konkurrenz. Standorte, die ein oder mehrere Kriterien nicht erfüllen, werden bei einer weiteren Analyse nicht mehr beachtet. In diesem Beispiel ist eine positive Bewertung der Standorte A, C und F erfolgt.

### 3.1.2 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ermöglicht eine systematischere Vorgehensweise und birgt den Vorteil, dass sowohl qualitative als auch quantitative Faktoren in die Beurteilung einfließen können. Bei dieser Methode werden im Gegensatz zum Checklistenverfahren zuerst die einzelnen Standortfaktoren mit entweder absoluten oder relativen Gewichtungen versehen. In einem zweiten Schritt werden dann die einzelnen Standorte mit Punkten („Scores“) bewertet (Kinkel & Buhmann, 2004: 34). Dieses von Christof Zangemeister (1976) entwickelte Verfahren zählt daher auch zu den sogenannten Scoring-Modellen. Blohm und Lüder (1995: 176) kritisieren, dass alle Elemente dieser Analyse, also die Entscheidungskriterien, die Gewichtungen und auch die Teilnutzwerte, auf Basis subjektiver Einschätzungen und Bewertungen der Entscheidungsträger erfolgen. Dadurch ist es möglich, dass unterschiedliche Anwender zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass durch die Aggregation zu einer Gesamtbewertung (Nutzwert) die einzelnen Kriterien ihre originäre Dimension verlieren. Dadurch entstehen ein erheblicher Informationsverlust und ein Interpretationsproblem (Adam, 1997: 365).

#### NUTZWERTANALYSE AM BEISPIEL DER STANDORTPLANUNG EINES BREMER FERNBUSBAHNHOFS

		Gewichtung	Standort		
			H.Schauinsland-Pl. / Breitenweg	ehemaliger Güterbahnhof	Flughafen
Lage	Lage zur Innenstadt	2,0	• •	• •	•
	Lage zum Flughafen	1,0	•	•	• • •
Erreichbarkeit	Anbindung ÖPNV	2,0	• • •	• • •	• •
	Lage zum Hbhf / Anbindung SPNV	1,5	• • •	• • •	•
	Anbindung BAB	1,0	• •	• •	• •
Funktionalität	Nutzbarkeit (Fernbusbetreiber)	2,0	•	• • •	• • •
	Ausstattung / Komfort (Nutzer)	2,0	•	• • •	• • •
	Service	1,0	•	• • •	• • •
	ausreichend Haltepositionen	3,0	•	• • •	• • •
	Reserve	1,5	•	• • •	• • •
	Erweiterbarkeit	1,0	•	• •	• • •

Kosten	Grunderwerb erforderlich	3,0	•••	•	•••
	Umbaukosten	3,0	•••	•	•
	Betriebskosten	3,0	•••	••	••
Einnahme- möglichk.	Stationsgebühren	2,0	•	•••	••
	Parkraumbewirtschaftung	1,5	•	••	•••
	Sonstige Einnahmen	1,0	•	••	••
Allgemeines	Verkehrssicherheit	3,0	•	•••	•••
	Barrierefreiheit	3,0	••	•••	•••
	Städtebauliche Wirkung	1,5	•	•••	••
	Akzeptanz (Betreiber & Kunden)	3,0	••	•••	•
	<b>Gesamtbewertung</b> (Durchschnitt, ungewichtet)		<b>1,67</b>	<b>2,43</b>	<b>2,33</b>
	<b>Gesamtbewertung</b> (Durchschnitt, gewichtet)		<b>3,62</b>	<b>4,88</b>	<b>4,59</b>

Tabelle 3: Nutzwertanalyse am Beispiel der Standortplanung eines Bremer ZOB (Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, 2014: 6).

Die Tabelle 3 zeigt die Nutzwertanalyse eines Gutachtens, welches 2014 im Rahmen der Entscheidung zu einem neuen Standort für den Bremer Fernbusbahnhof erstellt wurde. Hierzu hat der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr zunächst die Auswahl auf drei Standorte beschränkt, welche sich durch günstige Erschließungskosten oder Verkehrsanbindungen eignen. Die Gewichtung erfolgt in absoluten Zahlen zwischen 1,0 und 3,0 und die Bewertung der einzelnen Kriterien, also die Teilnutzwerte, erfolgt mit einem, zwei oder drei Punkten. Ungewichtet ist so eine Gesamtbewertung von 1,0 bis 3,0 möglich, gewichtet von 2,0 bis 6,0.

### 3.1.3 Sonstige qualitative Entscheidungshilfen

Bedeutsame Treibkräfte sind unter anderen die Internationalisierung und Globalisierung. Die Bildung von großen Wirtschaftsblöcken, wie dem europäischen Binnenmarkt oder des NAFTA- und ASEAN-Raums, führte zu einer Harmonisierung der Wettbewerbsbedingungen. Für deutsche Unternehmen stellen vor allem die europäische Marktintegration und die im Jahr 1999 in Kraft getretene Wirtschafts- und Währungsunion zwei bedeutsame Entwicklungen dar (Bankofer, 2001: 2). Bei der Internationalisierung eines Unternehmens kann zur Einschätzung der politischen und wirtschaftlichen Risiken der potenziellen Zielländer auf sogenannte Country-Ratings zurückgegriffen werden. Diese bieten Länderrisikoindikatoren, wie z. B. Transferrisiken oder Dispositions- oder Enteignungsrisiken. Dies sind Risiken, die im wirtschaftlichen Verkehr mit dem Ausland und auch ohne konkreten Projektbezug auftreten können. Der Schwerpunkt liegt dabei in der Früherkennung von wirtschaftlichen und



politischen Risiken im Ausland und nicht darin die Marktchancen aufzuzeigen. Die Datengrundlage dieser Country-Ratings sind Scoring-Modelle, die häufig qualitativ auf Grundlage von Expertenbefragungen und quantitativ auf Basis von statistischen Daten gebildet werden. Zu den bekanntesten Country-Ratings gehören der mm-Ländertest, der BERI-Index (Business Environment Risk Information), das Länderrating des Institutional Investor sowie Euromoney (Kinkel & Buhmann, 2004: 34; Krystek & Walldorf, 1997: 445).

Eine weitere strategische Herangehensweise an die Standortplanung ist die der Nachahmung. Dies ist eine Best-Practice-Strategie, bei der ein ähnlicher Standort gewählt wird, wie er von anderen erfolgreichen Unternehmen bereits gewählt wurde. Theoretisch fußt sie auf dem Prinzip, dass eine (Standort-)Entscheidung ständig durch den Auslesemechanismus des Marktes überprüft wird. Konkurrenzfähige Unternehmen haben demnach bereits besonders gute Entscheidungen getroffen und sind unter anderem wegen Ihrer Wahl des Standortes Erfolgreich und können imitiert werden. Jedoch vernachlässigt diese Theorie, dass auch andere strategische Entscheidungen diesen Erfolg definieren und, dass sich standortspezifische Voraussetzungen mit der Zeit ändern (Maier & Tödting, 2006: 27).

### **3.2 Investitionskostenmodelle**

Modelle zur Beurteilung von Investitionsvorhaben zählen ebenfalls zu den gängigen Standortbewertungsverfahren und ergänzen die qualitativen Entscheidungsmodellen gut, da sie weniger subjektiv geprägte Ergebnisse bieten (Kinkel & Buhmann, 2004: 33). Dabei ist die Berechnungsgrundlage stets ein aus monetären Größen abgeleitetes Kriterium, während andere Zielkriterien unbeachtet bleiben. Die Modellprämissen sind, dass den Modelldaten eine Sicherheitssituation vorliegt, dass sich die Höhe von Ein- und Auszahlungen prognostizieren lassen und dass sich die Nutzungsdauer der Investitionsobjekte bestimmen lässt (Götze, 2006: 49). Diese Modelle lassen sich unterteilen in statische und dynamische Verfahren. Dynamische Investitionsrechnungen führen gegenüber den statischen Methoden grundsätzlich zu realistischeren Ergebnissen (Kinkel & Buhmann, 2004: 35).

Je nach Standort variieren die Kosten und Erlöse eines Betriebs. Für jeden Standort sollten in erster Linie anfallende Kosten und erzielbare Erlöse errechnet werden. Entsprechend der neoklassischen Ökonomie wird der Standort gesucht, bei dem die Erlöse größer den Kosten sind. Es gilt dabei, die verschiedenen Kosten zu differenzieren. So gibt es immobile Einsatzfaktoren, wie Grund, Boden, Infrastruktur oder Agglomerationsvorteile, wenig mobile Einflüsse, wie der Faktor Arbeit und darüber hinaus den Faktor der Transportkosten. In Bezug auf die Erlösseite gilt es zudem, die räumliche Differenzierung, im Sinne des Marktzugangs und der Wettbewerbsstrategie, zu treffen. Die Suche nach dem kostenminimalen Standort, im Sinne von immobilen und wenig mobilen Kosten, ist dann eine nützliche Alternative, wenn die Wettbewerbsstrategie auf niedrigen Kosten beruht, der Marktzugang räumlich nicht, oder kaum variiert, der Markt sehr großräumig ist oder das Endprodukt leicht und billig zu transportieren

ist. Für Dienstleistungsunternehmen oder den Einzelhandel, wo Marktnähe wichtig ist, kann sich am erlösmaximalen Standort orientiert werden, da die Inputkosten weitgehend standortunabhängig sind (Maier & Tödting, 2006: 24-25).

### 3.2.1 Statische Verfahren

Zuerst wird auf die statischen Modelle eingegangen. Diese betrachten lediglich einen Zeitabschnitt, welcher entweder eine bestimmte Nutzungsperiode ist, die repräsentativ für den gesamten Nutzungszeitraum gilt, oder es handelt sich um eine hypothetische Durchschnittsperiode (Götze, 2006: 50). Als statische Verfahren werden im Rahmen dieser Arbeit die Kostenvergleichsrechnung, die Rentabilitätsrechnung und die statische Amortisationsrechnung vorgestellt.

Die Kostenvergleichsrechnung lässt sich vergleichsweise einfach durchführen und erfolgt lediglich auf der Grundlage von Durchschnittsgrößen verschiedener Kostenarten. Dabei sind vor allem die Personalkosten, Materialkosten, Abschreibungen, Zinsen, Steuern, Gebühren, Beiträge und die Kosten für Fremdleistungen zu berücksichtigen. Die Gesamtkosten einer Investitionsalternative ergeben sich aus der Addition aller Kostenkomponenten. Die jährlichen variablen Kosten sind zur Vergleichbarkeit auf die gleiche Kapazität umzurechnen. Die durchschnittlichen Abschreibungen ergeben sich aus dem linearen Abschreibungsverfahren und berechnen sich mithilfe der Anschaffungskosten, der Nutzungsdauer und dem Liquidationserlös. Zudem sind Zinsen zu beachten, die sich aus dem durchschnittlich gebundenen Kapital und einem Kalkulationszinssatz ergeben. Anhand der ermittelten, durchschnittlichen, fixen Kosten und den Durchschnittskosten der Investition kann ein Vergleich der Standortalternativen erfolgen. Dieser Vergleich kann zudem mit einer Alternative eines Fremdbezugs ergänzt werden (Götze, 2006: 51-56).

Die Rentabilitätsvergleichsrechnung berechnet sich aus drei Größen: dem durchschnittlichen Gewinn, der durchschnittlichen Zinsen und der durchschnittlichen Kapitalbindung.

$$\text{Rentabilität} = \frac{\text{durchschnittlicher Gewinn} + \text{durchschnittliche Zinsen}}{\text{durchschnittliche Kapitalbindung}} \quad (6)$$

Mit dieser Rechnung wird somit eine Gesamtverzinsung des durchschnittlichen Kapitaleinsatzes bestimmt. Bei einer höheren Rentabilität ergibt sich eine relative Vorteilhaftigkeit gegenüber dem Vergleichsobjekt (Götze, 2006: 60-61).

Bei der statischen Amortisationsrechnung wird die Amortisationszeit bestimmt, welche den Zeitraum wiedergibt, nachdem ein Investitionsobjekt durch die durchschnittlichen Rückflüsse und Einzahlungsüberschüsse wiedergewonnen wird. Hierbei besteht ein relativer Vorteil gegenüber Investitionsobjekten mit höherer Amortisationszeit.

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{eingesetztes Kapital}}{\text{durchschnittliche Rückflüsse}} \quad (7)$$

Das eingesetzte Kapital entspricht den Anschaffungskosten des Objekts. Bei einem erwartbaren Liquidationserlös kann dieser entweder vom eingesetzten Kapital abgezogen werden oder als ein auf die Nutzungsdauer verteilter Erlösüberschuss auf die durchschnittlichen Rückflüsse hinzuaddiert werden. Darüber hinaus sind die durchschnittlichen Rückflüsse nicht als Gewinn zu verstehen, sondern bilden das Saldo der laufenden Ein- und Auszahlungen. Werden die Rückflüsse von dem Gewinn abgeleitet, so sind insbesondere die Abschreibungen wieder hinzuzurechnen (Götze, 2006: 63-64).

### 3.2.2 Dynamische Verfahren

Der Unterschied von dynamischen zu statischen Verfahren ist, dass mehrere zeitliche Perioden berücksichtigt werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass sich die Ein- und Auszahlungen prognostizieren lassen und bestimmten Punkten im Zeitablauf zurechnen lassen. Da die Zahlungen von der Zeit abhängen, können diese nicht mehr unmittelbar zusammengefasst werden. Durch verschiedene finanzmathematische Transformationen, z. B. der Auf- oder Abzinsung, lassen sich die Zahlungsbeträge wieder in einem Wert zusammenführen (Götze, 2006: 66-67). Im Folgenden werden drei dynamische Verfahren vorgestellt: die Kapitalwertmethode, die Annuitätenmethode und die interne Zinssatz-Methode.

Die Kapitalwertmethode lässt sich als ein Geldvermögenszuwachs interpretieren und wird als Barwert eines Investitionsobjekts unter der Berücksichtigung von Zinsen verstanden. Der Kapitalwert gibt die Summe aller auf- bzw. abgezinsten Zahlungen wieder, die durch die Realisation einer Investition verursacht werden (Götze, 2006: 71).

Laut Kinkel und Buhmann (2004: 35) berechnet sich der Kapitalwert durch

$$\text{Kapitalwert} = -A_0 + \sum_{t=0}^T \frac{R_t}{q^t} + \frac{L}{q^T} \quad (8)$$

mit den Parametern und Indizes:

$t$  = Zeitindex

$T$  = letzter Zeitpunkt, in dem Zahlungen anfallen (Ender der Nutzungsdauer)

$i$  = der Kalkulationszinssatz

$q^t$  = Abzinsungsfaktor ( $q = 1 + i$ ) für den Zeitpunkt  $t$ , mit  $t = 1, \dots, T$

$A_0$  = die Anschaffungsauszahlung

$R_t$  = Rückfluss zum Zeitpunkt  $t$  als Differenz der Ein- und Auszahlung der Periode  $t$   
 $L$  = der Liquidationserlös

Da es sich bei Standortentscheidungen um langfristige Entscheidungen handelt, besteht die Schwierigkeit bei diesem Verfahren darin, eine realistische und sichere Prognose für die Ein- und Auszahlungen bereitzustellen. Eine besondere Herausforderung besteht besonders bei internationalen Standortentscheidungen, wenn unterschiedliche Währungen, Steuersysteme und Inflationsraten in ein Modell mit einbezogen werden sollen (Kinkel & Buhmann, 2004: 35-36).

Aus der Kapitalwertmethode geht die Annuitätenmethode hervor. Eine Annuität stellt eine periodenbezogene Größe dar und kann für einen Investor als eine Form des „Durchschnittsgewinns“ interpretiert werden (Götze, 2006: 93-96). So ist der direkte Vergleich der Annuitäten von mehreren Investitionsobjekten mit unterschiedlichen Anschaffungswerten und Nutzungsdauern miteinander möglich (Olfert, 2003: 238).

$$\text{Annuität} = \text{Kapitalwert} * \frac{(1+i)^T * i}{(1+i)^T - 1} \quad (9)$$

Ebenfalls abgeleitet vom Kapitalwert, ist die interne Zinssatz-Methode. Bei dieser geht es um die Ermittlung eines Zinssatzes, der zu einem Kapitalwert gleich Null führt. Seien die Anschaffungsauszahlung und der Liquidationserlös vernachlässigt, gilt:

$$\text{Kapitalwert} = \sum_{t=0}^T \frac{R_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (10)$$

Wobei  $r$  für den internen Zinssatz steht. Dieser lässt sich somit als die Verzinsung des gebundenen Kapitals in dem Investitionsobjekt zu verschiedenen Perioden verstehen (Götze, 2006: 96).

### 3.2.3 Kritische Beurteilung

Generell liegt die Schwierigkeit aller Investitionskostenmodelle in der Datenermittlung, also in der Qualität und der Sicherheit der Datengrundlage (Götze, 2006: 56). Andererseits bietet die Betrachtung durchschnittlicher, variabler Kosten auch die Möglichkeit verschiedene Szenarien durchzurechnen. So können zum Beispiel standortspezifische Personalkosten einer hohen Automatisierung gegenübergestellt werden, wodurch der Standortfaktor „Arbeitskosten“ in eine quantitative Relation gesetzt wird (vgl. Reh, 2009: 324-325).

Die in diesem Kapitel beschriebenen Methoden dienen vorwiegend zur Bewertung von Standortalternativen. Sie geben einen Überblick über die Vorteilhaftigkeit einer Investition

basierend auf den Anschaffungskosten und Liquidationserlösen, dem Gewinn oder der Differenz aus Ein- und Auszahlungen sowie verschiedenen Verzinsungen. Zu dieser neoklassischen Sichtweise gibt es jedoch Einwände. So ist zum Beispiel die Motivation und das Ziel der Unternehmen weniger die Optimierung, als die Suche nach einer zufriedenstellenden Lösung. Nach dieser Sichtweise wird ein gewinnbringender Standort gesucht und nicht der am meisten gewinnbringende. Auch lassen sich Verhaltensmuster von Betrieben oder die Kosten der Informationssuche bei vollkommener Information vernachlässigen und sind schlecht in neoklassische Konzepte zu erfassen (Maier & Tödtling, 2006: 24-25).

Wird von einem großen Anteil der Transportkosten auf die gesamten Kosten ausgegangen, so könnten die Modelle aus dem folgenden Kapitel dazu dienen eine genauere Kalkulation der Kostenseite zu ermöglichen. Anders herum, können die Investitionskostenmodelle auch in die folgenden Modelle miteinbezogen werden. So könnten z. B. die (Teil-)Ergebnisse aus der Kostenvergleichsrechnung in die Fixkosten eines Warehouse Location Problems (siehe Kapitel 3.3.2) einfließen. Weitergehend könnte eine Amortisationsrechnung Aufschluss über eine Mindestnutzungsdauer bringen, welche im Rahmen eines dynamischen Standortmodells verwertet werden könnte (siehe Kapitel 3.3.6).

### **3.3 Analytische Methoden der Standorttheorie**

Grundlegend für die Planung von Distributionssystemen und für die Lokalisierung von Produktionsstätten und Nachschublagern ist es, letztere mit der Kundennachfrage zu koordinieren. Die regionale Verteilung der Kundennachfrage, die Produktions- und Langerstandorte sowie die Vertriebspunkte der Wettbewerber geben maßgeblich die Struktur von Distributionssystemen vor. Die in diesem Kapitel folgenden Modelle lassen einen Großteil der Standortfaktoren außer Acht und konzentrieren sich stattdessen auf die Gunst der Lage hinsichtlich der Erwerbs- und Betriebskosten, der Transportkosten und des Serviceniveaus. Wesentliche Fragestellungen der Standorttheorie sind Median-Probleme, Center-Probleme und Covering-Probleme (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 99-103). Diese drei Problemarten unterscheiden sich in ihrer Zielsetzung und werden als nächstes genauer erläutert. Zudem unterscheiden sich die Methoden der Standorttheorie vor allem in ihrer räumlichen Betrachtung und in der Anzahl der gesuchten Standorte.

Zum einen gibt es Modelle, welche die Summe der gesamten Transportkosten im Distributionssystem minimieren (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 101). Gleichmaßen kann es das Ziel sein, die Summe aller Distanzen zu den Kunden zu minimieren. Standortmodelle mit dieser Kostenzielsetzung werden deshalb auch Minisum-Probleme genannt. Diese auch als Median-Probleme bezeichneten Modelle streben also eine Effizienzlösung an, sodass eine hohe Anzahl von Nachfragepunkten oder Kunden mit der größten Nachfrage günstig erreicht werden können (Gadegaard, 2016: 1).

Zudem gibt es Fragestellungen, welche vorgegebene Entfernungen zu den Kunden nicht überschreiten oder die Nachfragepotenziale der Bevölkerung ausschöpfen sollen. Diese gelten zum einen für die Konsumgüterdistribution, als auch für kommunale Dienstleistungen, wie Servicepunkte (z. B. Briefkästen, Postämter und Bankfilialen), kommunale Einrichtungen (wie Schulen und Kindergärten) oder Notfalleinrichtungen (wie Feuerwehren, Polizeistationen und Krankenhäuser) (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 101), aber auch für technische Anwendungen, wie der Errichtung von drahtlosen Netzwerken (Frank, 2007: 131). In diesen Fällen handelt es sich entweder um Center-Probleme, sogenannte Minimax-Probleme (Hale & Moberg, 2003: 22), oder um Covering-Probleme. Center-Probleme zielen darauf, die maximale Distanz von einem oder mehreren gesuchten Standorten zu allen Nachfragepunkten zu minimieren. Diese Art von Standortproblemen strebt entweder eine gerechte Erreichbarkeit von allen Nachfragepunkten zum jeweiligen Standort an oder die Vermeidung der Entstehung von Engpässen. Handelt es sich um Covering-Probleme, ist das Ziel ein bestimmtes Gebiet mit einer möglichst geringen Anzahl von Einrichtungen zu bedienen (Set Covering); oder eine möglichst hohe Nachfrage mit einer festgelegten Anzahl von Einrichtungen zu erreichen (Maximum Covering). Covering-Probleme zielen daher auf eine möglichst hohe Nachfrageabdeckung ab (Gadegaard, 2016: 1).

Es gibt auch Zielsetzungen, welche den oben genannten diametral entgegenstehen: Maxisum- oder Maximin-Probleme. Diese finden in der Forschung jedoch weitestgehend keine Beachtung (Hale & Moberg, 2003: 22). Zudem gibt es Standortprobleme, die nicht die Lokalisierung des Standorts, sondern der Verteilung der Einrichtungen innerhalb des Standorts optimieren, sogenannte Layout Probleme (Eiselt & Sandblom, 2012: 247-248). Diese Sonderformen werden im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht weiter betrachtet.

Zudem lassen sich drei räumliche Betrachtungsweisen bei der Modellierung dieser Probleme unterscheiden: kontinuierliche Modelle, semidiskrete Modelle und diskrete Modelle.

Kontinuierliche Modelle (Englisch: *continuous*) gehen von der euklidischen Ebene aus (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 101). Teilweise sind diese auch als „im freien Raum“ (vgl. Thonemann, 2010) und „im planaren Raum“ (vgl. Kreckler, 2015) oder im Englischen als *on the plane*, *planar* oder *spatial location models* bekannt. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine Einrichtung überall auf einer Fläche platziert werden kann. Da hierbei mit einfachen Daten gearbeitet wird, häufig mit einem GPS- oder X-/Y-Koordinatensystem, können dabei jedoch realitätsferne Standorte zustande kommen. Dies kann dazu führen, dass sich der errechnete, optimale Standpunkt auf einem hohen Berg, zwischen zwei Städten oder in einem See oder Fluss befindet (Thonemann, 2010: 92-94).

Semidiskrete Modelle sind solche, die in einem Netzgraphen dargestellt werden. Hier können Standorte auf den Knoten, aber auch auf einem beliebigen Punkt auf den Kanten lokalisiert werden (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 101). Diese Modelle sind auch als „im Netzwerk“ oder

im Englischen *on a network / netgraph* geläufig. Bei Modellen in dieser räumlichen Betrachtung sind die Nachfragepunkte auf den Knoten gelegen.

Bei diskreten Modellen wird davon ausgegangen, dass nur eine bestimmte Menge von potenziellen Standorten gegeben ist, zwischen denen eine Entscheidung zu treffen ist (Gadegaard, 2016: 2). Wenn der gesuchte Standort lediglich aus einer vorher bestimmten Menge von vorgegeben potenziellen Standorten ausgewählt wird, so ist es möglich, neben den Transportkosten auch qualitative Faktoren in die Entscheidung einzubeziehen und variable und fixe Produktions- beziehungsweise Standortkosten zu berücksichtigen (Thonemann 2010, S. 112, 122). Die fixen Standortkosten können Mieten, Versicherungen, Overheadkosten oder andere Kosten beinhalten und sind unabhängig von der ausgelieferten Menge. Variable Kosten können standortspezifische Materialhandhabungskosten sein und sind entsprechend proportional zur ausgelieferten Menge (Thonemann 2010, S. 113). Ein Standortproblem, das im Netzgraphen dargestellt ist, wird dann zu einem diskreten Modell, wenn ausschließlich auf den Knoten des Netzgraphen Standorte zugelassen sind (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 101).

Des Weiteren ist zu unterscheiden, welche Anzahl von Standorten gesucht wird. So gibt es Single Facility Location Problems (SFLP), wo lediglich ein Standort zu lokalisieren ist, und Multi Facility Location Problems (MFLP), wo es das Ziel ist, mehrere Standorte gleichzeitig zu finden. Das „p“ in der Bezeichnung von MFLP steht als Variable für die Anzahl der gesuchten Standorte. Mit den Modellen der Standorttheorie können verschiedene Szenarien durchmodelliert werden, um eine Entscheidung für eine optimale Anzahl von Standorten zu fällen. Grundlegend sind aber nachfolgende Überlegungen bei der Anzahl von Standorten zu bedenken. Sensitive Faktoren bei der Zentralisierung, beziehungsweise Dezentralisierung von Regionallagern und Transit-Terminals sind die Betriebskosten, die Transportkosten, die Lagerkosten und die Reaktionszeit (Vahrenkamp & Kotzab, 2012: 103-104; Chopra & Meindl, 2007: 76-80). Folgende zwei Darstellungen zeigen auf vereinfachte Weise, also ohne genaue Größen, wie diese Faktoren miteinander zusammenhängen. In Abbildung 9 werden die Zusammenhänge mit gemischter Bedeutung der Y-Achse gezeigt.

### KOSTENSTRUKTUR VON DISTRIBUTIONSSYSTEMEN

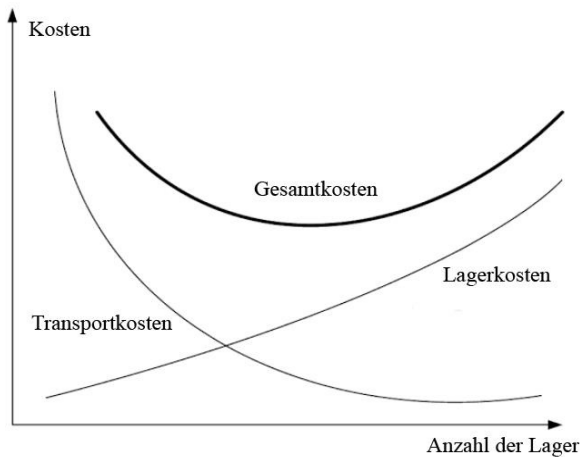


Abbildung 8: Kostenstruktur von Distributionssystemen (Vahrenkamp & Kotzab, 2012: 104).

### VARIATION IN LOGISTICS COST AND RESPONSE TIME WITH NUMBER OF FACILITIES

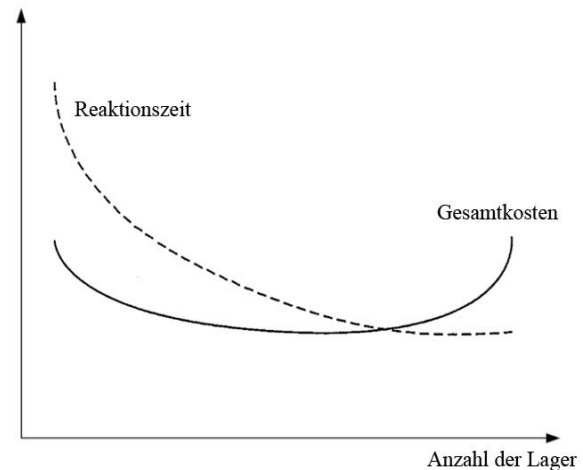


Abbildung 9: Variation in Logistics Cost and Response Time with Number of Facilities (Chopra & Meindl, 2007: 80, übersetzt durch den Verfasser).

In der Abbildung 8 lassen sich zwei Sachverhalte erkennen. Je mehr Einrichtungen geöffnet sind, desto geringer sind die durchschnittlichen Entfernungen zwischen Lagern und zugeordneten Kunden. So sinken die Transportkosten bei steigender Anzahl der Lager. Dies geschieht jedoch nur bis zu dem Punkt, an dem die Anzahl der Lager so hoch ist, dass die Befüllung dieser Lager die Transportmittel nicht mehr auslastet und dadurch unwirtschaftlich wird. Dem gegenläufig sind die Kosten der Bewirtschaftung für die Standorte. So fallen pro Lager Fixkosten für die Investition an, laufende Kosten für den Unterhalt und Kosten für den Bestand inklusive Sicherheitsbestand (Vahrenkamp & Kotzab, 2012: 103-104). Abbildung 9 stellt dem gegenüber, dass durch eine steigende Anzahl von Einrichtungen die Reaktionszeit zum Kunden minimiert werden kann. So ist es durchaus eine Überlegung wert, mehr Einrichtungen über den kostenminimalen Punkt hinaus anzustreben, so lange dies mit einer Zeitersparnis einhergeht. Insgesamt ist zu sagen, dass bei der Entscheidung über die Anzahl von Standorten zwischen den erfüllbaren Kundenbedürfnissen und den Kosten für ebenjene Tätigkeit abzuwägen ist (Chopra & Meindl, 2007: 76-80).

Mark S. Daskin (2013a: 23-25) bietet hierzu eine generelle Kostenfunktion für Service-Standorte und kommt zu dem Schluss, dass bei einer optimalen Anzahl von Standorten die Transportkosten doppelt so hoch wie die Fixkosten der Einrichtungen sind. Außerdem ist anzumerken, dass in der Regel mit jedem weiteren Standort die Ersparnis der durchschnittlichen, nachfragegewichteten Transportkosten (ebd.: 276-283) und die zusätzliche prozentuale Abdeckung der Nachfrage (ebd.: 164-168) abnehmen.



Die nachfolgende Tabelle vereint die räumlichen Betrachtungsweisen, die Anzahl der gesuchten Standorte und die drei wesentlichsten Fragestellungen der Standorttheorie und gibt so einen Überblick für die folgenden Unterkapitel.

## CHARAKTERISIERUNG VON STANDORTPLANUNGSPROBLEMEN

		Räumliche Betrachtungsweise		
		kontinuierlich	Netzgraph	diskret
Zielsetzung/ Fragestellung	Median	Weber-Problem, Multi-Weber-Problem	absolute 1-Median Problem	Warehouse Location Problem, 1-Median-Problem, p-Median-Problem
	Center	planar Center-Problem	absolute 1-Center-Problem, absolute p-Center-Problem	vertex 1-Center-Problem, vertex-p-Center-Problem
	Covering	planar Maximum-Covering-Problem	Maximum-Covering-Problem	Set-Covering-Problem, Maximum-Covering-Problem

Tabelle 4: Charakterisierung von Standortplanungsproblemen (Gadegaard, 2016: 6, Anpassung durch den Verfasser).

Eine mehrfache Belegung der Zellen begründet sich entweder darin, dass unterschiedliche Berechnung für SFLP oder MFLP durchgeführt werden, oder darin, dass verschiedene Unterziele bei der Berechnung verfolgt werden.

Die Grundlage für alle Modelle im kontinuierlichen Raum bieten die Koordinaten der Nachfragepunkte und gegebenenfalls deren zugehörige Nachfrage bzw. Gewichtung. Zudem ist für die Berechnung das Entfernungsmaß entscheidend (siehe Kapitel 2.6). Die Koordinaten der Nachfragepunkte werden im Folgenden mit  $(a, b)$  umschrieben, während die Koordinaten für die Standortentscheidung als  $(x, y)$  bezeichnet werden. Diskrete Modelle und Netzgraph-Modelle setzen einen Netzgraphen (siehe Kapitel 2.5) voraus, in dem Knoten, Kanten und gegebenenfalls die Gewichtung dieser, dargestellt sind. Bei allen mathematischen Formulierungen in den folgenden Kapiteln gelten die nachstehenden Bedeutungen der Variablen:

- $i$  = die Indexzahl der potenziellen Standorte. Es gilt  $i \in I$ , wobei die Menge  $I$  alle potenziellen Standortalternativen enthält. Sofern jeder Nachfragepunkt einen potenziellen Standort abbilden kann, gilt  $I = J$ ,
- $j$  = die Indexzahl der Nachfragepunkte. Es gilt  $j \in J$ , wobei die Menge  $J$  alle Nachfragepunkte enthält,
- $n$  = die Gesamtanzahl der Nachfragepunkte,
- $p$  = die Anzahl der zu lokalisierenden Standorte,

- $w_j$  = die Nachfrage, verbunden mit dem Nachfragepunkt  $j$ ,
- $d_{ij}(a, x)$  = die Distanzfunktion zwischen gesuchtem Standort und Nachfragepunkt,
- $r$  = der Radius,
- $R$  = die maximale Distanz eines Nachfragepunkts zum nächstgelegenen Standort,
- $F_i$  = die Fixkosten pro Zeiteinheit am Standort  $i$ ,
- $c_{ij}$  = der Kostensatz pro Zeiteinheit für den Transport zwischen Standort  $i$  und Nachfragepunkt  $j$ ,
- $h_{ij}$  = die Flussmenge von Knoten  $i$  zu Knoten  $j$ ,
- $x_i, y_i$  = die horizontalen und vertikalen Koordinaten der lokalisierten Standorte. Ohne Indexzahl, sofern nur ein Standort gesucht wird,
- $a_i, b_i$  = die horizontalen und vertikalen Koordinaten der Nachfragepunkte,
- $X_{ij}$  = eine Entscheidungsvariable, welche 1 ist, wenn eine Zuweisung vom Nachfragepunkt  $j$  zum Standort  $i$  erfolgt und welche 0 ist, wenn nicht,
- $Y_i$  = eine Entscheidungsvariable, welche 1 ist, wenn ein Standort an Knoten  $i$  eingerichtet wird und welche 0 ist, wenn nicht,
- $Z_j$  = eine Entscheidungsvariable, welche 1 ist, wenn ein Nachfrageknoten  $j$  von einem Standort abgedeckt wird und welche 0 ist, wenn nicht,
- $a_{ij}$  = eine Entscheidungsvariable, welche 1 ist, wenn ein Standort  $i$  einen Nachfragepunkt  $j$  abdecken kann und welche 0 ist, wenn nicht.

### 3.3.1 Center of Gravity Methode

Das erste Verfahren, welches im Teil der analytischen Verfahren vorgestellt wird, ist die Center of Gravity Methode (CoG). Dieses Verfahren ist für den kontinuierlichen Raum anzuwenden. Es kommt ohne Distanzfunktion aus und benötigt lediglich die Koordinaten der Kundenstandorte sowie die jeweilige Nachfrage dieser. Die Berechnung findet für die horizontalen und vertikalen Koordinaten getrennt voneinander statt und ähnelt der eines gewichteten, arithmetischen Mittels. Deshalb zählt dieses Verfahren auch zum Bereich der geografisch gewichteten Statistik. Der CoG wird berechnet, indem die Summe der einzelnen Produkte von Nachfrage und Kundenstandortkoordinate durch die gesamte Nachfrage des betrachteten Systems geteilt wird (Harris, 2017: 4108; Eiselt & Sandblom 2012, 239).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^J w_j a_j}{\sum_{j=1}^J w_j} \quad \text{bzw.} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{j=1}^J w_j b_j}{\sum_{j=1}^J w_j} . \quad (11.1, 11.2)$$

Der geografische Mittelwert ergibt sich an den Koordinaten  $(\bar{x}, \bar{y})$ . Durch das Fehlen einer Distanzfunktion fallen weite Entfernungen bei durchschnittlicher Nachfrage stärker ins Gewicht. Zudem ergibt sich diese Formel durch eine partielle Ableitung des Weber-Problems mit quadrierten euklidischen Distanzen (Eiselt & Sandblom, 2004: 223-224). Aus diesen Gründen trägt diese Berechnung sowohl Elemente eines Center- als auch eines Median-Problems (Eiselt & Sandblom 2012, 239). Allerdings verfolgt die CoG Methode kein Optimierungsziel, weshalb das Ergebnis keinesfalls den transportkostengünstigste Standort oder Ähnliches darstellt. Diese Methode dient lediglich dazu, einen genauen geografischen Mittelwert zu errechnen.

Wie bei Mittelwerten in der Statistik üblich, lässt sich auch in diesem Fall eine Standardabweichung  $s$  berechnen:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^J w_j (a_j - \bar{x})^2}{\sum_{j=1}^J w_j}} . \quad (11.3)$$

Zudem können darauf aufbauend weitere regionalökonomische Untersuchungen vorgenommen werden, wie zum Beispiel eine geografisch gewichtete LISA (Local Indicators of Spatial Association). Bei einer LISA-Berechnung gibt es verschiedene Maße um eine räumliche Konzentration oder eine positive und negative räumliche Autokorrelation festzustellen. Dies findet unter anderem Verwendung bei der Identifizierung von Clustern (Harris, 2017: 4108-4109).

### 3.3.2 Median Probleme

Wie bereits eingehend beschrieben, unterscheiden sich die Methoden der Standorttheorie in der jeweiligen Zielsetzung. Das folgende Kapitel beschreibt die gängigsten Median-Probleme bzw. Probleme mit der Zielsetzung der Minimierung von Transportkosten. Zuerst wird das *euclidean spatial median problem*, besser bekannt als das Weber-Problem (Hale & Moberg, 2003: 22), beschrieben. Der Name dieses Problems und anderer Probleme setzt sich aus seinen

grundlegenden Eigenschaften zusammen<sup>2</sup>. Hier sind es (1) die Zielsetzung: Median Problem, also minimale Transportkosten, (2) die räumliche Betrachtung: *spatial*, also auf der Ebene, und (3) die Distanzberechnung: *euclidean*, also euklidische Entfernungsmessung. Genauer gesagt handelt es sich um ein (Multi-)Weber-Problem, wenn die Nachfrage überall gleich 1 ist und um ein generalisiertes (Multi-)Weber-Problem, wenn es eine unterschiedliche Gewichtung der Nachfrage an den Nachfragepunkten gibt (Rosing, 1992: 416).

Das Problem lässt sich mathematisch folgendermaßen ausdrücken:

$$\min \sum_{j=1}^J w_j d_j(a, x). \quad (12.1)$$

Durch das Einsetzen der Manhattan Distance (Formel 2) in die Distanzfunktion ergibt sich das Weber-Problem mit rechtwinkligem Entfernungsmaß als

$$\min \sum_{j=1}^J w_j (|a_j - x| + |b_j - y|). \quad (12.2)$$

Dieses Problem mit rechtwinkligen Distanzen lässt sich vergleichsweise einfach berechnen, da das Problem, wie beim CoG-Verfahren, getrennt für horizontale und für vertikale Koordinaten berechnet werden kann. Eine mögliche tabellarische Lösung sieht so aus, dass die Nachfragestandpunkte nach ihrer Koordinate (zuerst die eine, dann die andere) aufsteigend sortiert werden und die Nachfrage Zeile für Zeile kumuliert wird. Die Koordinate, an der die kumulierte Nachfrage 50 % der gesamten Nachfrage überschreitet, wird für den optimalen Standort gewählt. Anschließend wird dieser Vorgang für die zweite Koordinate wiederholt (Eiselt & Sandblom, 2004: 222-223; Thonemann, 2010: 101-103).

Formel 12.3 zeigt das Weber-Problem mit der Distanzfunktion des euklidischen Entfernungsmaßes

---

<sup>2</sup> Da sich Experten aus verschiedensten Fachbereichen mit der Standortplanung beschäftigen und dabei teils eigene, fachspezifische Bezeichnungen verwenden, ist häufig unklar, ob ein gewisses Problem bereits untersucht und gegebenenfalls gelöst wurde. Deshalb haben sich einige Wissenschaftler um eine einheitliche Klassifizierung von Standortplanungsproblemen bemüht (vgl. Handler & Mirchandani, 1979; Brandeau & Chiu, 1989; Krarup & Pruzan, 1990; Eiselt et al., 1993; Carrizosa et al., 1995). Zuletzt wurde ein fünf Positionen Schema von Hamacher und Nickel (1998) vorgeschlagen. Dieses wird in der Form Pos1/Pos2/Pos3/Pos4/Pos5 geschrieben, wobei jede Position Aufschluss über die Zielsetzung, räumliche Betrachtung, verwendetes Entfernungsmaß und andere Eigenschaften gibt (Bender et al., 2002: 233-235; Daskin, 2013a: 11).

$$\min \sum_{j=1}^J w_j \sqrt{(a_j - x)^2 + (b_j - y)^2}. \quad (12.3)$$

Dieses Optimierungsproblem kann jedoch in dieser Form nicht mehr separat für  $x$  und  $y$  gelöst werden, da die Wurzel verhindert, dass zwei unabhängige Terme gebildet werden. Weiszfeld (1937) gelang es, diese Formel durch verschiedene Rechenschritte so umzustellen, dass die zwei Entscheidungsvariablen getrennt voneinander betrachtet werden können. Vereinfacht gesagt werden die partiellen Ableitungen der Zielfunktion nach  $x$  und  $y$  gebildet und gleich null gesetzt. Durch verschiedene mathematische Umformulierungen und aufgelöst nach  $x$  bzw.  $y$  ergeben sich so die zwei Gleichungen

$$x = \frac{\sum_{j=1}^J \frac{w_j a_j}{\sqrt{(a_j - x)^2 + (b_j - y)^2}}}{\sum_{j=1}^J \frac{w_j}{\sqrt{(a_j - x)^2 + (b_j - y)^2}}} \quad \text{und} \quad y = \frac{\sum_{j=1}^J \frac{w_j b_j}{\sqrt{(a_j - x)^2 + (b_j - y)^2}}}{\sum_{j=1}^J \frac{w_j}{\sqrt{(a_j - x)^2 + (b_j - y)^2}}}. \quad (12.4, 12.5)$$

Nach der Auswahl einer Anfangslösung (z. B. die Lösung aus der Manhattan-, der CoG-Methode, oder ein völlig beliebiger Wert) kann nun anhand eines iterativen Verfahrens die optimale Lösung bestimmt werden. Dazu wird zuerst die Anfangslösung in die linke Gleichung gesetzt. Anschließend wird der so ermittelte  $x$ -Wert in die rechte Gleichung und darauf der neue  $y$ -Wert wieder in die linke Gleichung eingesetzt. Dies wird so lange wiederholt, bis sich das Ergebnis kaum oder gar nicht mehr verändert (Eiselt & Sandblom 2012, 237-241; Thonemann 2012, 95-106).

Bei dem Multi-Weber Problem kommt nun hinzu, dass mehrere Standorte gleichzeitig gesucht werden. Durch die Aufgabe, gleichzeitig die optimalen Standorte zu finden und die richtigen Nachfragepunkte zuzuordnen, ist dieses Problem allgemein auch als *uncapacitated multi-facility location-allocation problem* bekannt (Bischoff et al.: 2009: 1).

$$\min \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^p X_{ij} w_j \sqrt{(a_j - x_i)^2 + (b_j - y_i)^2} \quad (13.1)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\sum_{i=1}^p X_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \quad (13.2)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J. \quad (13.3)$$

Die Zielfunktion in 13.1 minimiert die Transportkosten von allen Standorten zu den Nachfragepunkten. Die Nebenbedingung (N.b.) 13.2 gewährleistet, dass jeder Nachfragepunkt genau einem Standort zugeteilt wird. N.b. 13.3 definiert die Werte der Entscheidungsvariable. Durch die Binarität wird verhindert, dass eine teilweise Zuteilung erfolgt (Rosing, 1991: 416; Eiselt & Sandblom, 2004: 230-231).

Kenneth E. Rosing (1991) löst das Multi-Weber-Problem indem in einem mehrstufigen Verfahren alle Nachfragepunkte in Sets geteilt werden und anschließend für diese Sets das einfache Weber-Problem angewandt wird. Pierre Hansen et al. (1998) zeigen, dass ein Multi-Weber-Problem mit einer hohen Anzahl von Nachfragepunkten mithilfe zwei-Schritte-Heuristik wesentlich schneller gelöst werden kann, als andere bis dahin bekannten Lösungsansätze. Dazu wird das Problem zuerst als p-Median-Problem im Netzgraphen umformuliert und gelöst. Dabei stellt zunächst jeder Nachfragepunkt einen möglichen Standort für die logistische Einrichtung dar. Nach der Lösung als Netzgraphmodell gibt es eine bestimmte Auswahl an Standorten. Anschließend werden alle übrigen Nachfragepunkte den jeweils am nächsten liegenden Standort zugeteilt. Im zweiten Schritt wird nun jedes so entstandene Set von Standort und Nachfragepunkten für sich betrachtet. Da hierbei nur noch jeweils ein Standort gesucht wird, kann nun jedes einzelne Set im kontinuierlichen Raum mit der Weiszfeldmethode gelöst werden. Brimberg et al. (2000) bieten hierzu einen Vergleich von unterschiedlichen Lösungsverfahren. Zuletzt stellen Drezner et al. (2016) eine Heuristik vor, die drei andere Heuristiken zusammenfasst (eine konstruktive Heuristik, welche eine gute Anfangslösung gibt, ein zerlegender Ansatz nach Delaunay-Triangulation und eine effektive Nachbarschaftssuche) und vergleichsweise sehr gute Ergebnisse, gemessen an den zehn bekanntesten Lösungsverfahren, in akzeptabler Rechenzeit herausgibt.

Das Modellieren eines Median Problems im Netzwerk beruht auf der Prämisse, dass mindestens ein optimaler Standort auf einem der Knoten gefunden wird. Dies wurde von Hakimi (1965) für p-Median Probleme bewiesen. Somit lässt sich die Menge der optimalen Lösungen auf die Menge der Knoten beschränken und es ist nicht nötig, eine bessere Lösung entlang der Kanten zu suchen<sup>3</sup>. Daher lässt sich die mögliche Anzahl der Lösungen von einer unendlichen Anzahl auf die Anzahl der Knoten beschränken.

---

<sup>3</sup> Minieka (1977: 645-648) widerspricht dem zum Teil und führt ein Spezialfall auf, bei dem die optimale Lösung in einem symmetrischen Netzgraphen auf einer Kante liegt. Dabei beschreibt er auch wie ein solcher Fall für einen sogenannten *absolute Median* identifiziert werden kann.

Für die Lösung des 1-Median Problems im Netzgraphen benötigt es lediglich eine Distanzmatrix  $\mathbf{D} = (d_{ij})$ , welche die kürzesten Wege zwischen allen Knotenpaaren beinhaltet, und einen Vektor  $\mathbf{w} = (w_j)$  mit der jeweiligen Nachfrage am Nachfragepunkt  $j$ . Mit einer Vektor-Matrix-Multiplikation errechnet sich der Vektor  $\mathbf{wD}$ . Dieser enthält nun die Summe der Transportkosten zu allen Nachfragepunkten von allen Standorten in  $I$ . Schließlich befindet sich der Median an dem Standort  $i$ , der das Minimum im Vektor  $\mathbf{wD}$  darstellt (Eiselt & Sandblom 2012, 241-245).

Wird eine größere Anzahl von potenziellen Standorten gesucht, lässt sich das  $p$ -Median Problem im Netzgraphen als ein ganzzahliges Optimierungsproblem wie folgt formulieren.

$$\min \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} w_j d_{ij} X_{ij} \quad (14.1)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\sum_{i \in I} X_{ij} = 1, \quad \forall j \in J, \quad (14.2)$$

$$\sum_{i \in I} Y_i = p \quad (14.3)$$

$$X_{ij} \leq Y_i, \quad \forall i \in I, j \in J, \quad (14.4)$$

$$X_{ij}, Y_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J. \quad (14.5)$$

Äquivalent zu 13.1 minimiert die Zielfunktion in 14.1 die Transportkosten von allen Standorten zu den Nachfragepunkten. Die N.b. 14.2 drückt aus, dass jedem nachfragendem Kunden genau eine Einrichtung zugeteilt wird. Die gesamte Anzahl  $p$  geöffneter Standorte wird in N.b. 14.3 beachtet. N.b. 14.4 stellt sicher, dass Kunden nicht von ungeöffneten Standorten bedient werden können. N.b. 14.5 definiert erneut die Binarität der Entscheidungsvariablen (Mladenovic et al., 2007: 928-929).

Das vorher beschriebene  $p$ -Median Modell verfolgt das Ziel, die transportkostenminimalsten Standorte zu lokalisieren. Eine Erweiterung davon ist das Warehouse Location Problem (WLP). Dabei wird das  $p$ -Median Problem zu einem Gesamtkostenmodell umformuliert. Neu ist, dass hierbei die Fixkosten für den Betrieb der Standorte als monatliche Betriebskosten  $F_i$  der Standorte aus der Menge  $I$  hinzukommen. Dabei sind die gewichteten Transportleistungen  $w_j d_{ij}$  in Kostensätze  $c_{ij}$  der gleichen Zeitbetrachtung umzuformulieren. Es gelten die gleichen Nebenbedingungen aus den Formeln 14.2 bis 14.5 (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 124-125).

$$\min \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} c_{ij} X_{ij} + \sum_{i \in I} F_i Y_i \quad (15)$$

Durch die Vorauswahl der potenziellen Standorte und die Assoziierung mit Fixkosten ist dieses Modell der diskreten räumlichen Betrachtung zuzuschreiben.

### 3.3.3 Center-Probleme

Das Center Problem verfolgt das Ziel, einen Standort so zu lokalisieren, dass die längste Distanz von diesem Standort zu allen Nachfragepunkten minimal ist. Im Falle mehrerer Standorte minimiert dieses Problem die Entfernung von jedem Nachfragepunkt zu dem nächstgelegenen Standort (Eiselt & Sandblom, 2012: 233). Bei kontinuierlicher räumlicher Betrachtung mit euklidischen Distanzen wird also ein kleinstmöglicher Radius um einen Standort gebildet, sodass alle Nachfragepunkte in diesen hineinpassen. Daher wird dieses Problem unter anderem auch als Minimum Covering Sphere Problem bezeichnet (Elzinga & Hearn, 1972: 1) oder Circle Covering Problem bezeichnet (Moradi & Bidkhor, 2009: 38).

Zur Berechnung der Koordinaten auf planarer Ebene werden fünf Hilfsvariablen (Alpha 1 bis 5) benötigt, welche sich folgendermaßen formulieren (Eiselt & Sandblom, 2012: 234):

$$\alpha_1 = \max_j \{a_j + b_j\}, \quad \forall j \in J \quad (16.1)$$

$$\alpha_2 = \max_j \{-a_j + b_j\}, \quad \forall j \in J \quad (16.2)$$

$$\alpha_3 = \max_j \{a_j - b_j\}, \quad \forall j \in J \quad (16.3)$$

$$\alpha_4 = \max_j \{-a_j - b_j\}, \quad \forall j \in J \quad (16.4)$$

$$\alpha_5 = \max \{(\alpha_1 + \alpha_4), (\alpha_2 + \alpha_3)\} \quad (16.5)$$

Der 1-Center befindet sich dann an den  $(x, y)$  Koordinaten mit  $x = \frac{1}{2}(\alpha_3 - \alpha_4)$  und  $y = \frac{1}{2}(-\alpha_3 - \alpha_4 + \alpha_5)$  und besitzt die längste Distanz, bzw. den Radius von  $r = \frac{1}{2} \alpha_5$ . Alternativ befindet sich die Lösung bei  $x = \frac{1}{2}(\alpha_1 - \alpha_2)$  und  $y = \frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_5)$  bei gleichem Radius (Eiselt & Sandblom, 2012: 234-235).

Das Center-Problem ist im Netzgraphen in zwei Varianten zu unterscheiden: Beim *absolute* p-Center Problem kann der Standort sowohl auf den Knoten als auch auf den Kanten des Graphen lokalisiert werden, während beim *vertex* p-Center Problem lediglich die Knoten des Graphen als potenzielle Standorte in Frage kommen (Daskin, 2013a: 191). Bei mehreren Centern lässt



sich teilweise beobachten, dass die maximale Distanz der absoluten Center geringer ausfällt als bei der gleichen Anzahl von vertex Center. Die nachstehenden Abbildung 10 zeigt an einem Beispielgraphen die absoluten 1-, 2-, 3- und 5-Center. Anschließend wird in Abbildung 11 der Vergleich der Ergebnisse zwischen absolute Center und vertex Center, bezogen auf den identischen Graphen, dargestellt.

#### OPTIMAL SOLUTION TO THE ABSOLUTE 1-, 2-, 3-, AND 5-CENTER PROBLEMS

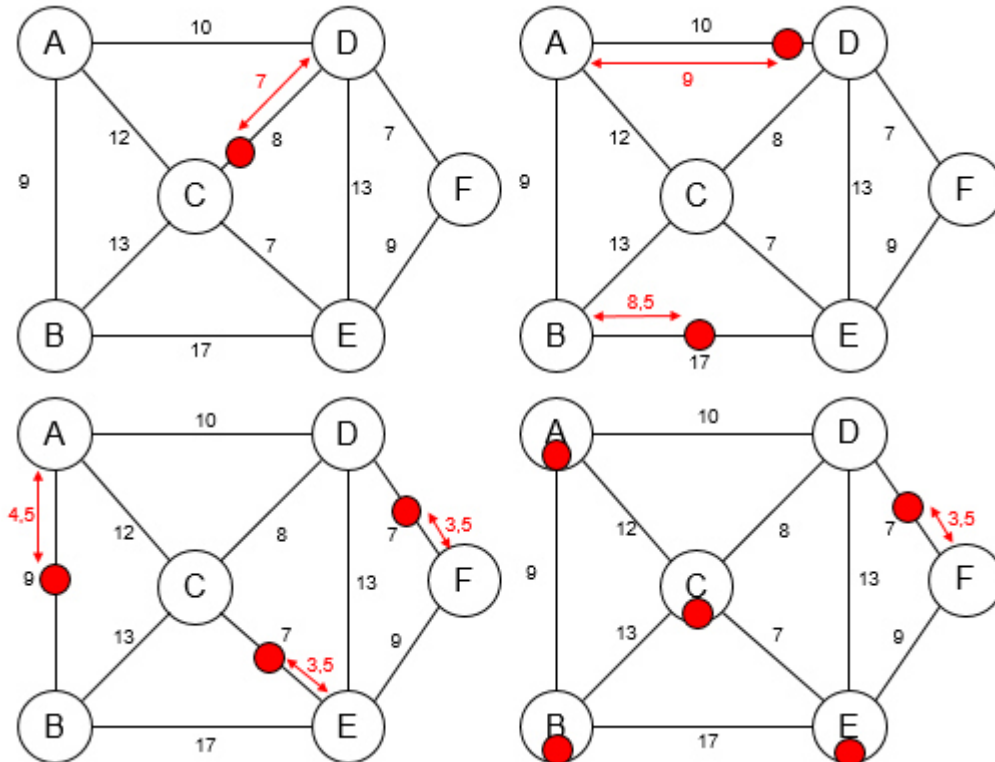


Abbildung 10: Optimal solution to the absolute 1-, 2-, 3-, and 5-center problem (Daskin, 2013a: 197-198).

## COMPARISON OF ABSOLUTE AND VERTEX P-CENTER SOLUTIONS

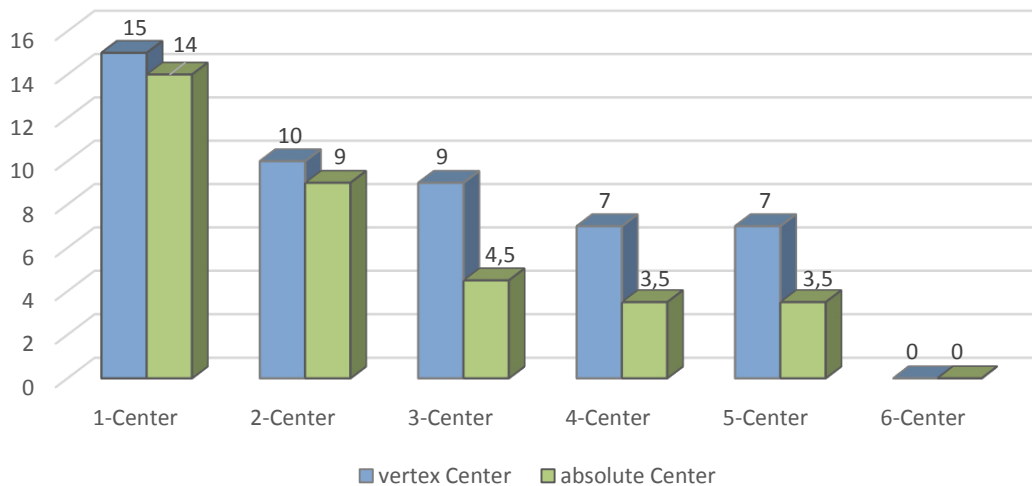


Abbildung 11: Comparison of absolute and vertex p-Center solutions (Daskin, 2013a: 198).

Es lässt sich erkennen, dass die absoluten Center gegenüber vertex Center in diesem Beispielgraphen bessere Ergebnisse im Sinne der Zielfunktion liefern. Auch in realitätsnahen Situationen sei dies zu beobachten. Einen Lösungsalgorithmus für das absolute p-Center Problem bietet Daskin (2013a: 215-229). Diese Arbeit fokussiert sich im Folgenden aber auf die genauen Lösungsmöglichkeiten für vertex Center Probleme.

Ein genaues Lösungsverfahren des vertex 1-Center Problem bietet bereits Hakimi (1964):

$$r = \min \left( \max_i d(i, j) \right), \quad \forall i \in I, j \in J \quad (17)$$

Mithilfe einer all-to-all Distanzmatrix  $\mathbf{D} = (d_{ij})$  werden jeweils alle maximalen Werte pro Spalte, also jeweils vom Standort  $i$  zu allen anderen Knoten, gesucht und miteinander verglichen. Der kleinste dieser Maximalwerte ist dann der minimale Radius, welcher alle Knoten einschließt. Der 1-Center befindet sich dann an dem entsprechenden Knoten  $i$  (Hakimi, 1964: 451).

Anders ist es, wenn der minimale Radius bei mehreren Standorten gesucht wird. Das p-Center Problem wird dafür als ganzzahliges Optimierungsmodell folgendermaßen formuliert:

$$\min R \quad (18.1)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\sum_{i \in I} X_{ij} = 1, \quad \forall j \in J \quad (18.2)$$

$$\sum_{i \in I} Y_i = p \quad (18.3)$$

$$X_{ij} \leq Y_i, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (18.4)$$

$$R \geq \sum_{i \in I} d_{ij} X_{ij}, \quad \forall j \in J \quad (18.5)$$

$$Y_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \quad (18.6)$$

$$X_{ij} \geq 0, \quad \forall i \in I, j \in J. \quad (18.7)$$

N.b. 18.2 stellt sicher, dass jeder Kunde einem Standort zugeteilt wird. N.b. 18.3 drückt aus, dass genau  $p$  Standorte geöffnet werden. N.b. 18.4 besagt, dass ein Kunde  $j$  nicht dem Standort  $i$  zugeteilt werden kann, solange Standort  $i$  nicht geöffnet ist. N.b. 18.5 beschreibt, dass die maximale Distanz  $R$  zwischen den Nachfragepunkten und den jeweils nächsten, geöffneten Standort den größten Wert aller Maximaldistanzen wiedergibt. Es ist außerdem anzumerken, dass  $X_{ij}$  in diesem Fall nicht binär wie  $Y_i$  ist (vgl. N.b. 18.6 und N.b. 18.7). Dadurch kann ein Kunde auch an einem Schnittpunkt oder in einem Überlappungsgebiet zwei Centern zugeordnet sein (Daskin, 2013a: 198-200).

In dieser Formulierung spielt die Nachfrage keine Rolle. Das ist vor allem sinnvoll, wenn versucht wird, die schlechteste Service Erfahrung in Anbetracht aller Kunden zu minimieren. Jedoch kann es für praktische Anwendungen durchaus von Interesse sein, auch in einem Center Problem die Distanzen mit der Nachfrage zu gewichten. Für so einen Fall ist die N.b. 18.5 durch folgende Zeile zu ersetzen (Daskin, 2013a: 200).

$$R \geq \sum_{i \in I} w_j d_{ij} X_{ij}, \quad \forall j \in J \quad (18.5.2)$$

Diese Problemformulierung des  $p$ -Center Problems ist nicht mehr linear, jedoch gibt es eine begrenzte Anzahl von Lösungskombinationen in Höhe von  $n^p$  möglichen Centern. Dadurch ist die Berechnung in Polynomialzeit zu erzielen. Wegen der nicht linear wachsenden Rechenzeit sind ab einer Problemgröße mit hoher Knotenzahl  $n$  und  $p > 3$  zur Lösung des Problems

Techniken wie Branch and Bound oder heuristischen Verfahren von Nöten (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 105). Eine Auflistung von verschiedenen Lösungsmethoden zu dem p-Center Problem mit Verweisen bieten Biazaran & SeyediNezhad (2009: 214-215).

### 3.3.4 Covering Probleme

Grundlegend für Covering Probleme ist die Ausgangslage, dass ein Service als adäquat angesehen wird, wenn eine Servicestelle in einer bestimmten Entfernung zu dem Kunden verfügbar ist und als nicht adäquat, wenn dies nicht der Fall ist (Daskin, 2013a: 124). Die Lage von Banken, Tankstellen, Cafés, Kinos und Schnellrestaurants ist gerade deshalb von Bedeutung, da es sich hierbei um Orte handelt, die hauptsächlich nur dann besucht werden, wenn sie innerhalb einer maximalen Entfernung zum Kunden liegen (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 103-104).

Die zwei Grundmodelle der Covering Probleme sind Set Covering Probleme und Maximum Covering Probleme. Diese sind mit Center Problemen verwandt, gehen aber grundsätzlich von einem vorgegebenen Service-Niveau (einer gegebenen Maximalentfernung) aus, welches eingehalten werden soll (Mattfeld & Vahrenkamp, 103). Werden nur die drei Variablen

1. Anzahl der Standorte,
2. der Radius um diese Standorte und
3. die von diesem Radius gedeckten Nachfragepunkte

betrachtet und jegliche Kosten vernachlässigt, so wird deutlich, in welchem Verhältnis die drei Modelle zueinanderstehen: Bei Center-Problemen wird (1) eine Anzahl von gesuchten Standorten vorgegeben und (2) das Ziel ist es, den Radius so sehr zu verkleinern, dass (3) 100 % der Nachfrage(punkte) von diesem Radius abgedeckt werden. Bei dem Set Covering Problem ist es (1) das Ziel, die Anzahl von Standorten zu bestimmen, während (2) ein Radius vorgegeben wird, sodass (3) 100 % der Nachfrage(punkte) in dieses abgedeckte Gebiet fallen. Dem Maximum Covering Problem wird (1) eine genaue Anzahl von Standorten und (2) eine bestimmter Radius vorgegeben, mit dem Ziel diejenigen Standorte zu lokalisieren, welche unter diesen Prämissen (3) ein größtmöglichen Teil der Nachfrage abdecken (Daskin, 2013a: 193-194; Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 147, 153). Deshalb können Covering Probleme auch als Maximum Distance Modelle bezeichnet werden, da diese z. B. den maximalen Schulweg bei der Planung von Schulstandorten oder ein maximales 20-Minuten Liefergebiet für Pizzalieferanten bestimmen lassen (Current et al., 2004: 84).

Das Set Covering Problem hat das Ziel eine Menge (Englisch: *set*) von Standorten zu bestimmen, sodass alle Nachfrageknoten mit minimalen Kosten abgedeckt werden können. Da die Kosten der Einrichtungen bekannt sind und bereits eine Vorauswahl von

Standortalternativen gegeben ist, findet dieses Modell in der diskreten räumlichen Betrachtung statt. Die mathematische Formulierung ist somit

$$\min \sum_{i \in I} F_i Y_i \quad (19.1)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\sum_{i \in I} a_{ij} Y_i \geq 1, \quad \forall j \in J \quad (19.2)$$

$$Y_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I. \quad (19.3)$$

Neu ist die Variable  $a_{ij}$ . Diese gibt binär an, ob ein Nachfragepunkt von einem Standort abgedeckt wird oder nicht. Eine Möglichkeit, einen maximalen Radius von beispielsweise 20 festzulegen, wäre die all-to-all Distanzmatrix dahingehend anzupassen, dass alle Einträge  $d_{ij} \leq 20$  mit 1 und alle übrigen mit 0 beziffert werden. Die Zielfunktion minimiert die gesamten Kosten für die ausgewählten Standorte. N.b. 19.2 stellt sicher, dass jeder Nachfragepunkt von mindestens einem Standort abgedeckt wird. Eine Variation von diesem Modell ist, dass keine Kosten berücksichtigt werden und lediglich eine minimale Menge von Standorten gesucht wird. Dadurch beschränkt sich die Zielfunktion auf

$$\min \sum_{i \in I} Y_i \quad (19.1.2)$$

(Daskin, 2013a: 125-126).

Das Maximum Covering Problem wurde auf planarer Ebene erstmals von Mehrez und Stulman (1982) und danach von Church (1984) untersucht (Canbolat & Massow, 2009: 201). Eine gute aber nicht optimale Lösung dafür findet sich unter anderem, wenn das planare Problem in ein diskretes Problem umformuliert wird (Daskin, 2013a: 144). Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Arbeit auch lediglich die Modellierung im Netzgraphen beschrieben.

Unter einer Vorauswahl von Standortalternativen lässt sich das Maximum Covering Problem mathematisch folgendermaßen formulieren:

$$\max \sum_{j \in J} w_j Z_j \quad (20.1)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$Z_j \leq \sum_{i \in I} a_{ij} Y_i, \quad \forall j \in J \quad (20.2)$$

$$\sum_{i \in I} Y_i \leq p \quad (20.3)$$

$$Y_i, Z_j \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J. \quad (20.4)$$

Die Zielfunktion maximiert die abgedeckte Nachfrage. Da bei diesem Problem nicht zwingend alle Nachfrageknoten abgedeckt werden, wird die Entscheidungsvariable  $Z_j$  hinzugezogen. Diese ist 1, wenn ein Nachfrageknoten von einem Standort abgedeckt wird und 0, wenn nicht. N.b. 20.2 beschreibt, dass ein Nachfrageknoten nicht abgedeckt ist, solange kein Standort eröffnet ist, der diesen Nachfrageknoten abdecken kann. In N.b. 20.3 beschreibt  $p$  die Anzahl der gesuchten Standorte. N.b. 20.4 definiert die Binarität der Entscheidungsvariablen (Daskin, 2013a: 143-144).

### 3.3.5 Hub Location Problem

Ein Hub-and-Spoke (Deutsch: *Nabe und Speiche*) Netzwerkdesign findet unter anderem häufig Anwendung im kommerziellen Luftverkehr, im Postwesen, beim Frachttransport oder in Telekommunikationsnetzwerken. Dabei wird der Transport über einen oder mehrere zentrale Knoten, die sogenannten Hubs, geleitet. Ein mit Hub-and-Spoke Strukturen versehenes Netzwerkdesign ermöglicht deshalb das Ausnutzen des Skaleneffekts auf den Strecken zwischen den Hubs. Zudem wird eine effiziente Kapazitätsverteilung der Fahrzeuge ermöglicht und die Fahrzeugflotte kann daraufhin optimiert werden. Im Einzelnen kann jedoch die Transportzeit oder der zurückgelegte Weg höher ausfallen als eine direkte Verbindung aller Knoten miteinander (Elhedhli & Hu, 2005: 1615).

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf das single-Hub Location Problem (HLP). Dabei wird eine Minisum-Zielsetzung verfolgt. Das Problem wird im Netzgraphen modelliert. Alle nicht-Hub Knoten werden zwingend mit einem Hub-Knoten verbunden und die Anzahl der gesuchten Hubs entspricht genau einem. Die mathematische Darstellung dieses HLP lautet dann folgendermaßen:

$$\min \sum_{i \in J} \sum_{j \in J} \sum_{k \in J} h_{ik} (c_{ij} + c_{jk}) X_{ij} X_{kj} \quad (21.1)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\sum_j X_{jj} = 1, \quad \forall j \in J \quad (21.2)$$

$$X_{ij} - X_{jj} \leq 0, \quad \forall i \in J, j \in J \quad (21.3)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in J, j \in J. \quad (21.4)$$

Die Zielfunktion minimiert die gesamten Transferkosten über den Hub.  $C_{ij} + c_{jk}$  beschreibt dabei die Kosten von einem nicht-Hub am Knoten  $i$  über einen Hub am Knoten  $j$  zu einem nicht-Hub am Knoten  $k$ . Die N.b. 21.2 stellt sicher, dass genau ein Hub lokalisiert wird. N.b. 21.3 beschreibt, dass ein Knoten  $i$  nur einem Hub  $j$  zugeteilt werden darf. N.b. 21.4 stellt die Binarität der Entscheidungsvariable sicher (Farahani et al., 2013: 1098).

Das p-HLP, also ein HLP bei dem mehrere Orte für die Lokalisierung von Hubs gesucht und Vorteile eines Hub-and-Spoke Netzwerkdesigns noch besser ausnutzt werden, wurde erstmals von O'Kelly (1987) untersucht. Eine Übersicht verschiedener Modellierungen von p-HLPs bieten Farahani et al. (2013). Im klassischen Sinne der Netzwerkoptimierung ist es das Ziel von HLPs, den Profit zu maximieren, die Kosten zu minimieren oder den Warenfluss zu verbessern (Farahani et al, 2013: 1098). Prinzipiell lassen sich jedoch die anderen vorher beschriebenen Ziele, beispielsweise Engpassvermeidung und Abdeckung, auch mit HLPs vereinen. Einen Überblick über verschiedene Anwendungen der HLPs und eine mögliche Notation zeigt Tabelle 5.

#### NOTATION OF DIFFERENT TYPE OF HLPs

Capacity of hub node	Assignment of non-hub node to hub node	Type of the HLP	Number of hub nodes
Capacitated (C)	Single allocation (SA)	Median (M)	Single (1)
Uncapacitated (U)	Multiple allocation (MA)	Center (T)	More than one (p)
		Covering (V)	
		Set Covering (SV)	
		Maximum Covering (MV)	

Tabelle 5: Notation of different type of HLPs (Farahani et al., 2013: 1101).

Ein kapazitätsbeschränktes HLP, bei dem ein nicht-Hub Knoten mehreren Hubs zugeteilt werden kann und welches die minimalen Transportkosten zum Ziel hat, wird gemäß Farahani

et al. (2013: 1101) mit „C-MA-M-p-HLP“ beschrieben. Es ist anzumerken, dass keine Forschung zu HLPs im kontinuierlichen Raum geführt wird (ebd.: 1102).

### **3.3.6 Erweiterungen der Modelle**

Die vorangegangenen Unterkapitel haben die gängigsten Modelle der Standorttheorie basierend auf ihren Grundgedanken beschrieben. In diesem Zuge ist der Unterschied zwischen absoluten und vertex Problem bereits beschrieben worden. Auch ist bei den HLPs die Möglichkeit der Modellierung von Kapazitäten angeschnitten worden. Im Folgenden soll näher auf die Erweiterungen zu Standortmodellen eingegangen werden. Es wird erklärt, welche Modellerweiterungen teilweise über die Nebenbedingungen möglich sind, damit diese spezielle Bedürfnissen besser abbilden oder existierende Gegebenheiten realistischer darstellen. Über die Nebenbedingungen hinaus, kann aber auch die Zielfunktion angepasst werden, damit sich Lagerstrukturen für mehrere Produkte oder zweistufige Lagersysteme modellieren und optimieren lassen (Thonemann 2010: 119-122).

#### *Capacitated vs. Uncapacitated*

Die vorher beschriebenen Standortmodelle gingen von unbegrenzten Kapazitäten aus. Es ist jedoch möglich, die Begrenzung der Kundenanzahl je Lager oder die Beschränkung der Lagerkapazität in die Modellierung einfließen zu lassen (Thonemann 2010: 119). Auch kann das Modell so gestaltet werden, dass die optimale Größe der Einrichtungen das Ziel dieser Modellierung ist (Daskin, 2013a: 18).

#### *Conditional vs. Unconditional*

Auch sind die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Modelle von einer optimalen Lösung ausgegangen. Ohne dass bereits existierende Einrichtungen berücksichtigt wurden. Sind bereits Standorte vorhanden und sollen diese in die Modellierung einfließen, so handelt es sich um ein Conditional Problem (Drezner, 1989: 51).

#### *Static vs. Dynamic*

Ähnlich wie bereits bei den Investitionskostenmodellen zeichnen sich dynamische gegenüber statischen Modellen dadurch aus, dass explizit eine Zeitdimension miteinbezogen wird. Durch die Modellierung mehrerer Zeitperioden können die Variablen verschiedene Ausprägungen annehmen, beispielsweise können Lagerhäuser nur in gewissen Perioden geöffnet sein oder die Auftragsentwicklung der kommenden Jahre kann berücksichtigt werden. Dadurch kann der günstigste Zeitpunkt für eine Standortverlagerung ermittelt (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 102; Arabani & Farahani, 2012: 412).



### *Deterministic vs. Stochastic*

Desweiteren lassen sich stochastische Elemente in die Modellierung einbeziehen. Dadurch lässt sich eine Risikobewertung durchführen und es können verschiedene Szenarien durchgespielt werden (Arabani & Farahani, 2012: 414). Auch kann im Modell beachtet werden, dass Service-Einrichtungen nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit verfügbar sind, oder dass sich dort Warteschlangen aufbauen (Mattfeld & Vahrenkamp, 2014: 102).

### *Single vs. Multiple Objective Problems*

Während die vorangegangenen Probleme eine eindeutige Zielsetzung (*single objective*) hatten, können auch Standortprobleme modelliert werden, die mehrere Ziele gleichzeitig verfolgt werden (Daskin, 2012: 17). Eine weitere Anwendungsmöglichkeit von multiple objective Problemen ist, wenn verschiedene Entscheidungsträger die Modellparameter (z. B. die Nachfrage an verschiedenen Punkten) unterschiedlich bewerten. In dem Fall kann ein Modell erstellt werden, welches gleichzeitig mehreren Überlegungen verschiedener Entscheidungsträgern gerecht wird und einen Pareto Standort findet (Hamacher et al., 1996: 79)

### *Desirable vs. Undesirable Facilities*

Die Zielfunktion wird ebenso von der Frage beeinflusst, ob es sich um erwünschte (Englisch: *desirable*) oder unerwünschte (Englisch: *undesirable*) Einrichtungen handelt. Beispielsweise ist es wahrscheinlich gewollt, Atomraketenilos weit weg von der Bevölkerung zu lokalisieren. Dies ist jedoch abzugrenzen von z. B. einer Müllhalde, welche zwar ebenfalls außerhalb von Wohngebieten liegen sollte, allerdings nicht so weit, dass die Transportkosten für den Abfall zu stark steigen. Auch dies ist ein Beispiel für multiple objective Probleme (Daskin, 2012: 19-20). Einrichtungen wie Krankenhäuser und Feuerwehrationen sind dagegen nicht so leicht als erwünschte oder unerwünschte Einrichtung einzuordnen. Einerseits werden die Sirenen in Wohngebieten als störend empfunden, andererseits soll schnelle Hilfe gewährleistet sein und die Einrichtungen sollen für Belegschaft und Besucher gut erreichbar sein (Eiselt & Sandblom, 2012: 245; Daskin, 2012: 19).

Neben den genannten Erweiterungen können noch verschiedene, andere Unterschiede in der Modellierung betrachtet werden: ob es sich um einen privaten oder um einen öffentlichen Sektor handelt, ob die Nachfrage elastisch oder unelastisch ist, ob eine hierarchische Struktur bestehen soll, usw. (Daskin, 2012: 16-20). Je besser die Modellierung des individuellen Problems ist, umso besser sind die Ergebnisse (Suhl & Mellouli, 2013: 78). Die mögliche Komplexität dieser Prozesse spricht dafür, dass Unternehmen die Modellierung einer Standortoptimierung individuell auf ihre Gegebenheiten angepasst und zugeschnitten auf ihre Bedürfnisse betrachten sollten.

## 4 Software zur Lösung von Modellen in der Standortplanung

Eine Logistik-Software dient bei der Wertschöpfung in erster Linie als Unterstützung der Planung und Steuerung und kann somit einem Entscheidungsträger bei der Wahl einer Standortentscheidung durchaus behilflich sein. Häufig sind die Ergebnisse einer Logistik-Software auch mit ausreichend geschultem Personal und genügend verfügbarer Zeit manuell zu erzielen. Sind diese Voraussetzungen jedoch nicht gegeben, ist die Anwendung einer Software sinnvoll. Gründe hierfür sind die steigende Komplexität der Produkte und des Produktmixes, größere Datenmengen und häufigeres Auftreten der Prozesse, oder größere Anforderungen an die Schnelligkeit der Prozessadministratoren (Schönsleben, 2007: 464).

Die Digitalisierung verschiedener gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Bereiche ist ein unaufhaltsamer Trend (ten Hompel et al., 2014: 14). So wird auch die Logistik durch moderne Informationstechnologien vor neue Herausforderungen gestellt, die gleichzeitig nie dagewesene Chancen ermöglichen. Durch die digitale Informationsverarbeitung können Prozesse effizienter optimiert und Fehler reduziert werden. Zudem erhöht sich die Qualität von Planung und Organisation (Helstermann et al., 2017: 6-21).

Grundsätzlich erfüllt eine Planungssoftware konsultierende Zwecke zur Entscheidungsfindung. Zudem ist es nicht zu vergessen, dass die Modelllösung stets auf einem abstrakten Abbild der Realität fußt. Umso besser die Modellierung der Realität ist, desto besser werden also die Entscheidungsvorschläge (Suhl & Mellouli, 2013: 78). Der Vorgang der Generierung eines Entscheidungsvorschlags auf Basis eines Modells wird in Abbildung 15 beschrieben.

### VORGANG DER MODELLLÖSUNG IN DER PRAXIS

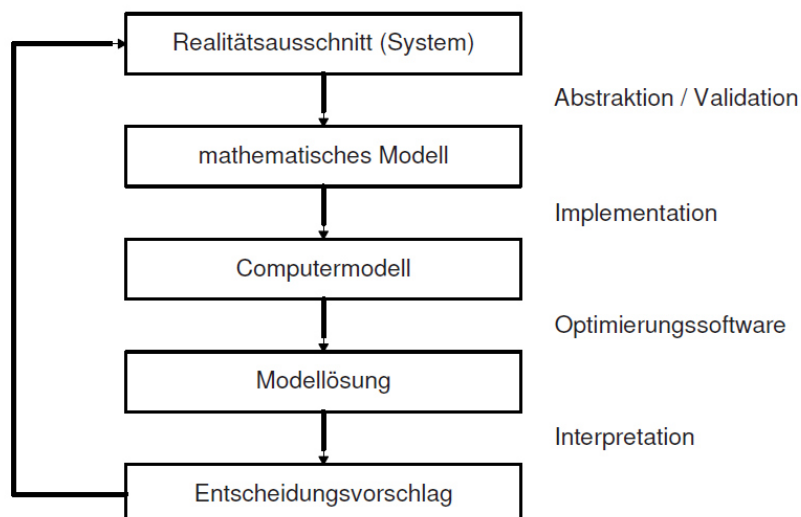


Abbildung 15: Vorgang der Modelllösung in der Praxis (Suhl & Mellouli, 2013: 78).

Eine Standardsoftware bildet zum Teil nur unpassend die unternehmenseigenen Abläufe ab, weshalb es oft schwierig, teuer oder zeitlich aufwendig ist, diese auf eigene Kernprozesse anzupassen. Funktionaler ist daher eine Software, die eine Programmiersprache nutzt, sodass Modifizierungen nach gewünschtem Ausmaß selbst durchgeführt werden können. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Individualsoftware aufwendiger und kostspieliger ist, dem Unternehmen jedoch einen größeren Wettbewerbsvorteil bietet als eine vergleichbare Standardsoftware (Schönsleben, 2007: 454-455). Zudem ist eine Software für das SCM, die alle Prozesse der Lieferkette abdeckt, von der Absatzplanung, über die Fertigungssteuerung bis hin zur Auslieferung, zwar die teurere Lösung, bietet jedoch besonders für international orientierte Konzerne mehr Vorteile (Albert 2009: 155).

#### **4.1 Software zur Lösung von linearen und ganzzahligen Optimierungsproblemen**

Kontinuierliche Standortmodelle fallen in den Bereich der linearen- (LP) und nichtlinearen Programmierung (NLP), während Netzgraph-Modelle normalerweise als gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem (MILP) formuliert werden (Eiselt & Sandblom, 2012: 222).

Die exakte Lösung der in Kapitel 3.3 dargestellten Probleme ist durchaus händisch bzw. tabellarisch zu erreichen. Dies demonstriert Ulrich Thonemann (2010) ausführlich am Beispiel des generalisierten Weber-Problems mit rechtwinkligen (ebd.: 102-103) und euklidischen Distanzen (ebd.: 104-105) (Problemgröße  $n = 6$ ) sowie am Beispiel des Multi-Weber Problems (Problemgröße  $n = 7$ ) (ebd.: 106-112). Eiselt und Sandblom zeigen die händische Durchführung (2012) am Beispiel des Set Covering Problems (ebd.: 225-229), des Maximum Covering Problems (ebd.: 230-233) sowie des 1-Center-Problems (ebd.: 234-235), jeweils bei einer Problemgröße von  $n = 9$ . Theoretisch kann jedoch jeder Privathaushalt einen Nachfragepunkt darstellen. Dies führt dazu, dass in städtischen Regionen Modelle entstehen, die Millionen von Nachfragepunkten berücksichtigen müssen<sup>4</sup> (Francis et al., 2004: 207).

Insbesondere Modelle, die lediglich einen Standort suchen (z. B. das vertex 1-Center Problem), sind mit linearem Rechenaufwand im Verhältnis zu  $n$  vergleichsweise einfach zu lösen. Sobald jedoch mehrere Standorte gesucht werden und unterschiedliche Lösungskombinationen direkt miteinander verglichen werden (z. B. bei einem p-HLP), sind händische Lösungsverfahren praktisch kaum mehr möglich. Bei einer steigenden Komplexität ist es daher üblich,

---

<sup>4</sup> Selbst wenn die Daten in einem so hohen Ausmaß, in einer brauchbaren Genauigkeit und innerhalb eines vertretbaren Kostenrahmens verfügbar wären, kann es aus mathematischen Gründen dennoch von Vorteil sein, nicht alle Punkte einzeln in das Rechenmodell einfließen zu lassen. Es ist in der Standortplanung üblich, dass Nachfragepunkte teilweise aggregiert werden und anschließend mit einem vereinfachten Modell gerechnet wird. Eine Aggregation ersetzt das originale Modell durch ein vereinfachtes, angenähertes Modell mit Aggregationsfehler. In der Regel wird dieses Verfahren ungenauer, je kleiner die Gesamtzahl der Nachfragepunkte vor dem Zusammenschluss ist (Naimi Sadigh & Fallah, 2009: 523-524; Francis et al., 2004: 207-210).

Optimierungssoftware anzuwenden um die vorher genannten mathematischen Modelle zu lösen (Suhl & Mellouli, 2013: 78). Nachstehende Tabelle führt gängige Software zur Lösung von LPs und MILPs auf.

#### SOFTWARE FÜR LP UND MILP

Name	Berechnung LP möglich	Berechnung MILP möglich	kostenfreie Lizenz
CPLEX	Ja	Ja	Nein
GUROBI	Ja	Ja	Nein
MATLAB	Ja	Ja	Nein
MOSEK	Ja	Ja	Nein
XPRESS	Ja	Ja	Nein
SOPLEX	Ja	Ja	Ja, für Forschungszwecke
COIN-OR	Ja, mit CLP	Ja, mit CBC	Ja
GLPK	Ja	Ja	Ja
Google GLOP	Ja	Ja	Ja
LP_SOLVE	Ja	Ja	Ja
MIPCL	Ja, mit CMIP	Ja, mit CLP	Ja

Tabelle 6: Software für LP und MILP (eigene Darstellung, zusammengefasst aus Mittlmann, 2017: 11, 17-18).

Der Marktführer unter den LP- und MILP-Solvern ist CPLEX von IBM ILOG (Suhl & Mellouli, 2013: 78). Im Benchmark schneiden die kostenpflichtigen Softwarelösungen in der Regel deutlich besser als die kostenfreien ab. MATLAB ist dabei jedoch eine Ausnahme. Bei der Lösung von LP-Problemen ist MATLAB sogar langsamer als die kostenfreien COIN-OR CLP, GLOP und SOPLEX. Die kostenlose Anwendung CLP von COIN-OR sticht außerdem heraus, da sich dieser LP Solver im Benchmark als einer der schnellsten, nach GUROBI und XPRESS, beweist. Bei Benchmarks für den MILP-Bereich sind GUROBI, CPLEX und XPRESS deutlich führend vor den anderen (Mittlmann, 2017: 11, 17-18, 22).

## 4.2 Softwarelösungen für die Standortplanung

Bei der Entwicklung von Software für die Standortplanung sind Experten aus den Bereichen Mathematik, Informatik, Operations Research, Stadt- und Regionalplanung und Marktforschung ebenso beteiligt wie Fachkräfte, die sich mit Standortplanungsproblemen im Sinne der Standorttheorie auskennt. Dies ermöglicht es, viele verschiedene Aspekte und Sichtweisen in die Entscheidungsmodelle einfließen zu lassen (Bender et al., 2002: 233).

Neben Software für lineare oder gemischt-ganzzahlige Optimierungsprobleme gibt es auch Software, die speziell für die Standortplanung konzipiert sind. Diese zeichnen sich in der Regel dadurch aus, dass die Problemstellungen auf praktische Anwendungen umgeschrieben sind und die zur Berechnung benötigten Parameter in der gleichen Oberfläche nach den jeweiligen Bedürfnissen eingearbeitet und angepasst werden können. Eine Standortplanungssoftware im Sinne dieser Arbeit ist eine Software, die einen oder beide der folgenden Punkte ermöglicht:

- zielorientierte, optimale Lokalisierung eines oder mehrerer Standorte (vgl. Kapitel 3.3),
- qualitative Beurteilung von Standortalternativen (vgl. Kapitel 3.2).

Bei den so identifizierten Softwarelösungen wird zudem geprüft, welche mathematischen Modelle der Berechnung zugrunde liegen. Außerdem werden weitere Eigenschaften und Funktionen untersucht:

- Ist der Erwerb einer Softwarelizenz mit Kosten verbunden?
- Wird die Software mit Kartenmaterial geliefert?
- Können bei der Modellierung Kapazitätsbeschränkungen der einzelnen Standorte beachtet werden (capacitated vs. uncapacitated Problem)?
- Ist die Software für eine mehrstufige Netzwerk Betrachtung ausgelegt?
- Lassen sich bereits vorhandene Standorte in die Modellierung einarbeiten? (conditional vs. unconditional Problem)
- Können neben der Standortplanung auch weitere logistische Prozesse, wie z. B. die Tourenplanung, mit dieser Software gelöst werden?
- Werden Nachhaltigkeitsaspekte (beispielsweise die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Transportwegen) berücksichtigt?

Bereits in der Literatur zu Methoden der Standorttheorie verweisen einige Autoren auf Standortplanungssoftware. So nennt zum Beispiel Thonemann (2010: 124) den IBM Warehouse Site Planner (WSP) und Bender et al. (2002) LoLoLA und SAP Advanced Planning and Optimizer (SAP APO). Nachfolgende Informationen stammen jedoch aus der Recherche und den jeweiligen Produktbeschreibungen, welche auf den entsprechenden Webseiten oder in den Handbüchern verfügbar sind. Es wird hauptsächlich unterschieden zwischen kostenpflichtiger und kostenloser Software unterschieden. Es werden Apps und Onlinelösungen für Standortprobleme vorgestellt.

#### *IBM Warehouse Site Planner (WSP)*

Der Warehouse Site Planner (WSP) ist eine Software von IBM, in der sich ein bis zu dreistufiges Distributionsnetzwerk zur Optimierung modellieren lässt. Bei der Berechnung werden unterschiedliche Transportmittel, eintreffende Lieferungen zur Produktion, ausgehende Sendungen zum Kunden, standortabhängige Lagerkosten und Kapazitätsrestriktionen

berücksichtigt. Des Weiteren kann ausgehend von „grünen Faktoren“ ein CO<sub>2</sub>-emissionenarmes Netzwerk angestrebt werden. Zudem basieren die Geoinformationen auf realistischen, digitalen Straßenkarten und die Modelllösungen werden auch auf solchen ausgegeben. Die Software wird im Rahmen einer Beratung zur Netzwerkoptimierung angeboten (Thonemann, 2010: 124; IBM, 2008: 1-2).

#### *SAP Advanced Planner Optimizer (APO)*

SAP Advanced Planner and Optimizer (SAP APO) ist eine Softwareerweiterung der SAP AG mit Schnittstellen zum Enterprise Resource Planning (ERP) Modul SAP R/3 und zu nicht-SAP Systemen. Im Rahmen der Analyse und Optimierung des Netzwerksdesigns wird auch die Standortplanung unterstützt (Bender et al., 2002: 256). Es können kontinuierliche und diskrete Probleme gelöst werden, mehrere Standorte betrachtet werden und Rücksicht auf Kapazitäten genommen werden. Das Ziel ist es die Netzwerkperformance zu verbessern, indem die Qualität und Auslastung von Servicestandorten verbessert oder die Kosten für Lager- und Produktionsstandorte gesenkt werden (ebd.:258-259). Die Berechnungen der Standortprobleme werden mithilfe der Optimierungssoftware CPLEX durchgeführt und die Ergebnisse können grafisch dargestellt werden (ebd.: 260-261).

#### *LOCOM Xcargo, Logistics Designer und Center of Gravity*

Die LOCOM Software GmbH bietet drei verschiedene Softwarelösungen zur Standortplanung. Xcargo ist eine Software zur Berechnung der kostengünstigsten Anzahl und Lage von Standorten unter Berücksichtigung von Kapazitätsrestriktionen. Möglich ist die Zuteilung von Kunden zu Standorten, die Vorgabe bestehender Standorte und der direkte Vergleich verschiedener Szenarien. Zudem lässt sich das Einzugsgebiet darstellen. Zur Darstellung der Ergebnisse ist Kartenmaterial in der Software enthalten (LOCOM Software GmbH, 2014; LOCOM Software GmbH, 2015). Die gleichen Funktionen zur Standortplanung, die zusätzliche Möglichkeit der mehrstufigen Betrachtung sowie weitere Funktionen für logistische Planungs- und Optimierungsprozesse bietet die Software Logistics Designer. (LOCOM Software GmbH, 2009). Außerdem bietet LOCOM eine kostenfreie Anwendung mit Schnittstelle zu Microsoft Excel für die Berechnung des CoG (o.A., 2015).

#### *ArcGIS Network Analyst*

Network Analyst ist eine Erweiterung der Software ArcGIS vom Hersteller esri. Der Erwerb einer Lizenz ist mit Kosten verbunden. Nach eigenen Angaben bietet die Software sieben Lösungen für Analysen im Bereich „Location Allocation“:

1. Impedanz minimieren,
2. Flächendeckung maximieren,
3. Zulässige Abdeckung maximieren,
4. Einrichtungen minimieren,

5. Erreichbarkeit maximieren,
6. Marktanteil maximieren,
7. Ziel-Marktanteil.

Ersteres beschreibt ein p-Median Problem. Die restlichen sechs sind Set Covering und Maximum Covering Probleme mit verschiedenen Erweiterungen. So lässt sich in der Software die Gewichtung der Nachfragepunkte anpassen, Kapazitäten der Einrichtungen hinzufügen oder Wettbewerb darstellen (esri, 2017a). Zudem können Entfernungen gradlinig oder im Netzwerk dargestellt werden. Auch sind Sonderformen möglich, wie die Berechnung in Geh- oder Fahrminuten oder die Reduzierung der Gewichtung bei steigenden Distanzen. Die Netzwerkdatengrundlage basiert auf Kartenmaterial und lässt sich individuell anpassen. Des Weiteren kann eine Analyse der kürzesten Wege (SPP) und eine Start-Ziel-Analyse (all-to-all Distanzmatrix) durchgeführt werden, sowie die Zuweisung (*Allocation*) der Kunden dargestellt werden. Neben den Funktionen der Standortplanung kann diese Software zudem Problemstellungen im Bereich der Transport- und Tourenplanung lösen (esri, 2017b).

#### *WIGeoGIS WIGeoStandort*

Die Software WIGeoStandort ist eine Software von WIGeoGIS. Die Standortplanung mit dieser Software bezieht sich größtenteils auf Absatzfaktoren. Es wird eine Datenbank mit verschiedenen Marktdaten angeboten, wie Immobilienangebote, Angaben zur Bevölkerung (Haushalte, Einwohner, Altersstruktur, Herkunft und Kaufkraft) oder zu Mitbewerbern. Dadurch wird die Qualität von Standorten unter anderem anhand von Umsatzprognosen, Gravitationsmodellen oder Ertragspotenzialen gemessen. Die Software bietet auch die Möglichkeit der Erstellung von Scoring-Modellen. Außerdem lassen sich das Einzugsgebiet, die optimale Verteilung von Einrichtungen im Marktgebiet sowie die optimale Anzahl von Standorten, um den Zielmarkt zu versorgen, bestimmen. Distanzen können als Fahrtzeit, Längeneinheit oder individuell gewählt werden (WIGeoGIS, 2017).

#### *Lutum+Tappert EasyMap*

EasyMap von Lutum+Tappert ist eine Software für das Geomarketing, die als kostenlose Demoversion in vollem Umfang erhältlich ist. Sie ist ausgestattet mit verschiedenen Karten (amtliche Karten, Postleitgebiete, branchenspezifische Karten, etc.) und bietet diverse Regionalstatistiken (Bevölkerungsprognosen, Wahlreports, Preisgefälle, etc.). Es ist möglich den optimalen Standort in einem Gebiet zu bestimmen, gleichzeitig kann die Arbeitslast berücksichtigt werden. Zudem kann die Zugehörigkeit von Kunden zu Standorten optimiert werden und es lassen sich Einzugsgebiete darstellen. Außerdem können die Standortalternativen qualitativ bewerten (Lutum+Tappert, 2017).

### *Library of Location and Layout Algorithms (LoLoLA)*

LoLoLA ist ein kostenloses Softwarepaket von Wissenschaftlern der Universität Kaiserslautern mit Algorithmen zur Lösung verschiedener Standort- und Layout-Probleme. Es können unterschiedliche Median-, Center- und Hub-Location-Probleme im kontinuierlichen, semidiskreten und diskreten Raum gelöst werden. Zudem lassen sich weitere Restriktionen einbauen oder Multicriteria Probleme behandeln. Die Lösungen lassen sich grafisch darstellen, jedoch nicht auf Kartenmaterial. Weitere Funktionen sind Layout Probleme, Camera Location Probleme, Sink Location Probleme und eine dynamische Manipulation der Daten, sodass der Einfluss bestimmter Punkte beobachtet werden kann (Hamacher et al., 2016).

### *SITATION*

SITATION ist eine kostenlose Software von Mark S. Daskin, Wissenschaftler an der Universität Michigan im Bereich Supply Chain Network Design mit Schwerpunkt auf Standortplanungsmodellen. Diese Software ist im Zusammenhang mit seinem Buch „Network and Discrete Location“ entstanden und behandelt acht Klassen von Standortproblemen (P-Median, P-Center, Set Covering, Maximum Covering und Uncapacitated Fixed Charge Probleme, sowie Partial Set Covering, Partial P-Center und Location-Inventory). In der Software ist Kartenmaterial integriert um die Ergebnisse darzustellen. Außerdem lassen sich zur Analyse Tradeoff-Kurven erstellen (Daskin, 2013b).

### *FLP Spreadsheet Solver*

Der FLP (Facility Location Problem) Spreadsheet Solver ist eine frei verfügbare Arbeitsmappe für Microsoft Excel zur Lösung von Standortproblemen. Entwickelt wurde diese im Jahr 2014 von Dr. Güneş Erdoğan, dem derzeitigen Leiter des Masterstudiengangs Business Analytics der Universität Bath. Der Benutzer wird durch eine angepasste Menüstruktur geleitet und muss lediglich gewünschte Parameter ändern oder einfügen. Es können das p-Median-, das Maximum Covering- und das vertex p-Center-Problem sowie das WLP gelöst werden. Außerdem ist die Arbeitsmappe mit dem öffentlichen GIS von Bing Maps verknüpft, sodass Orte anstelle von Koordinaten auch als Suchbegriffe formuliert werden können und die Distanzen durch Routenberechnung bestimmt werden können. So ist eine anschließende Darstellung der Ergebnisse in Bing Maps ebenfalls möglich (Erdoğan, 2016).

### *Software FLO*

Aus dem Project Facility Location Optimizer (FLO) der Forschungsgruppe des Instituts für Mathematik an der Universität Halle-Wittenberg ist eine für Forschungszwecke kostenlose Software FLO entstanden. Mit der aktuellen Version 1.2.2 können das p-Median- und das p-Center-Problem sowie ein Multicriteria Problem gelöst werden. Im Programm kann das Hintergrundbild angepasst werden, sodass sich eine Karte einbauen ließe (Günther et al., 2016).



### *Facility Location Utility*

Das Facility Location Utility ist eine einfache, webbasierte Lösung des Weber-Problems mit euklidischen Distanzen. Benötigt werden lediglich die Koordinaten der Nachfragepunkte, sowie deren Nachfrage, falls gewünscht. Die Ausgabe erfolgt grafisch, jedoch ohne Kartenmaterial (Sporkman, 2008).

Die durchgeführte Recherche ergab 13 Softwarelösungen, welche als Entscheidungshilfen für die Standortplanung genutzt werden können. Die unterschiedlichen Intentionen bei ihrer Entwicklung, sei es als Forschungsantrieb oder als kommerzielles Produkt, führen zu einem breiten Leistungsspektrum. Die Eigenschaften der aufgeführten Softwarelösungen sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst, sodass sich deren mathematische Berechnungsgrundlage und weitere Eigenschaften übersichtlich erkennen und vergleichen lassen.

## SOFTWARELÖSUNGEN FÜR DIE STANDORTPLANUNG

		Softwareeigenschaften													
		kostenfreie Lizenz	vorhandenes Kartenmaterial	Beschränkung der Kapazitäten	Einbezug vorhandener Standorte	mehrstufige Netzwerkbehandlung	andere logistische Problemlösungen	Nachhaltigkeitskriterien	qualitative Analyse	CoG Methode	p-Median Problem	p-Center Problem	Set Covering Problem	Maximum Covering Problem	Hub-Location-Problem
Softwarelösung	IBM WSP	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
	SAP APO	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-
	LOCOM Logistics Designer	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-
	LOCOM Xcargo	-	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	-
	ArcGIS Network Analyst	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	-
	WIGeoStandort	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-
	EasyMap	• <sup>5</sup>	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-
	LoLoLA	+	• <sup>6</sup>	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
	SITATION	+	• <sup>6</sup>	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-
	FLP Spreadsheet Solver	+	• <sup>6</sup>	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-
	Software FLO	+	• <sup>6</sup>	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
	Facility Location Utility	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
	LOCOM CoG	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-

**Legende:** + Funktion vorhanden, - Funktion nicht enthalten, • keine eindeutige Zuordnung möglich.

Tabelle 7: Softwarelösungen für die Standortplanung (eigene Darstellung).

<sup>5</sup> Aktuelle Version muss entgeltlich erworben werden, ältere Versionen sind jedoch kostenfrei verfügbar.

<sup>6</sup> Kartenmaterial ist nicht im Anwendungsumfang enthalten, eigenes Kartenmaterial kann aber eingespeist werden oder über Schnittstelle zu öffentlichen Kartenbetreibern eingebunden werden.

Die Zusammenfassung zeigt, dass kommerzielle Softwarelösungen in der Regel im Vergleich zu den kostenlos verfügbaren mehr Funktionen beinhalten. So ist in allen entgeltlich erwerblichen Anwendungen bereits Kartenmaterial enthalten und es können Kapazitäten der einzelnen Standorte berücksichtigt werden sowie bereits vorhandene Standorte in das Modell einbezogen werden. Zudem werden Funktionen, wie das Berücksichtigen von Nachhaltigkeitskriterien oder das Modellieren mehrstufiger Netzwerke, ebenfalls nur von einigen kostenpflichtigen Softwarelösungen angeboten. Durch die meist komplexere Gestaltung der kommerziellen Software lassen sich häufig gleichzeitig andere Problemstellungen der Logistik lösen, sodass neben der Standortplanung auch die Planung und Optimierung von Touren, Bestand oder Budget durchgeführt werden kann.

Von den kostenpflichtigen Softwarelösungen erfüllen IBM WSP, SAP APO und LOCOM Logistics Designer die meisten der untersuchten Funktionen und eignen sich vom Funktionsumfang her am ehesten für eine realitätsnahe Standortuntersuchung. Hinzu kommt, dass die Qualität der Standortplanung beim IBM WSP durch die verknüpfte Expertenberatung möglicherweise erhöht ist. WIGeoStandort hingegen eignet sich nicht für die Optimierung von Transportkosten, da hier ausschließlich die Absatzseite berücksichtigt wird und die gängigen Transportkostenmodelle außer Acht bleiben.

Mit LoLoLA und SITUATION, welche durch erfahrene Wissenschaftler der Standorttheorie entwickelt wurden, können die meisten Standardprobleme der Standortforschung gelöst werden. Ihre Anwendung jedoch setzt das Wissen um die theoretischen Grundlagen voraus. Dieses wird aber im Softwarehandbuch oder einem Begleitbuch von den Entwicklern erläutert. Ist der Anwender mit der Oberfläche von Microsoft Excel den Grundlagen der Standorttheorie vertraut, können Probleme mit dem FLP Spreadsheet Solver unkompliziert gelöst werden. Die simpelste Möglichkeit zur Berechnung eines planaren 1-Median-Problems bietet das webbasierte Facility Location Utility, zur Berechnung eines CoG die kostenfreie Anwendung von LOCOM.

Da unkommerzielle Softwarelösungen häufig eher Wert auf Funktionalität als auf Benutzerfreundlichkeit legen, eignen sich diese eher für Forschungszwecke als für einen Entscheidungsträger in einem Unternehmen. Bei diesen Programmen fehlt das intuitive Verständnis über die Ziele sowie eine adäquate Möglichkeit der Aufarbeitung von Ergebnissen für eine anschließende Präsentation vor Kollegen und Vorgesetzten.

Die Lösung vergleichsweise vieler Standardprobleme in Verbindung mit einer für kommerzielle Software üblichen, benutzerfreundlichen Programmoberfläche ist mit der kostenlosen Demoversion von EasyMap möglich.

## 5 Befragung von Entscheidungsträgern in der Standortplanung

Die Beantwortung der Frage, ob Software und analytische Modelle zur Standortplanung Anwendung in der Praxis finden, kann durch eine Literaturrecherche nicht ausreichend erfolgen. Daher soll sich einer anderen empirischen Forschungsmethode bedient werden. Um eine geeignetere Methode zu bestimmen, soll die Forschungsfrage zunächst präzisiert werden. Im Folgenden werden dazu gemäß Sabine Lang (2014: 4) Hypothesen aufgestellt, die es zu überprüfen gilt.

### *Hypothese 1:*

Da das Lokalisieren von Lagern und Frachtingschlagsplätzen gängige Anwendungsbereiche für analytische Standortplanungsmodelle sind, wird in der Lagerei- und Frachtingschlagsbranche die Standortplanung durch analytische Standortplanungsmodelle durchgeführt.

### *Hypothese 2:*

Aufgrund der voranschreitenden Digitalisierung der Logistik und der wachsenden Bedeutung von IT in der Logistik, wird die Standortplanung in der Lagerei- und Frachtingschlagsbranche mit Hilfe von entsprechende Software durchgeführt.

### *Hypothese 3:*

Auf die Standortwahl haben viele Standortfaktoren Einfluss, sodass sich diese nicht auf die Transportkosten bzw. auf analytische Standortplanungsmodelle reduzieren lassen (gemäß der empirisch-realistischen Standorttheorie).

### *Hypothese 4:*

Die Transport- und Arbeitskosten sowie Agglomerationseffekte sind dabei die wichtigsten Standortfaktoren (gemäß Weber).

### *Hypothese 5:*

Aufgrund der hohen Kosten für die Beschaffung und Bedienung einer Software findet diese bei größeren Unternehmen häufiger Anwendung.

### *Hypothese 6:*

Kleine Unternehmen sparen Ressourcen, indem sie sich bei der Standortplanung von externen Unternehmen beraten lassen, da Standortplanungssoftware bei einer geringen Anzahl von Standorten oder einer seltenen Benutzung zu hohe Kosten verursacht.

Durch die erste Hypothese lässt sich bereits eine Zielgruppe für diese Untersuchung identifizieren: die Lagerei- und Frachtingschlagsbranche. Hier soll der Fokus auf Personen liegen, die bei der strategischen Standortplanung (Mit-)Träger einer Standortentscheidung sind. Dabei ist also zu unterscheiden zwischen dem Unternehmen und einer individuellen Person im

Entscheidungsbereich, da unter anderem auch das Hintergrundwissen des einzelnen eine Rolle spielt.

Mit klaren Hypothesen und einer definierten Zielgruppe stehen verschiedene empirische Forschungsmethoden zur Verfügung, um eine Antworten auf die ursprünglichen Fragen zu gewinnen (Lang, 2014: 5-11). In dieser Arbeit wurde sich für eine Befragung auf Basis einer standardisierten, quantitativen Onlineumfrage entschieden.

Diese Entscheidung wird mit verschiedenen Vorteilen, die diese Methode mit sich bringt, begründet. Eine Befragung eignet sich zur Exploration eines bislang wenig bekannten Forschungsgegenstandes. In der Literatur finden sich die einzelnen Elemente (Standortplanungsmodelle, Brancheninformation, Softwarelösungen) in ausreichender Form, jedoch hat eine Verknüpfung in dieser Form noch nicht stattgefunden. Auch wurde im Rahmen der Recherche kein Projekt gefunden, zu dem es Anknüpfungspunkte gegeben hätte. Des Weiteren kann dadurch eine statistische Validierung von Annahmen getroffen werden und auch ohne eindeutige Ergebnisse trägt diese Methode zur Ergänzung des Forschungsstandes bei, da hierbei grundlegende Hypothesen und Theorien überprüft werden. Weitere Vorteile bei einer quantitativen Befragung sind, dass sich sowohl objektive Gegebenheiten gut erfassen lassen, aber trotzdem Meinungen abgefragt werden können. Außerdem sind Gesprächspartner leichter zu finden und zur Teilnahme zu motivieren, als bei einem qualitativen Interview, da eine Onlineumfrage in der Regel kürzer und weniger komplex ist. Diese Methode stößt in der Regel auf eine hohe Akzeptanz und ermöglicht eine relativ einfache Erhebung von großen Stichproben in kurzer Zeit (Thielsch & Weltzin, 2012: 110-112). Für den Umfrageleiter ist die Onlinebefragung eine kosten- und zeitgünstige Alternative zu anderen Methoden, bei denen eine persönliche Präsenz von Nöten wäre. Auch die Auswertung und Dokumentation einer standardisierten Befragung erfordert einen geringeren Aufwand mittels Software wie Microsoft Excel und Onlinediensten wie SurveyMonkey, da ein Großteil der Daten nicht kodiert oder besonders aufbereitet werden muss (Lang, 2014: 5-6).

Aus den Hypothesen ergeben sich die Programmfragen, welche die Untersuchung beantworten soll. Die Programmfragen entsprechen den Forschungszielen und werden im Folgenden genau definiert. Zudem werden sie in Unterziele aufgebrochen, damit daraus die Testfragen resultieren. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, die Fragen im Onlinefragebogen auf eine Anzahl zu beschränken, die tatsächlich nötig ist, sodass jede Frage relevant für die Untersuchung der Forschungsziele ist. Die gründliche Konzeption der Testfragen ermöglicht es, diese für die Zielpersonen leicht verständlich, beantwortbar, kurz, aber eindeutig sowie klar abgegrenzt zu gestalten (Lang, 2014: 13).

Ausgehend von den Hypothesen fünf und sechs können in Hinsicht auf die selbstständige Nutzung einer Software sowie auf die Beratung durch externe Firmen in Bezug zur Unternehmensgröße mehrere Programmfragen formuliert werden.

*Programmfrage 1:*

Lassen sich kleinere Unternehmen eher von externen Firmen beraten als größere Unternehmen?

*Programmfrage 2:*

Benutzen größere Unternehmen eher eine Standortplanungssoftware als kleinere Unternehmen?

Für die Bewertung der Unternehmensgröße können verschiedene Faktoren herangezogen werden. Zum einen kann die Anzahl der Beschäftigten, der Umsatz oder die Bilanzsumme ausschlaggebend sein, zum anderen kann die räumliche Größe, als Anzahl der Standorte, hierfür eine Rolle spielen. Mögliche Testfragen sind „Wie groß ist Ihre Bilanzsumme?“, „Wie groß war Ihr letzter Jahresumsatz?“. Diese Fragen lassen sich jedoch weniger intuitiv beantworten als z. B. „Wie viele Mitarbeiter hat ihr Unternehmen?“. Deswegen wird die Unternehmensgröße vereinfacht lediglich über die Anzahl der Beschäftigten ermittelt, da die Befragung im Grundsatz für den Teilnehmer kurz und einfach gehalten werden soll. Als weitere Testfragen werden Fragen wie „Benutzen Sie zur Standortplanung eine Software?“ und „Lassen Sie sich bei der Standortplanung von externen Firmen beraten?“ herangezogen.

*Programmfrage 3:*

Bevorzugen Unternehmen eine Standortplanungssoftware gegenüber anderen Herangehensweisen?

Als Standortplanungssoftware gelten in erster Linie die in Kapitel 4.2 genannten Softwarelösungen, jedoch kann es auch sein, dass die befragte Person eine Individualsoftware besitzt oder andere Softwarelösungen kennt. Als andere Herangehensweisen gelten die Entscheidungsmethoden aus Kapitel 3, also qualitative Methoden, investitionskostenbasierte Methoden und transportkostenbasierte Methoden. Als Unterziel für diese Programmfrage ist zu gewährleisten, dass die Zielperson an die verschiedenen Methoden herangeführt wird, bevor eine Frage bezüglich der Einordnung erfolgt. Zudem muss zur Validierung, aber auch zur ergänzenden Darstellung verfügbarer Software, zuerst geklärt werden, welche Standortplanungssoftware vom Befragten verwendet wird oder wurde. Als Testfrage können hier „Welche Methoden wenden Sie bei der Standortplanung an?“ oder „Ordnen Sie die Methoden zur Standortplanung nach ihrer Entscheidungskraft für Ihre Standortwahl.“ dienen. Zur Vervollständigung der in der Literatur genannten Methoden kann zudem die Frage nach weiteren bekannten bzw. angewandten Methoden von Nutzen sein.

*Programmfrage 4:*

Sind die Transportkosten der wichtigste Standortfaktor gegenüber anderen Standortfaktoren?

Für diese Frage werden die verschiedenen Standortfaktoren aus Kapitel 2.4 gegenübergestellt und sollen von der Zielperson bewertet werden. Ein Unterziel zu dieser Programmfrage ist dabei auch zu sehen, welchen Stellenwert Arbeitskosten und Agglomerationseffekte gegenüber anderen Standortfaktoren haben. Zudem ist zu untersuchen, ob die Reduzierung des Standortproblems auf die Transportkosten eine anwendbare Möglichkeit darstellt. Als Testfrage kann die Zielperson aufgefordert werden, bestimmte Standortfaktoren nach ihrer Wichtigkeit zu sortieren. Denkbar wäre auch, die Relevanz verschiedener Standortfaktoren einzeln abzufragen. Außerdem kann die Frage nach der Zustimmung oder Ablehnung zu der Aussage, ob eine Reduzierung des Standortproblems auf die Transportkosten durchführbar ist, gestellt werden. Die Testfragen zu dieser Programmfrage könnten lauten „Wie sehr stimmen Sie der Aussage zu, dass Transportkosten Ihre Standortentscheidung beeinflussen?“ oder „Welcher Standortfaktor trägt den größten Einfluss auf Ihre Standortentscheidung?“.

Alle Testfragen sind dem Appendix dieser Arbeit angehängt. Dort ist ebenfalls vermerkt, wenn die Antwortmöglichkeiten zu einer Frage in ihrer Reihenfolge randomisiert wurden. Außerdem beginnt die Umfrage gemäß Thielsch und Weltzin (2012:113) mit einem kurzen Instruktionstext, indem das Thema, das Ziel der Befragung, der Verantwortliche genannt werden. Zudem ist vermerkt, dass der Zeitaufwand der Umfrage fünf bis zehn Minuten in Anspruch nimmt. Abschließend ist der Instruktionstext mit dem Hinweis über den Datenschutz und die Anonymität versehen.

## **5.1 Durchführung der Befragung**

Insgesamt werden in dem verwendeten Branchenbuch zur Branche „Frachttumschlag, Lagerlogistik und Lagerei“ deutschlandweit über 1.800 Einträge gelistet. Von einem zufällig ausgewähltem Drittel dieser Einträge wurden die Unternehmensdaten entnommen. Nur ein Teil dieser Auswahl verfügte über eine E-Mailadresse in den Kontaktdaten. Da das Branchenbuch sich auf Unternehmen beschränkt, welche in Deutschland gemeldet sind, grenzt dies die Zielgruppe der Befragung auf Unternehmen im deutschen Raum ein. Die dort aufgeführten Kontaktdaten sind für den allgemeinen Kontakt zum Unternehmen vorgesehen. Da generell jeder Zielperson zusteht, die Teilnahme zu verweigern, kann es in dem Fall einer allgemeinen Kontaktadresse dazu kommen, dass bereits vor dieser Entscheidung eine andere Person die Kooperation verweigert und die Einladung zur Teilnahme gar nicht erst an eine qualifizierte Zielperson weitergibt. Es ist möglich, dass dies die Repräsentativität gefährdet. Nach der Bereinigung von Duplikaten konnten 371 eindeutige E-Mailadressen identifiziert werden. Die Online-Befragung wurde am Montag, den 04. Dezember 2017 an diese 371 E-Mailadressen geschickt.

Die Nachricht mit der Bitte zur Teilnahme enthielt neben einem kurzen Instruktionstext die Bitte, diese an eine zuständige Person im Unternehmen für Standortentscheidungen weiterzuleiten. 44 E-Mails konnten nicht zugestellt werden, da entweder die E-Mailadresse

nicht mehr gültig ist oder Umfrageeinladungen von SurveyMonkey blockiert werden. Die Rücklaufquote dieses ersten Anlaufs belief sich auf 0 %. Mögliche Gründe dafür werden in Kapitel 5.4 erörtert.

In einem zweiten Anlauf wurden aus einem anderen Branchenbuch zur selben Branche 140 Telefonnummern zufällig ausgewählt. An zwei aufeinander folgenden Werktagen wurden diese Nummern anschließend angerufen. Das Ziel dieser Telefonate war es, den direkten Kontakt mit oder eine direkte E-Mailadresse von einem Entscheidungsträger zur Standortplanung zu erhalten. In etwa 30 % der Fälle blieben die Anrufe mehrfach unbeantwortet, in 5 % der Fälle war die Nummer nicht mehr vergeben. Von den erreichten 91 Unternehmen gaben 43 einen Ansprechpartner heraus. Die übrigen 48 waren aus verschiedenen Gründen nicht an einer Teilnahme interessiert, dies wird in Kapitel 5.4 näher betrachtet.

## **5.2 Ergebnisse der Onlinebefragung**

In diesem Kapitel werden deskriptive Verfahren auf die Online-Befragung angewandt. Es erfolgt die Grundauszählung und teilweise die Aufbrüche nach verschiedenen Gruppen. Zudem werden die Ergebnisse grafisch dargestellt.

Insgesamt haben sieben Personen an der Onlinebefragung teilgenommen. Sechs der sieben Befragten bestätigen die Kontrollfrage nach dem Kerngeschäft mit einer Einfach- oder Mehrfachnennung der Bereiche „Frachtumschlag“ oder „Lagerlogistik“. Im weiteren Verlauf beläuft sich die Betrachtung der Antworten auf diese sechs Teilnehmer.

In zwei Fällen betreiben die Befragten lediglich an einem Standort ihre logistischen Prozesse. Die anderen sind an drei bis fünf Standorten vertreten. Die Unternehmensgröße wird einmal mit „bis zu 10 Beschäftigten“, drei Mal mit „11 bis 50 Beschäftigten“, einmal mit „51 bis 250 Beschäftigten“ und einmal mit „mehr als 250 Beschäftigten“ wiedergegeben.



---

 ERGEBNISSE ZUR BEKANNTHEIT QUALITATIVER METHODEN
 

---

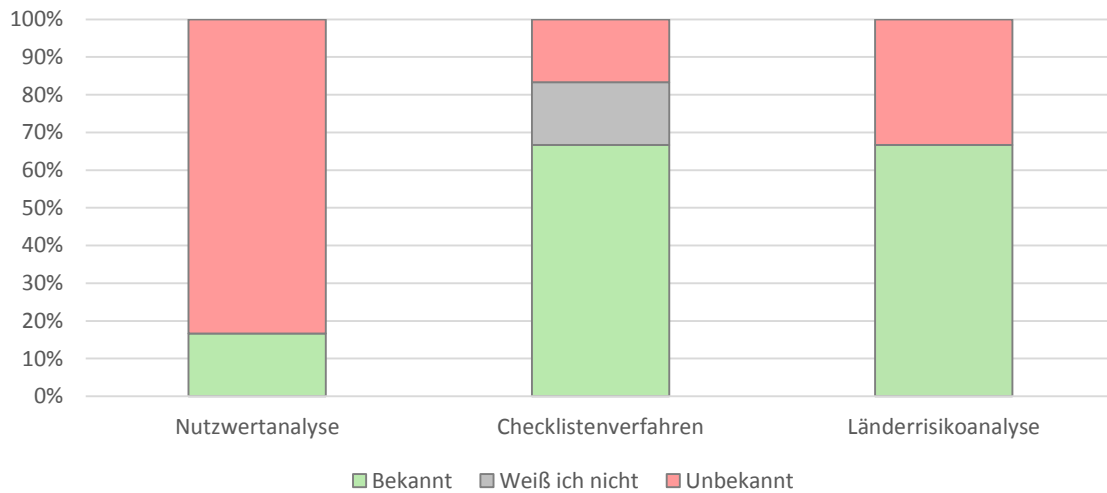


Abbildung 12: Ergebnisse zur Bekanntheit qualitativer Methoden (eigene Darstellung).

Abbildung 12 zeigt die Ergebnisse auf die Frage, welche qualitativen Methoden bei den Entscheidungsträgern in der Standortplanung bekannt sind. Die Antwortmöglichkeiten zu dieser und den folgenden Fragen nach der Bekanntheit von Entscheidungsmethoden wurden der befragten Person in randomisierter Reihenfolge vorgestellt. Es zeigt sich, dass die Nutzwertanalyse lediglich bei 17 % der Befragten bekannt ist, während das Checklistenverfahren und die Länderrisikoanalyse 67 % der Befragten bekannt sind. Insgesamt sind qualitative Entscheidungsmethoden durchschnittlich zu 50 % ( $s = 24\%$ ) bekannt.

Wie im Diagramm in Abbildung 13 zu erkennen ist, sind die transportkostenorientierten Entscheidungsmethoden deutlich unbekannter als investitionskostenorientierte oder manche qualitativen Methoden. Zudem zeigt sich bei dieser Frage ein vergleichsweise großer Anteil an „Weiß ich nicht“ Beantwortungen. Lediglich das (Multi-) Weber Problem, das WLP, das Maximum Covering Problem und das Hub-Location-Problem werden von einigen Befragten als „bekannt“ angegeben. Am bekanntesten sind dabei das WLP und das Hub-Location Problem. Die unbekanntesten transportkostenorientierten Entscheidungsmethoden sind das p-Center Problem und das Set Covering Problem, hier gaben 83 % der Befragten an, die Methode nicht zu kennen. 67% der Entscheidungsträger gaben an, das p-Median Problem und die CoG Methode nicht zu kennen. Insgesamt sind transportkostenorientierte Entscheidungsmethoden durchschnittlich zu 13 % ( $s = 15\%$ ) bekannt.

ERGEBNISSE ZUR BEKANNTHEIT TRANSPORTKOSTENORIENTIERTER METHODEN

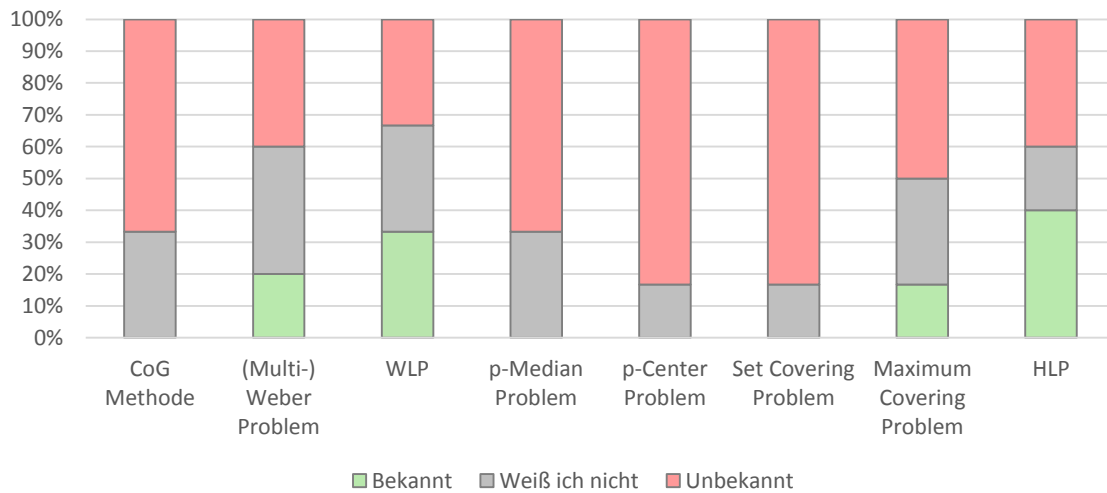


Abbildung 13: Ergebnisse zur Bekanntheit transportkostenorientierter Methoden (eigene Darstellung).

Die investitionskostenorientierte Entscheidungsmethoden sind durchschnittlich 75 % der Befragten ( $s = 8$  %) bekannt und somit vergleichsweise zu den anderen Methoden deutlich bekannter (siehe Abb. 14). 83 % der Befragten geben an, dass sie die Kostenvergleichsrechnung, Rentabilitätsrechnung und Amortisationsrechnung kennen und 67 % der Befragten kennen die Kapitalwertmethode, Annuitätenmethode und interne-Zinssatz Methode.

ERGEBNISSE ZUR BEKANNTHEIT INVESTITIONSKOSTENORIENTIERTEN METHODEN

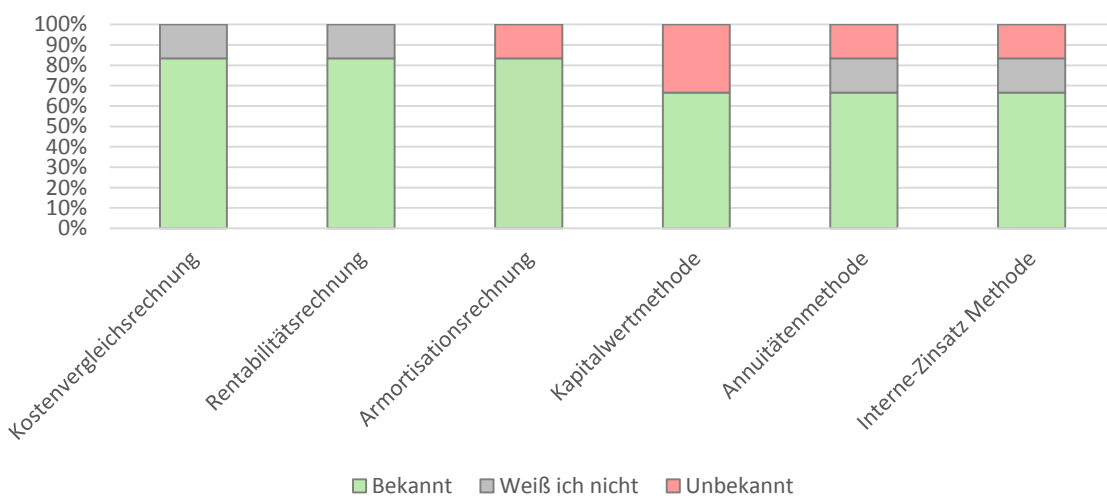


Abbildung 14: Ergebnisse zur Bekanntheit investitionskostenorientierten Methoden (eigene Darstellung).

---

 ERGEBNISSE ZUR RELEVANZ DER ENTSCHEIDUNGSMETHODEN
 

---

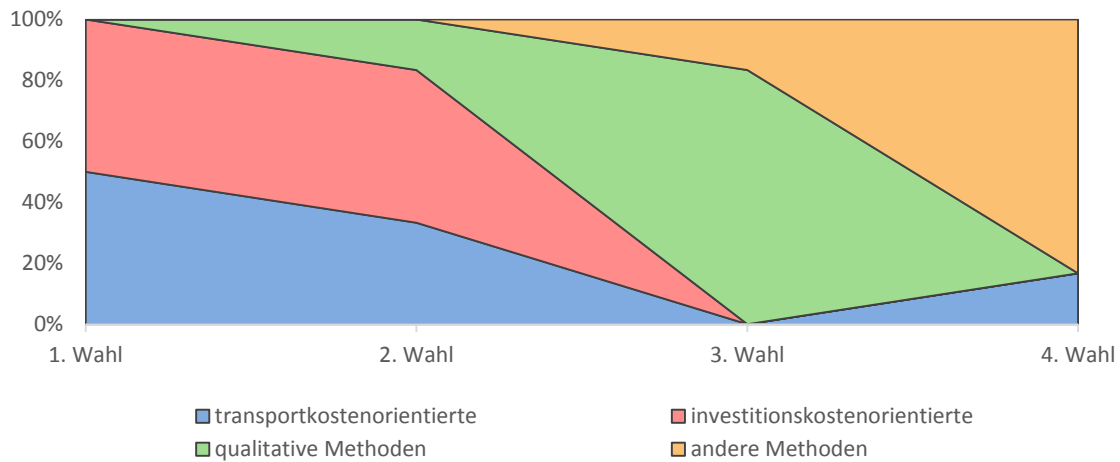


Abbildung 15: Ergebnisse zur Relevanz der Entscheidungsmethoden (eigene Darstellung).

Auf die freie Frage nach sonstigen, bekannten Methoden gab eine befragte Person an, dass sie sich auf „das Bauchgefühl“ und „weiche Standortfaktoren“ verlässt. Ein anderer Befragter formuliert eine ähnliche Aussage, dass er von „basisorientierte Intuition“ ausgehe. Im direkten Vergleich der Methoden lässt sich erkennen, dass transportkostenorientierte und investitionskostenorientierte Methoden etwa als gleichermaßen relevant angesehen werden. So werden diese Entscheidungsmethoden fast ausschließlich als relevanteste oder zweitrelevanteste gewählt. 87% der Befragten sehen qualitative Methoden an der dritten Stelle.

Ferner sollte in der Befragung die Zustimmung zu vier Aussagen beurteilt werden (siehe Abb. 15). Dass die Verwendung einer Software die Standortplanung einfacher mache, ergab ein Zustimmung-zu-Ablehnungsergebnis von 2:1. Das gleiche Verhältnis konnte bei der Frage erzielt werden, ob ein günstiger Standort in der Nähe von Mitbewerbern gefunden werden kann. Diese zwei Aussagen haben auch vergleichsweise den höchsten Anteil von neutralen Beurteilungen. Mit einem Verhältnis von 1:4 wird die Aussage größtenteils abgelehnt, dass nur mithilfe einer Software ein wettbewerbsfähiger Standort gefunden werden kann. Mit dem umgekehrten Verhältnis von 4:1 wird dagegen der Aussage vorwiegend zugestimmt, dass es keiner genauen Methode zur Standortplanung bedarf, sondern ein „gesunder Menschenverstand“, Pragmatismus bzw. natürliches Urteilsvermögen ausreichen.

ERGEBNISSE ZUR BEURTEILUNG VERSCHIEDENER AUSSAGEN

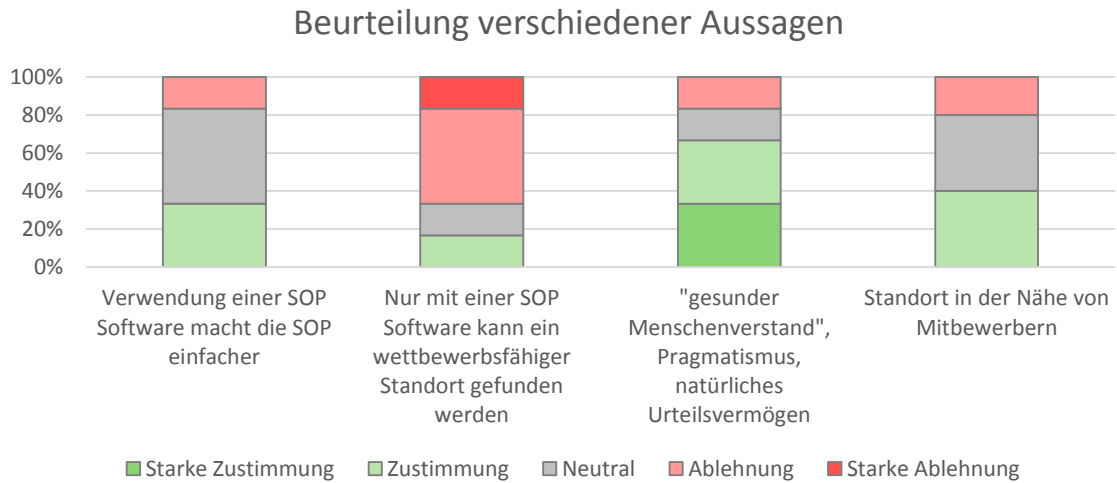


Abbildung 16: Ergebnisse zur Beurteilung verschiedener Aussagen (eigene Darstellung).

ERGEBNISSE ZUR BEURTEILUNG VON STANDORTFAKTOREN

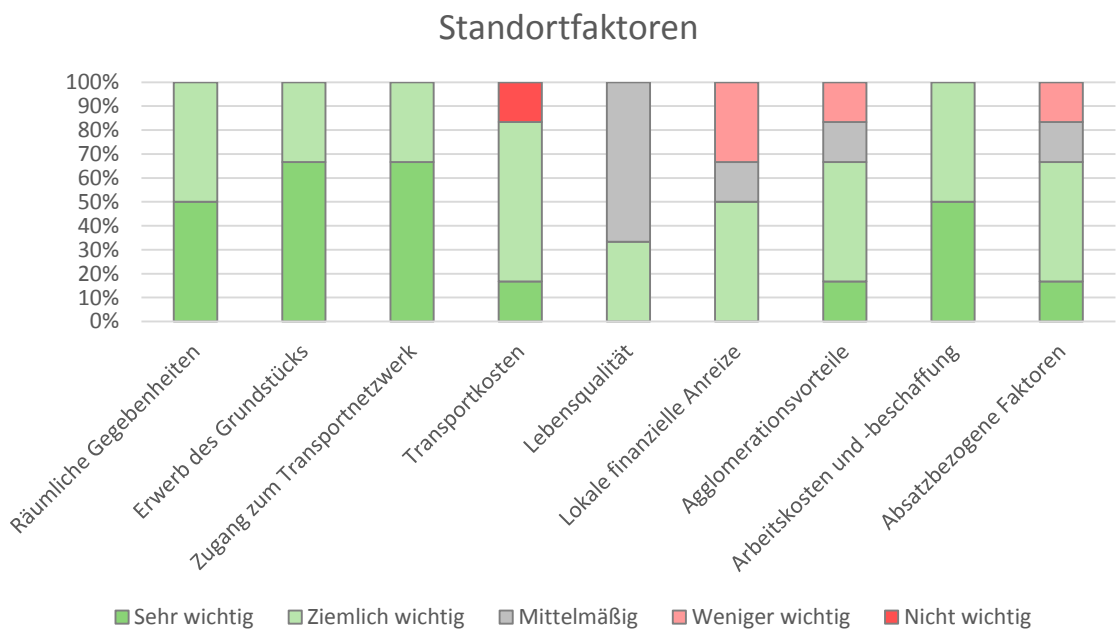


Abbildung 17: Ergebnisse zur Beurteilung von Standortfaktoren (eigene Darstellung).

Die Antwortmöglichkeiten zur Relevanz verschiedener Standortfaktoren wurden den befragten Personen in randomisierter Reihenfolge und mit Beispielen vorgelegt. Nach einer numerischen Bewertung der Antwortmöglichkeiten ergibt sich daraus folgende Rangliste zur Wichtigkeit der verschiedenen Standortfaktoren:

1. Erwerb des Grundstücks und Zugang zum Transportnetzwerk
2. räumliche Gegebenheiten sowie Arbeitskosten und -beschaffung
3. Transportkosten, Agglomerationsvorteile und absatzbezogene Faktoren
4. Lebensqualität
5. lokale finanzielle Anreize

Die Hälfte der Befragten sieht den Zugang zum Transportnetzwerk als den wichtigsten Standortfaktor, während sich die übrigen zu gleichen Teilen auf die Faktoren „räumliche Gegebenheiten“, „Arbeitskosten und Arbeitskräftebeschaffung“ und „Absatzbezogene Faktoren“ verteilen.

Von sechs Befragten nimmt lediglich einer eine Beratung bei der Standortplanung in Anspruch. Zwei Befragte sprechen als Argumente gegen eine Beratung aus, dass sie selber über ausreichend Kompetenzen verfügen, um eine Standortplanung eigenständig durchzuführen. Eine weitere befragte Person steht einer Beratung negativ gegenüber, da sie von „Theoretikern“ durchgeführt würde, denen es schwer falle „den Bedarf eines Logistikunternehmens zu erklären“.

Eine befragte Person setzt eine Software (EasyMap) für die Standortplanung ein und dieses lediglich im Rahmen einer Beratung. Alle anderen begründen, weshalb keine Standortplanungssoftware verwendet wird. Die Gründe gegen eine Nutzung sind

- Kein qualifiziertes Personal zur Bedienung verfügbar
- Zu teuer in der Beschaffung
- Derzeit kein Bedarf
- Software ist für die Entscheidungen nicht erforderlich
- Keine bekannte Software
- Ergebnis einer Software weicht nur minimal von eigenen Überlegungen ab, weshalb sich der Kostenaufwand nicht lohne
- Nur auf großem Maßstab (bspw. Deutschlandweit) sinnvoll, jedoch nicht in einer bestimmten Region

### **5.3 Ergebnisse der Telefonate**

Aus den im zweiten Anlauf durchgeführten Telefonaten entwickelten sich teilweise Gespräche, die über die Hintergründe der quantitativen Befragung hinausgehen, jedoch trotzdem die

jeweilige Entscheidung einer Standortwahl beeinflusst haben. Zwei besondere Sachverhalte wurden dabei am Telefon geschildert, welche hier kurz zusammengefasst beschrieben werden.

Eine Person beklagte die Verfügbarkeit von Standortalternativen. Sie befand sich zum Zeitpunkt des Telefonats auf der Suche nach einem weiteren Standort für ein Lagerhaus. Nach eigenen Überlegungen würde sich ein guter Standort im Raum Stuttgart oder im nördlichen Emsland ergeben. Wegen zwei Automobilherstellern seien im Raum Stuttgart jedoch generell die Möglichkeiten knapp und im Emsland habe ein großes Schiffbauunternehmen wegen einer bevorstehenden guten Auftragslage vorsorglich mehrere Lagerhallen vereinnahmt. Außerdem würden die Gemeinden dies begünstigen, da sie von den großen Unternehmen profitieren (Arbeitgeber, Steuerzahler, Regionalprojektesponsor, etc.).

In einem weiteren Telefonat schilderte eine andere Person die Wichtigkeit des Standortfaktors „Arbeitskräftebeschaffung“ und erklärte, wie dieser sich auf die Standortentscheidung auswirkte. Die Person arbeitete in der Vergangenheit für ein Zulieferunternehmen eines Automobilherstellers. Für einen großen Auftrag wurde eine neue Produktionshalle eröffnet, jedoch haben sich für den sonst günstig gelegenen Standort nicht ausreichend Arbeitskräfte finden können. Durch die geringere Produktionsauslastung war der sogenannte „start of production“, der Stichtag des Automobilherstellers zum Start der Serienproduktion, gefährdet und es drohten hohe Vertragsstrafen. Daraufhin wurde ein Ersatzstandort geplant, zu dem in kürzester Zeit ein Umzug erfolgen sollte. Durch den geringen Planungshorizont wurden viele Standortfaktoren außer Betracht gelassen, vor allem die Kosten für den Transport und den Erwerb des Grundstücks, sodass das Hauptziel auf der regionalen Arbeitskräfteverfügbarkeit für die Sicherstellung einer ausgelasteten Produktion lag.

#### **5.4 Kritische Beurteilung der Befragung**

Am Telefon war der zweithäufigste Grund gegen das Interesse einer Teilnahme an der Befragung, dass gerade „keine Zeit“ für diese bestünde. Da die Telefonate in der zweiten Dezemberwoche durchgeführt wurden, waren viele mit dem Weihnachtsgeschäft beschäftigt. Eine Wiederholung der Umfrage zu einem günstigeren Zeitpunkt erweist sich deshalb als sinnvoll.

Des Weiteren wurde häufiger als Beweggrund gegen das Interesse einer Teilnahme genannt, dass es sich um einen „zu kleinen“ und „bedeutungslosen“ Betrieb handle. In den Ergebnissen lässt sich zudem erkennen, dass kein Unternehmen an mehr als fünf Standorten vertreten ist. Somit fehlt es möglicherweise an Anreizen, welche insbesondere sehr große und sehr kleine Unternehmen zu einer Teilnahme an so einer Befragung motivieren.

Die Rücklaufquote, also der Anteil an Bearbeiteten Umfragen zu den Versendeten Umfragen, beträgt 1,7 %. Die Ergebnisse und Analyse sind daher nicht uneingeschränkt repräsentativ für

die Grundgesamtheit zu werten. Die geringe Rücklaufquote begründet sich wahrscheinlich dadurch, dass

- der Kontakt im ersten Anlauf über eine allgemeine Kontaktadresse erfolgt ist und deshalb wahrscheinlich die Kooperation einer weiteren Person von Nöten war
- der Zeitpunkt der Befragung ungünstig war
- nicht ausreichend Anreize für die Motivation zur Teilnahme gegeben wurden

Zudem könnten eine verfälschende Wirkung auf die Aussagekraft der Ergebnisse haben, dass

- der Kontakt in beiden Anläufen fast ausschließlich über eine Zwischenperson erfolgte, und diese gegebenenfalls selbst – ohne qualifiziertes Wissen – diese Umfrage ausgefüllt hat
- die kontaktierte Person die Kooperation zur Weiterleitung an die Zielperson verweigerte
- eine hohe Qualität des benutzten Branchenbuchs unterstellt wurde, sodass von einer vollständigen Branchendarstellung sowie validen Kontaktadressen ausgegangen wurde
- sich die Auswahl der untersuchten Unternehmen auf diejenigen mit einer Email-Adresse oder Telefonnummer beschränkte
- die Standortplanung einen zu speziellen Bereich darstellt, für den der genaue Ansprechpartner eines Unternehmens unklar sein kann

Es ist außerdem nicht auszuschließen, dass die Anreihung der Fragen zu Antworttendenzen geführt hat. Die Möglichkeit Beispiele zu visualisieren, könnte der Frage zu bekannten Methoden mehr Aussagekraft verleihen, da diese der befragten Person möglicherweise unter anderem Namen oder namentlich unbekannt sein könnten. Es ist zudem nicht auszuschließen, dass bei der Frage nach bekannten Methoden einige Ausschläge darin zu begründen sind, dass befragte Personen auf eher bekannte Wörter in den Methodennamen anders reagiert haben als auf spezielle Bezeichnungen aus der Standorttheorie (wie z. B. „Checkliste“, „Warehouse“, „Hub“ im Gegensatz zu „Weber“, „Center“ oder „Covering“). Zudem wurde auf die Fragen nach dem Umsatz und der Bilanzsumme verzichtet, um es für die Teilnehmer einfach und intuitiv zu halten.

## 6 Analyse und Auswertung der Befragung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Befragung statistisch analysiert, interpretiert und beurteilt. Zudem kann durch die Auswertung ein Rückschluss auf die vorher erarbeiteten Programmfragen und Hypothesen gezogen werden. Das Ziel ist es, eine möglichst eindeutige Antwort auf diese zu geben.

Um eine Antwort auf die Programmfrage 1 geben zu können, werden zwei Gruppen gebildet, bei denen die gemessenen Faktoren zur Unternehmensgröße miteinander verglichen werden. Unter die erste Gruppe fallen diejenigen, die eine Beratung im Rahmen der Standortplanung in Anspruch nehmen und unter die zweite Gruppe diejenigen, die es nicht tun. Aufgrund der geringen Datenmenge ergeben sich die identischen Gruppen für die Beantwortung der Programmfrage 2, wenn Gruppe 1 diejenigen enthält, die eine Standortplanungssoftware benutzen und Gruppe 2 aus denen besteht, die keine Standortplanungssoftware benutzen. Um zu prüfen, ob von den Gruppen ein erkennbarer und signifikanter Zusammenhang zur Variablen „Unternehmensgröße“ besteht, eignet sich eine Kontingenzanalyse. Diese untersucht die Häufigkeit einer Merkmalsausprägung (Backhaus et al., 2016: 360). Da die Stichprobe  $n = 6$  nicht hinreichend groß für den Chi-Quadrat-Test gilt und da  $n \leq 20$  ist, wird der exakte Test nach Fisher angewandt (Universität Zürich, 2017). Das Ergebnis von  $p = 1,0$  ist größer als jegliches Signifikanzniveau, weshalb die Nullhypothese – eine Unabhängigkeit der Unternehmensgröße zur Inanspruchnahme einer Beratung (bzw. zur Verwendung einer Standortplanungssoftware) – nicht signifikant ist. Das bedeutet, dass in Anbetracht der Stichprobe kein Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich des Merkmals der Unternehmensgröße zu erkennen ist.

Verschiedene Testfragen wurden gestellt um auf die Programmfrage 3 eine Antwort zu finden. Die genauere Betrachtung der Testergebnisse, aufgeschlüsselt nach der Gruppe von Teilnehmern, die eine Software benutzen und der Gruppe, die keine Software benutzen, ermöglicht hierzu ein differenzierteres Bild zu bekommen. So nutzt lediglich ein kleiner Teil von 17 % der Befragten eine Standortplanungssoftware. Alle dieser Befragten, aber auch 20 % der übrigen Befragten sehen mit der Benutzung einer Software eine Erleichterung für die Standortplanung. 80 % der Befragten, die nach eigenen Angaben keine Software nutzten, lehnen die Aussage, zum Teil sogar stark, ab, dass ein wettbewerbsfähiger Standort nur durch eine Software gefunden werden kann. Alle befragten Personen, die eine Software benutzen, stehen dieser Aussage neutral gegenüber. Zudem sind verschiedene Gründe der Nichtnutzer gegen eine Verwendung einer Software beschrieben worden.

Hier lässt sich zusammenfassen dass nur ein kleiner Teil eine Software zur Standortplanung verwendet. Es wird dadurch eine Erleichterung der Standortplanung, jedoch kein Wettbewerbsvorteil gesehen. Viele verwenden aber keine Software im Rahmen einer Standortplanung. Ein Großteil sieht darin keine Erleichterung für die Planung und verspricht



sich dadurch auch keinen Wettbewerbsvorteil. Zudem fehlt es an qualifiziertem Personal zur Bedienung und sie sind einigen Befragten zu teuer in der Beschaffung. Außerdem waren sich einige der Befragten sicher, dass die Ergebnisse einer Software nicht weit von eigenen Überlegungen abweichen oder für die Standortwahl nicht erforderlich seien.

Die Frage, ob anstelle der Benutzung einer Software andere Methoden herangezogen oder sogar bevorzugt werden lässt sich folgendermaßen klären. Der direkte Vergleich der vorgestellten Methoden zeigt, dass die Befragten die investitionskostenbasierten und transportkostenbasierten Modelle annähernd gleichermaßen relevant für die Standortplanung sehen. Erst danach kommen bei fast allen Befragten die qualitativen Methoden. Dabei ist auffallend, dass transportkostenbasierte Modelle eigentlich am wenigsten bekannt sind. Auch widersprüchlich ist, dass 83 % der Befragten „andere Methoden“ am wenigsten Relevant sehen, dennoch vier von fünf Befragten, die keine Software benutzen, der Meinung sind, dass zur Standortentscheidung keine genaue Methode benötigt wird und diese aufgrund von natürlichem Urteilsvermögen, Pragmatismus bzw. „gesundem Menschenverstand“ getroffen werden kann. Zudem seien „das Bauchgefühl“ und „weiche Standortfaktoren“, sowie „basisorientierte Intuition“ für einen Teil dieser Gruppe wesentliche Einflussfaktoren zur Standortentscheidung. Möglicherweise hätte daher die Bezeichnung der Kategorie „andere Methoden“ als „keine genaue Methode“ einen aussagekräftigeren Effekt erzielt.

Bezogen auf die Programmfrage 3 lassen sich daher folgende Schlüsse ziehen: Da lediglich eine befragte Person eine Standortplanungssoftware verwendet, ist die generelle Behauptung auszuschließen, dass die Standortplanung mit Hilfe einer Software bevorzugt wird. Vielmehr scheinen pragmatische Mittel von mehr Bedeutung. Auch dass manche Personen am Telefon ihren Betrieb als „zu klein“ oder „bedeutungslos“ für die Befragung gesehen haben, lässt möglicherweise darauf schließen, dass diese Betriebe bei deren Standortplanung keiner bestimmten Herangehensweise gefolgt sind. Auch wird die Herangehensweise, einen Standort in der Nähe eines Wettbewerbers zu verorten, nur von einem kleinen Teil abgelehnt und mit gleichen Teilen neutral betrachtet wie zugestimmt. Daraus lässt sich erkennen, dass diese Nachahmungsstrategie durchaus auf eine Akzeptanz stößt, jedoch durch den vergleichsweise hohen neutralen Anteil auch skeptisch und nicht eindeutig als beurteilbar gesehen wird. Dennoch ist erkennbar geworden, dass die Verwendung einer Software von ihren Benutzern als Erleichterung der Standortplanung wahrgenommen wird. Die Person, welche eine Software nutzt, benutzt EasyMap. Wie in Kapitel 4.2 beschrieben handelt es sich dabei um eine (als Demoversion) kostenlos verfügbare Software. So scheinen die Argumente „Software macht die Standortplanung nicht leichter“ und „Software ist zu teuer“ Vorurteile zu sein, welche durch den softwarenutzenden Teilnehmer widerlegt wurden.

Aufgrund der relativ großen Bedeutung und Bekanntheit von Investitionskostenmodellen, welche keinen Optimierungsgedanken verfolgen und die generelle Wirtschaftlichkeit in Bezug

auf Kosten und Erlöse untersuchen, sowie der relativ großen Bedeutung, jedoch kleinen Bekanntheit von Transportkostenmodellen lässt sich schließen, dass im Rahmen einer Standortentscheidung die Optimierung von Transportkosten eine möglicherweise untergeordnete Rolle spielt und diese eher bei der Betrachtung von Erlösen und Kosten bedeutsam sind. Entsprechend zeigt sich dazu, dass „die Kosten für den Erwerb des Grundstücks“ einer der zwei wichtigsten Standortfaktoren ist. Der wohl wichtigste Standortfaktor, und das zeigen sowohl die Auswertung der Beurteilung aller Standortfaktoren als auch die direkte Frage danach, ist der Zugang zum Transportnetzwerk. Keiner der Teilnehmer nennt die Transportkosten als den wichtigsten Standortfaktor. Zusätzlich zu den zwei vorher genannten Faktoren sind auch die räumlichen Gegebenheiten, die Arbeitskosten und -Beschaffung sowie absatzbezogene Faktoren wichtiger als Transportkosten. Etwa gleichbedeutend mit ihnen sind Agglomerationsvorteile. Vergleichsweise weniger wichtig sind die Faktoren „Lebensqualität“ und „lokale finanzielle Anreize“. Daraus lässt sich Programmfrage 4 dahingehend beantworten, dass die Transportkosten nicht der wichtigste Standortfaktor sind. Dennoch werden sie im direkten Vergleich der Standortfaktoren als eher wichtig gesehen. Zudem werden transportkostenorientierte Modelle trotz einer weitgehenden Unbekanntheit als relevante Entscheidungsmethoden angesehen.

Zudem haben die Telefonate ergeben, dass zusätzlich zu den Standortfaktoren noch zwei Planungsumstände eine Standortentscheidung wesentlich beeinflussen: die Verfügbarkeit von Standorten und der Zeithorizont der Planung.

Die Hypothesen 1, 2 und 4 können somit widerlegt werden. Für die Hypothesen 5 und 6 gibt es wie bereits beschrieben keine signifikanten Hinweise. Hypothese 3 kann dahingehend bestätigt werden, da keiner der Befragten die Standortplanung auf analytische Standortplanungsmodelle bzw. auf den Standortfaktor Transportkosten reduziert.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass die Branche der Lagerei und des Frachtumschlags ein bedeutsamer Wirtschaftszweig ist. So werden in der Wissenschaft nicht selten diese zwei Tätigkeitsfelder benannt, wenn es um die Anwendungsmöglichkeiten für Entscheidungsmethoden in der Standortplanung geht. Es wurde gezeigt, dass die Standortplanung im Rahmen des Netzwerkdesigns einzuordnen ist und so Teil der strategischen Planung ist. Die dabei getroffenen Entscheidungen haben weitreichende Folgen für viele weitere Planungsschritte im taktischen und operativen Bereich. Auch sind die Aufgaben im Bereich der Lagerei und des Frachtumschlags erläutert und eingegrenzt worden. Im historischen Rückblick konnten zudem richtungsgebende Ereignisse und ihre Urheber zu analytischen Methoden der Standorttheorie identifiziert werden. Auch wurde dabei gezeigt, dass eine reine Betrachtung von analytischen Verfahren durchaus kritisch gesehen wird und einige Wissenschaftler sich deshalb für eine vollständige Standortbeurteilung aussprechen, welche zusätzlich auf qualitative und investitionskostenorientierte Methoden fußt. Alan Pred (1967) ergänzt zudem die Standorttheorie um einen behavioristischen Ansatz, wo die Informationsverfügbarkeit und die Fähigkeit diese zu verwerten eine ausschlaggebende Rolle bei der Standortwahl spielen.

Anschließend wurde der Begriff „Standortfaktor“ nach Alfred Weber (1906: 16) als eine Eigenschaft definiert, die einen Vorteil für wirtschaftliche Tätigkeiten bietet, wenn diese sich an bestimmten Orten vollziehen. Die Berücksichtigung verschiedener Autoren führte somit zu folgender Sammlung von Standortfaktoren: Transportkosten, Arbeitskosten und Arbeitskräftebeschaffung, Agglomerationsvorteile, räumliche Gegebenheiten, Kosten für den Erwerb des Grundstücks, Zugang zum Transportnetzwerk, Lebensqualität, lokale finanzielle Anreize, absatzbezogene Faktoren und Internationalisierungsfaktoren.

Aufbauend für analytische Methoden der Standorttheorie wurden die Grundlagen der Graphentheorie beschrieben, wodurch der Leser Kanten, Pfeile und Knoten als Elemente eines Graphen einzuordnen weiß und ein Verständnis von schlichten Graphen, Digraphen und Bewertungen von Graphen entwickelt hat. Zudem wurden Grundlagen der Distanzberechnung beschrieben, wodurch die spätere Verwendung von Manhattan Distanzen sowie (quadratische) euklidische- und  $l_p$ -Entfernungsmaße verstanden werden können. Auch wurden dabei drei Verfahren zur Bestimmung von kürzesten Wegen in Graphen beschrieben: der Dijkstra-Algorithmus, der Bellman-Ford-Algorithmus und das Floyd-Warshall-Verfahren.

Ein besonderes Augenmerk dieser Arbeit wurde den Entscheidungsmethoden zur Standortwahl gewidmet. Dazu wurden zur qualitativen Standortbeurteilung zwei Methoden aufgezeigt, das Checklistenverfahren und die Nutzwertanalyse, aber auch zwei Entscheidungshilfen beschrieben: Country Ratings, welche bei einer Internationalisierung wichtig sein können oder die Best-Practice-Strategie der Nachahmung, wo sich an erfolgreichen Unternehmen orientiert

wird. Weiter wurden verschiedene statische und dynamische Verfahren im Rahmen der investitionskostenorientierten Standortbeurteilung beschrieben. Die Motivation und das Ziel für Unternehmen bei Anwendung dieser Verfahren ist jedoch weniger die Optimierung, als die Suche nach einer zufriedenstellenden Lösung. Nach dieser Sichtweise wird ein gewinnbringender Standort gesucht und nicht der am meisten gewinnbringende.

Anders ist es bei den vorgestellten analytischen Methoden. Diese verfolgen grundsätzlich einen Optimierungsgedanken. Sie bauen auf verschiedenen räumlichen Betrachtungsweisen (planar, semidiskret, diskret) auf und verfolgen unterschiedliche Ziele (Median, Center, Covering). Für eine übersichtliche Darstellung dessen sei auf Tabelle 4 verwiesen. Um eine übersichtliche Zusammenfassung des Kapitels 3.3 zu gewährleisten soll folgende Tabelle 8 dienen, welche für jedes Modell die jeweilige Dateneingabe (Input) und Ergebnisausgabe (Output) darstellt. Zudem werden gebräuchliche Anwendungen für die Modelle beschrieben.

INPUT UND OUTPUT DER BETRACHTETEN STANDORTPLANUNGSMODELLE

Modell	Input	Output	Anwendung
Center of Gravity Methode	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordinaten der Kundenstandorte</li> <li>• Nachfrage der Kundenstandorte</li> </ul>	geographischer Mittelwert	grobe Lokalisierung eines zentralen Standortes
p-Median Problem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordinaten der Kundenstandorte <u>oder</u> ein Netzgraph</li> <li>• Nachfrage der Kundenstandorte <u>oder</u> Bewertung des Netzgraphs</li> <li>• Anzahl der zu errichtenden Standorte</li> </ul>	Position/en von einem oder mehreren Standorten, sodass die Summe der nachfragegewichteten Distanzen zwischen allen Nachfragepunkten und Standorten minimal sind	logistische Einrichtungen mit viel Transportaufkommen
Warehouse Location Problem	wie p-Median Problem und zusätzlich <ul style="list-style-type: none"> <li>• periodische Kosten der Standortalternativen</li> </ul>	wie p-Median Problem und zusätzlich unter Berücksichtigung periodischer Kosten der Standortalternativen	logistische Einrichtungen mit viel Transportaufkommen und der Möglichkeit periodisch verschiedene Standorte zu öffnen / zu schließen
p-Center Problem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordinaten der Kundenstandorte <u>oder</u> ein Netzgraph</li> <li>• Anzahl der Einrichtungen</li> </ul>	Position/en von einem oder mehreren Standorten, sodass mit möglichst kleinem Radius alle Nachfragepunkte abgedeckt sind	Einrichtungen, die die Reaktionszeit reduzieren möchten (z. B. Feuerwehr, Polizeiwache, etc.) oder Drahtlose Netzwerke

Set Covering Problem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordinaten der Kundenstandorte <u>oder</u> ein Netzgraph</li> <li>• ein Service-Niveau / Maximalentfernung</li> </ul>	minimale Anzahl und Positionen von benötigten Standorten, sodass alle Nachfragepunkte abgedeckt sind	Einrichtungen mit einer Maximaldistanz zur Bevölkerung (z. B. Lieferdienste, Briefkästen, Schulen, etc.) oder Drahtlose Netzwerke
Maximum Covering Problem	wie Set Covering Problem und zusätzlich <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachfrage der Kundenstandorte <u>oder</u> Bewertung des Netzgraphs</li> <li>• Anzahl der zu errichtenden Standorte</li> </ul>	Position/en von einem oder mehreren Standorten, sodass mit bei gegebenem Radius eine maximale Nachfrage abgedeckt wird	Einrichtungen mit einer Maximaldistanz zur Bevölkerung bei der Nachfragepotenziale ausgeschöpft werden sollen (z. B. Friseur, Bäcker, etc.)
Hub Location Problem	je nach Zielsetzung wie p-Median, p-Center, Set Covering oder Maximum Covering Problem	Lage und Anzahl von Hub-Standorten, die mit Hilfe von Inter-Hub-Verbindungen das Netzwerk hinsichtlich Profitmaximum, Kostenminimum oder Warenfluss optimieren	z.B. im kommerziellen Luftverkehr, im Postwesen, beim Frachttransport oder in Telekommunikationsnetzwerken

Tabelle 8: Input und Output der betrachteten Standortplanungsmodelle (eigene Darstellung).

Die Ergebnisse dieser Modelle fallen umso besser aus, je besser die Modellierung des individuellen Problems ist. Übliche Erweiterungen sind deshalb eine Kapazitätsbeschränkung (capacitated vs. uncapacitated), die Berücksichtigung bereits vorhandener Standorte (conditional vs. unconditional), die Betrachtung mehrerer Zeitdimensionen (static vs. dynamic), stochastische Elemente (deterministic vs. stochastic), die gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer Zielsetzungen (single vs. multiple objective problems) oder die Art der Einrichtung (desirable vs. undesirable facilities).

Da kontinuierliche Standortmodelle in den Bereich der (nicht) linearen Programmierung oder gemischt-ganzzahligen Optimierung fallen, wurden in einer Recherche Optimierungssoftwares identifiziert, mit denen sich diese Probleme lösen lassen. Durchgeführte Benchmarks zeigen, dass kostenpflichtige Software wie CPLEX, GUROBI und XPRESS in der Regel besser abschneiden als kostenlose Angebote. Das kostenpflichtige MATLAB bildet eine Ausnahme und ist teilweise deutlich langsamer als kostenlose Software. Umgekehrt zeigt sich eine Ausnahme bei dem kostenlosen CLP von COIN-OR, welches im Bereich der LP-Solver als einer der besten heraussteicht.

In einer weiterführenden Recherche wurden Softwares identifiziert, welche explizit für die Standortplanung entwickelt wurden. Es zeigt sich, dass kommerzielle Softwarelösungen in der Regel mehr Funktionen (wie Kartenmaterial, Kapazitätsbeschränkung, Einbezug von vorhandenen Standorten, Nachhaltigkeitskriterien, mehrstufige Betrachtung) beinhalten und

häufig auch andere logistische Prozesse (Touren-, Bestands-, Budgetplanung) ermöglichen. Die kostenpflichtigen Produkte IBM WSP, SAP APO und LOCOM Logistics Designer zeigten den größten Umfang der untersuchten Eigenschaften. LoLoLA und SITATION eignen sich besonders für die wissenschaftliche Untersuchung von Standortproblemen und sind völlig kostenfrei verfügbar. Ergänzend können der FLP Spreadsheet Solver, Facility Location Utility und LOCOM CoG genannt werden, welche vergleichsweise einfach in Zugang und Funktionen sind.

Mithilfe einer Umfrage unter Entscheidungsträgern konnte gezeigt werden, dass sich weder bei der Inanspruchnahme einer Beratung, noch bei der Verwendung einer Standortplanungssoftware eine signifikante Abhängigkeit zur Unternehmensgröße erkennen lässt. Insgesamt nutzten nur wenige Befragte eine Software zur Standortplanung. Diese befragten Personen sahen damit eine Erleichterung für die Planung. Ein Großteil der Teilnehmer findet nicht, dass nur mit Hilfe einer Software ein wettbewerbsfähiger Standort gefunden werden kann. Als Gründe gegen die Nutzung einer Software sind fehlendes, qualifiziertes Personal zur Bedienung, die Beschaffungskosten, fehlender Bedarf und fehlende Bekanntheit über verfügbare Software zu nennen. Außerdem waren sich einige der Befragten sicher, dass die Ergebnisse einer Software nicht weit von eigenen Überlegungen abweichen oder für die Standortwahl nicht erforderlich seien. Das Kostenargument kann durch die Gruppe der Softwarenutzer widerlegt werden, da diese auch durch die Nutzung einer kostenlosen Software eine Erleichterung ihrer Standortplanung sehen.

Da lediglich eine befragte Person eine Standortplanungssoftware verwendet, ist es auszuschließen, dass die Standortplanung mit Hilfe einer Software in der untersuchten Branche bevorzugt wird. So finden auch die meisten Befragten, dass keine genaue Methode benötigt wird und eine gute Standortentscheidung basierend auf natürlichem Urteilsvermögen, Pragmatismus bzw. „gesundem Menschenverstand“ getroffen werden kann.

Außerdem hat sich gezeigt, dass transportkostenbasierte Methoden insgesamt am wenigsten bekannt sind, sie jedoch gleichermaßen relevant für die Standortentscheidung eingestuft werden wie investitionskostenbasierte Modelle. Transportkosten werden ebenfalls nicht als besonders wichtiger Standortfaktor gesehen. Viel wichtiger sind den Befragten die direkten Kosten beim Erwerb des Grundstücks oder der Zugang zum Transportnetzwerk. Zudem haben Telefonate ergeben, dass neben den Standortfaktoren eine Standortentscheidung wesentlich durch die Verfügbarkeit von Standorten und den Zeithorizont der Planung beeinflusst werden.

Aufbauende Forschung kann prüfen, ob bei einer mehrstufigen Betrachtung, beispielsweise bei Unternehmen, welche Produktion, Transport, Lagerung und Frachtumschlag weitgehend selber betreiben, der Standortfaktor Transportkosten eine größere Rolle spielt. Interessant wäre dabei beispielsweise die Untersuchung im Einzel- und Großhandel sowie in produzierenden Unternehmen. Die Verwendung von Softwarelösungen zur Standortplanung ist darüber hinaus

in weiteren Branchen zu prüfen. Durch einen größeren Datensatz bei einer Umfrage könnte zudem gefiltert werden, welche Standortfaktoren für welche Unternehmensgröße besonders relevant sind und ob sich diese verändern. Außerdem wäre bei einer ähnlichen Befragung zu prüfen, ob „keine genaue Methode“ die bevorzugteste Herangehensweise ist. Auch könnte eine ergänzende qualitative Befragung von Entscheidungsträgern in der Standortplanung weitere Kenntnisse über die Durchführung und Interessen bei einer Standortplanung sowie die Benutzung einer entsprechenden Software geben.

## Literaturverzeichnis

- Adam, Dietrich (1997):** Planung und Entscheidung. Modelle – Ziele – Methoden. Mit Fallstudien und Lösungen. 4. vollständig überarbeitete und wesentlich erweiterte Auflage. Wiesbaden: Gabler.
- Albert, Christof (2009):** Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management: Business-Szenarien für die Produktionsplanung mit APS-Systemen. München: Oxygon-Verlag.
- Arabani, Alireza Boloori; Farahani, Reza Zanjirani (2012):** Facility location dynamics: An overview of classifications and applications. **In:** Computers & Industrial Engineering 62, 2012, pp. 408-420.
- Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Plinke, Wulff; Weiber, Rolf (2016):** Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. 14., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Bankhofer, Udo (2001):** Industrielles Standortmanagement. Aufgabenbereiche, Entwicklungstendenzen und problemorientierte Lösungsansätze. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- Bazargan, Massoud (2010):** Airline Operations and Scheduling. 2nd Edition. Farnham: Ashgate.
- Bea, Franz Xaver (2009):** Entscheidungen des Unternehmens. **In:** Bea, Franz Xaver; Schweitzer, Marcell (Hrsg.): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Band 1: Grundfragen. 10., überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Lucius & Lucius, pp. 333-437.
- Behrens, Karl Christian (1971):** Allgemeine Standortbestimmungstheorie. 2. Auflage. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.
- Bellman, Richard (1958):** On a routing problem. **In:** Quarterly of Applied Mathematics, 16 (1), 1958, pp. 87-90.
- Bender, Thorsten; Hennes, Holger; Kalcsics, Jörg; Melo, Teresa M.; Nickel, Stefan (2002):** Location Software and Interface with GIS and Supply Chain Management. **In:** Drezner, Zvi; Hamacher, Horst W. (Hrsg.): Facility Location. Applications and Theory. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 233-274.
- Biazaran, Maryam; SeyediNezhad, Bahareh (2009):** Center Problem. **In:** Farahani, R.Z.; Hekmatfar, M. (Hrsg.): Facility Location. Concepts, Models, Algorithms and Case Studies, Contributions to Management Science. Heidelberg: Physica-Verlag, pp. 193-218.



- Bischoff, Martin; Fleischmann, Tina; Klamroth, Kathrin (2009):** The multi-facility location-allocation problem with polyhedral barriers. **In:** *Computers & Operations Research* 36 (5), 2009, pp. 1376-1392.
- Black, Paul E. (2006):** Manhattan Distance. Online verfügbar unter: <https://www.nist.gov/dads/HTML/manhattanDistance.html> (Stand: 31.05.2006, letzter Zugriff: 22.11.2017).
- Blohm, Hans; Lüder, Klaus (1995):** Investition. Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung. 8. aktualisierte Auflage. München: Vahlen.
- Brandeau, Margaret L.; Chiu, Samuel S. (1989):** Overview of Representative Problems in Location Research. **In:** *Management Science*, 35 (6), 1989, pp. 645-674.
- Brede, Helmut (1971):** Bestimmungsfaktoren industrieller Standorte. Eine empirische Untersuchung. Berlin et al.: Duncker & Humblot.
- Brimberg, Jack; Hansen, Pierre; Mladenović, Nenad; Taillard, Eric D. (2000):** Improvements and Comparison of Heuristics for Solving the Uncapacitated Multisource Weber Problem. **In:** *Operations Research*, 48 (3), 2000, pp. 444-460.
- Canbolat, Mustafa S.; Massow, Michael von (2009):** Planar maximal covering with ellipses. **In:** *Computers & Industrial Engineering*, 57, 2009, pp. 201-208.
- Carrizosa, E. J.; Conde, E.; Muñoz, M.; Puerto, J. (1995):** The generalized Weber problem with expected distances. *RAIRO*, 29, 1995, pp. 35-57.
- Cayley, Arthur (1874):** Chemical Graphs. **In:** *Philosophical Magazine*, 47, 1874, pp. 444-446.
- Chopra, Sunil; Meindl, Peter (2007):** Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation. 3rd edition. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- Chrystal, George (1885):** On the Problem to Construct the Minimum Circle Enclosing n Given Points in the Plane. **In:** *Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society*, 3, 1885, pp. 30-33.
- Church, Richard L. (1984):** The planar maximal covering location problem. **In:** *Journal of Regional Science*, 24, 1984, pp. 185-201.
- Cooper, Leon (1963):** Location-Allocation Problems. **In:** *Operations Research*, 11, 1963, pp. 331-343.

- Cormier, Gilles (2005):** Operational Research Methods for Efficient Warehousing. **In:** Langevin, André; Riopel, Diane (Hrsg.): Logistics Systems. Design and Optimization. New York, NY: Springer-Verlag, pp. 93-122.
- Current, John; Daskin, Mark S.; Schilling, David (2002):** Discrete Network Location Models. **In:** Drezner, Zvi; Hamacher, Horst W. (Hrsg.): Facility Location. Applications and Theory. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 81-118.
- Dantzig, George B. (1958):** On the Shortest Route through a Network. Report P-1345. Santa Monica, CA: The RAND Corporation.
- Daskin, Mark S. (2013a):** Network and Discrete Location. Models, Algorithms, and Applications. 2<sup>nd</sup> Edition. Hoboken, NJ et al.: Wiley.
- Daskin, Mark S. (2013b):** Facility Location Software for Windows. Software to accompany Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications. Online verfügbar unter: <https://daskin.engin.umich.edu/software/> (mit Klick auf „for a PDF document about the software“) oder direkt unter: <https://daskin.engin.umich.edu/wp-content/uploads/sites/133/2014/07/sitationdescription.pdf> (letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Deza, Michel Marie; Deza, Elena (2013):** Encyclopedia of Distances. 2<sup>nd</sup> Edition. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Dijkstra, Edsger W. (1959):** A note on two problems in connexion with graphs. **In:** Numerische Mathematik, 1, 1959, pp. 269-271.
- Domschke, Wolfgang; Drexl, Andreas (2005):** Einführung in Operations Research. 6. Auflage. Berlin et al.: Springer-Verlag.
- Domschke, Wolfgang (2007):** Logistik: Transport. Grundlage, lineare Transport- und Umladeprobleme. 5. Überarbeitete Auflage. München et al.: Oldenbourg.
- Drexl, Michael; Schneider, Michael (2015):** A survey of variants and extensions of the location-routing problem. **In:** European Journal of Operational Research, 241 (2), 2015, pp. 283-308.
- Drezner, Zvi (1989):** Conditional p-Center Problems. **In:** Transportation Science, 23 (1), 1989, pp. 51-53.
- Drezner, Zvi; Klamroth, Kathrin; Schöbel, Anita; Wesolowsky, George O. (2002):** The Weber Problem. **In:** Drezner, Zvi; Hamacher, Horst W. (Hrsg.): Facility Location. Applications and Theory. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 1-36.

- 
- Drezner, Zvi.; Wesolowsky, George O.; Drezner, Tammy (2004):** The gradual covering problem. **In:** Naval Research Logistics, 51, 2004, pp. 841-855.
- Drezner, Zvi; Brimberg, Jack; Mladenović, Nenad; Salhi, Said (2016):** New local searches for solving the multi-source Weber problem. **In:** Annals of Operations Research, 246 (1-2), 2016, pp. 181-203.
- DSLVL, Deutscher Spedition- und Logistikverband (2015):** Zahlen – Daten – Fakten aus Spedition und Logistik. Online verfügbar unter: [https://www.dslv.org/dslv/web.nsf/id/pa\\_de\\_zdf.html](https://www.dslv.org/dslv/web.nsf/id/pa_de_zdf.html) oder direkt unter: [https://www.dslv.org/dslv/web.nsf/gfx/6CFE028FC9D5A06BC1257E5B003C8189/\\$file/DSLVL\\_Zahlen-Daten-Fakten\\_2015-Downloadversion.pdf](https://www.dslv.org/dslv/web.nsf/gfx/6CFE028FC9D5A06BC1257E5B003C8189/$file/DSLVL_Zahlen-Daten-Fakten_2015-Downloadversion.pdf) (letzter Zugriff: 23.12.2017).
- Eiselt, Horst A.; Laporte, Gilbert; Thisse, Jacques-François (1993):** Competitive location models: A framework and bibliography. **In:** Transportation Science, 27, 1993, pp. 44-54.
- Eiselt, Horst A.; Sandblom, Carl-Louis (2004):** Decision Analysis, Location Models, and Scheduling Problems. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Eiselt, Horst A.; Sandblom, Carl-Louis (2012):** Operations Research. A model-based approach. 2<sup>nd</sup> Edition. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Erdoğan, Güneş (2016):** User's Manual for FLP Spreadsheet Solver. Online verfügbar unter: <http://people.bath.ac.uk/ge277/index.php/flp-spreadsheet-solver/> (Stand: 20.12.2017, letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Esri (2017a):** Was ist die Erweiterung "ArcGIS Network Analyst"? Online verfügbar unter: [https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/extensions/network-analyst/location-allocation.htm#ESRI\\_SECTION1\\_F8182D9F421E4EA4AEE11E7B360E1340](https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/extensions/network-analyst/location-allocation.htm#ESRI_SECTION1_F8182D9F421E4EA4AEE11E7B360E1340) (Stand: 18.07.2017, letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Esri (2017b):** Location-Allocation-Analyse. Online verfügbar unter: <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/extensions/network-analyst/what-is-network-analyst-.htm> (Stand: 18.07.2017, letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Elhedhli, Samir; Hu, Frank Xiaolong (2005):** Hub-and-spoke network design with congestion. **In:** Computers & Operations Research, 32, 2005, pp. 1615-1632.
- Elzinga, Jack D.; Hearn, Donald W. (1972):** The Minimum Covering Sphere Problem. **In:** Management Science, 19 (1), 1972, pp. 96-104.

- Farahani, Masoud Hekmatfar; Arabani, Alireza Boloori; Nikbaksh, Ehsan (2013):** Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques, and applications. **In:** Computers & Industrial Engineering, 64, 2013, pp. 1096-1109.
- Floyd, Robert W. (1952):** Algorithm 97 (Shortest Path). **In:** Communications of the ACM 5, 1962, p. 345.
- Ford, L.R. Jr. (1956):** Network Flow Theory, Paper P-923, Santa Monica, CA: The RAND Corporation.
- Francis, Richard L.; Lowe, Timothy J.; Tamir, Arie (2002):** Demand Point Aggregation for Location Models. **In:** Drezner, Zvi; Hamacher, Horst W. (Hrsg.): Facility Location. Applications and Theory. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 207-232.
- Frank, Christian (2007):** Facility Location. **In:** Wagner, D.; Wattenhofer, R. (Hrsg.): Algorithms for Sensor and Ad Hoc Networks. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 131-159.
- Gadegaard, Sune Lauth (2016):** Discrete Location Problems – Theory, Algorithms, and Extensions to Multiple Objectives. **In:** ECON PhD Dissertations, 2016-11. Århus: Institut for Økonomi, Aarhus Universitet.
- Goetschalckx, Mark; Fleischmann, Bernhard (2005):** Strategic Network Planning. **In:** Stadtler, Hartmut; Kilger, Christoph (Hrsg): Supply Chain Management and Advanced Planning. Third Edition. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Götze, Uwe (2006):** Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 5., überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Gudehus, Timm; Kotzab, Herbert (2012):** Comprehensive logistics. 2nd revised and enlarged Edition. Heidelberg et al.: Springer-Verlag.
- Günther, Christian; Hillmann, Marcus; Tammer, Christiane; Winkler, Brian (2016):** Facility Location Optimizer. Reference Manual. Online verfügbar unter: <https://project-flo.de/flo/download/> (mit klick auf „here“) oder direkt unter: <http://ito.mathematik.uni-halle.de/~flo/manual.pdf> (letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Hale, Trevor S.; Moberg, Christopher R. (2003):** Location Science Research: A Review. **In:** Annals of Operations Research, 123 (1-4), 2003, pp. 21-35.
- Hall, Randolph W. (2003):** Handbook of transportation science. 2<sup>nd</sup> Edition. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers.

- 
- Handler, Gabriel Y.; Mirchandani, Pitu B. (1979):** Location on Networks: Theory and Algorithms. Cambridge, MA: MIT Press.
- Hakimi, Seifollah L. (1964):** Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph. **In:** Operations Research, 12 (3), 1964, pp. 450-459.
- Hakimi, Seifollah L. (1965):** Optimum Distribution of Switching Centers in a Communications Network and some Related Graph Theoretic Problems. **In:** Operations Research, 13, 1965, pp. 462-475.
- Hamacher, Horst W.; Labbé, Martine; Nickel, Stefan (1996):** Multicriteria network location problems with sum objective. **In:** Networks, 33, 1999, pp. 79-92.
- Hamacher, Horst W.; Nickel, Stefan (1998):** Classification of location models. **In:** Location Science, 6, 1998, pp. 229-242.
- Hamacher, Horst W.; Maier, Andrea; Aleksandra Gross, Aleksandra; Heßler, Philipp (2016):** LoLoLA Documentation. Online verfügbar unter: <http://lolola.mathematik.uni-kl.de:8000/> (mit Klick auf „Tutorial“) oder direkt unter: [http://lolola.mathematik.uni-kl.de:8000/static/lololaweb/LoLoLA\\_Documentation.pdf](http://lolola.mathematik.uni-kl.de:8000/static/lololaweb/LoLoLA_Documentation.pdf) (letzter Zugriff: 22.11.2017).
- Hansen, Pierre; Mladenović, Nenad; Taillard, Éric (1998):** Heuristic solution of the multisource Weber problem as a p-median problem. **In:** Operations Research Letters, 22, 1996, pp. 55-62.
- Hansmann, Karl-Werner (1974):** Entscheidungsmodelle zur Standortplanung der Industrieunternehmen. Wiesbaden: Gabler.
- Harris, Richard (2017):** Local statistics and place-based analysis. **In:** Richardson, Douglas; Castree, Noel; Goodchild, Michael F.; Kobayashi, Audrey; Liu, Weidong; Marston, Richard A. International Encyclopedia of Geography. People, the Earth, Environment, and Technology. Volume 8, Spa-T. Oxford: John Wiley and Sons, pp. 4100-4110.
- Heistermann, Frauke; Hompel, Michael ten; Mallée, Torsten (2017):** Digitalisierung in der Logistik – Antworten auf Fragen aus der Unternehmenspraxis. Positionspapier des BVL. Online verfügbar unter: <https://www.bvl.de/positionspapier-digitalisierung> (Stand: 12.12.2017) oder direkt unter: <https://www.bvl.de/misc/filePush.php?id=35017&name=BVL17+Positionspapier+Digitalisierung+in+der+Logistik> (letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Higgins, William (1789):** A Comparative View of the Phlogistic and Antiphlogistic Theories. Murray: London.

- Hompel, Michael ten; Rehof, Jakob; Heistermann, Frauke (2014):** Logistik und IT als Innovationstreiber für den Wirtschaftsstandort Deutschland – Die neue Führungsrolle der Logistik in der Informationstechnologie. Positionspapier des BVL. Online verfügbar unter: <https://www.bvl.de/positionspapier-it> (Stand: 12.12.2017) oder direkt unter: [https://www.bvl.de/misc/filePush.php?id=26066&name=BVL14\\_Positionspapier\\_Logistik\\_IT.pdf](https://www.bvl.de/misc/filePush.php?id=26066&name=BVL14_Positionspapier_Logistik_IT.pdf) (letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Hotelling, Harold (1929):** Stability in Competition. **In:** Economic Journal, 39 (153), 1929, pp. 41-57.
- Hill, Thomas; Lewicki, Paul (2007):** Statistics: Methods and Applications. Tulsa, OK: StatSoft.
- Hummel, Boris (1997):** Internationale Standortentscheidung. Einflussfaktoren, informatorische Fundierung und Unterstützung durch computergestützte Informationssysteme. Freiburg: Haufe Verlag.
- IBM (2008):** Strategische Netzwerkplanung. Online verfügbar unter: <https://www-935.ibm.com/services/de/gbs/supplychain/pdfs/br-netzwerkplanung.pdf> (letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Karasakal, Orhan; Karasakal, Esra K. (2004):** Maximal covering location model in the presence of partial coverage. **In:** Computers & Operations Research, 31 (9), 2004, pp. 1515-1526.
- Kesswani, Nishtha (2017):** Performance Evaluation of Shortest Path Routing Algorithms in Real Road Networks. **In:** Satapathy, Suresh Chandra; Bhateja, Vikrant; Amit, Joshi (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Data Engineering and Communication Technology. ICDECT 2016, Volume 2. Singapore: Springer, pp. 77-84.
- Kinkel, Steffan (2004):** Erfolgskritische Standortfaktoren ableiten – eine erfahrungsbasierte Auswahlhilfe. **In:** Kinkel, Steffen (Hrsg): Erfolgsfaktor Standortplanung. In- und ausländische Standorte richtig bewerten. Berlin et al.: Springer-Verlag, pp. 49-73.
- Kinkel, Steffan; Buhmann, Michael (2004):** Problemlage und Zielstellung: ein Vorgehensmodell zur strategiekonformen und dynamischen Standortbewertung. **In:** Kinkel, Steffen (Hrsg): Erfolgsfaktor Standortplanung. In- und ausländische Standorte richtig bewerten. Berlin et al.: Springer-Verlag, pp. 32-48.

- Kleene, Stephen C. (1956):** Representation of Events in Nerve Nets and Finite Automata. **In:** Shannon, Claude E.; McCarthy, John (Hrsg.): Automata Studies. Princeton University Press, 1956, pp. 3-42.
- König, Dénes (1936):** Theorie der endlichen und unendlichen Graphen. Kombinatorische Topologie der Streckenkomplexe. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft.
- Krarup, Jakob; Pruzan, Peter M. (1990):** Ingredients of Locational Analysis. **In:** Mirchandani, Pitu B.; Francis, Richard L. (Hrsg.): Discrete Location Theory. New York, NY: Wiley, pp. 1-54.
- Kreckler, Jana (2015):** Standortplanung und Geometrie. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Krystek, Ulrich; Walldorf, Erwin G. (1997):** Frühaufklärung länderspezifischer Chancen und Bedrohungen. **In:** Krystek, Ulrich; Zur, Eberhard: Internationalisierung. Eine Herausforderung für die Unternehmensführung. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kuhn, Harold W. (1973):** A note on Fermat's problem. **In:** Mathematical Programming, 4, 1973, pp. 98-107.
- Lang, Sabine (2014):** Empirische Forschungsmethoden. Skript zur Lehrveranstaltung. Online verfügbar unter: [https://www.univ-trier.de/fileadmin/fb1/prof/PAD/SP2/Allgemein/Lang\\_Skript\\_komplett.pdf](https://www.univ-trier.de/fileadmin/fb1/prof/PAD/SP2/Allgemein/Lang_Skript_komplett.pdf) (letzter Zugriff: 20.12.2017)
- Lange, Kerstin (2009):** Nachhaltige Effekte auf eine Region durch Ansiedelung produktionssynchroner Fertigungsverbünde. **In:** Haasis, Hans-Dietrich; Plögger, Marco (Hrsg.): Flexible Lagersysteme: Von der Bestandshaltung zur produktionssynchronen Versorgung. Frankfurt am Main et al.: Peter Lang, pp. 49-104.
- Leyzorek, M.; Gray, R.S.; Johnson, A.A.; Ladew, W.C.; Meaker, S.R.; Petrym R.M. Jr., Seitz, R.N (1957):** Investigation of Model Techniques. First Annual Report, 6 June 1956 - 1 July 1957. A Study of Model Techniques for Communication Systems. Cleveland, OH: Case Institute of Technology.
- LOCOM Software GmbH (2009):** Logistics Designer. Von der Supply Chain Planung bis zum Tendermanagement in einem System. Online verfügbar unter: [http://www.locom.com/wp-content/uploads/2017/02/locom\\_logisticsdesigner.pdf](http://www.locom.com/wp-content/uploads/2017/02/locom_logisticsdesigner.pdf) (letzter Zugriff: 20.12.2017).

- LOCOM Software GmbH (2014):** Standortplanung. Kosten senken und Service verbessern durch optimierte Standortwahl. Online verfügbar unter: [http://www.xcargo.de/fileadmin/user\\_upload/Hauptseite\\_Factsheets/DE/Factsheet\\_09\\_Standortplanung.pdf](http://www.xcargo.de/fileadmin/user_upload/Hauptseite_Factsheets/DE/Factsheet_09_Standortplanung.pdf) (letzter Zugriff: 20.12.2017).
- LOCOM Software GmbH (2015):** LOCOM Use Case: Standortplanung. Online verfügbar unter: [http://www.xcargo.de/fileadmin/user\\_upload/Hauptseite\\_Downloads/DE/20150427\\_Use\\_Case\\_Location\\_Planning\\_DE.pdf](http://www.xcargo.de/fileadmin/user_upload/Hauptseite_Downloads/DE/20150427_Use_Case_Location_Planning_DE.pdf) (letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Love, Robert F.; Morris, James G.; Wesolowsky, George O. (1988):** Facilities Location: Models and Methods. New York: Elsevier Science.
- Lutum+Tappert (2017):** EasyMap. Landkartengrafik, Gebiets- und Standortplanung. Online verfügbar unter: <http://www.easymap.software/> (mit Klick auf „Download Prospekt (PDF)“ oder direkt unter: <https://www.geomarketing.de/pdf/Prospekt%20EasyMapEditionen.pdf> (letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Maier, Gunther; Tödting, Franz (2006):** Regional- und Stadtökonomik 1. Standorttheorie und Raumstruktur. 4. Aktualisierte und erweiterte Auflage. Wien: Springer-Verlag.
- Mattfeld, Dirk; Vahrenkamp, Richard (2014):** Logistiknetzwerke. Modelle für Standortwahl und Tourenplanung. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Mehrez, Abraham; Stulman, Alan (1982).** The maximal covering location problem with facility placement on the entire plane. **In:** Journal of Regional Science, 22 (3), 1982, pp. 361-365.
- Meyer, Wolfgang (1960):** Die Theorie der Standortwahl: Entwicklung, Inhalt und wirtschaftstheoretische Betrachtung des Standortproblems. Berlin: Duncker und Humblot
- Miehle, William (1958):** Link Length Minimization in Networks. **In:** Operations Research, 6 (2), 1956, pp. 232-243.
- Min, Hokey; Melachrinoudis, Emanuel (1999):** The relocation of a hybrid manufacturing / distribution facility from supply chain perspectives: A case study. **In:** Omega, International Journal for Management Science, 27 (1), pp. 75-85.
- Minieka, Edward (1977):** The Centers and Medians of a Graph. **In:** Operations Research, 25 (4), 1977, pp. 641-650.



- 
- Mittelmann, Hans D. (2017):** Latest Benchmarks of Optimization Software. Vortrag beim INFORMS Annual Meeting 2017 in Houston, TX am 23. Oktober 2017. Präsentationsfolien online verfügbar unter: <http://plato.asu.edu/talks/informs2017.pdf> (letzter Zugriff: 23.12.2017).
- Mladenović, Nenad; Brimberg, Jack; Hansen, Pierre; Moreno-Pérez, José A. (2007):** The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. **In:** European Journal of Operational Research, 179 (3), 2007, pp. 927-939.
- Moore, Edward F. (1959):** The shortest path through a maze. **In:** Proceedings of the International Symposium on the Theory of Switching. Harvard University Press, 2, 1959, pp. 285-292.
- Moradi, Esmaeel; Bidkhorji, Morteza (2009):** Single Facility Location Problem. **In:** Farahani, R.Z.; Hekmatfar, M. (Hrsg.): Facility Location. Concepts, Models, Algorithms and Case Studies, Contributions to Management Science. Heidelberg: Physica-Verlag, pp. 37-68.
- Mota, Isabel (2017):** Location and multiplant firms. **In:** Richardson, Douglas; Castree, Noel; Goodchild, Michael F.; Kobayashi, Audrey; Liu, Weidong; Marston, Richard A. International Encyclopedia of Geography. People, the Earth, Environment, and Technology. Volume 8, Spa-T. Oxford: John Wiley and Sons, pp. 4115-4137.
- Nagy, Gábor; Salhi, Saïd (2007):** Location-routing: Issues, models and methods. **In:** European Journal of Operational Research, 177, 2007, pp. 649-672.
- Naimi Sadigh, Ali; Fallah, Hamed (2009):** Demand Point Aggregation Analysis for Location Models. **In:** Farahani, R.Z.; Hekmatfar, M. (Hrsg.): Facility Location. Concepts, Models, Algorithms and Case Studies, Contributions to Management Science. Heidelberg: Physica-Verlag, pp. 523-534.
- o.A. (2015):** LOCOM – Center Of Gravity. LOCOM Software Logistik-Organisation-Kommunikation. Online verfügbar unter: <https://appsource.microsoft.com/de-de/product/office/WA104369633?src=office&tab=Overview> (Stand: 20.12.2017, letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Olfert, Klaus (2003):** Investition. 9., durchges. und aktualisierte Auflage. Ludwigshafen: Kiehl.
- O’Kelly, Morton E. (1987):** A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. **In:** European Journal of Operational Research, 32, 1987, pp. 393-404.

- Philipp, Marc (2006):** Rückverlagerungen deutscher Unternehmen aus dem Ausland. Online verfügbar unter: <http://www.rueckverlagerung.de/Standortfaktorensystematiken.html> (Stand: 28.10.2006, letzter Zugriff: 07.12.2017).
- Pred, Allan Richard (1967):** Behavior and Location: Foundations for a Geographic and Dynamic Location Theory. Part 1. Lund: The Royal University of Lund.
- Prodhon, Caroline; Prins, Christian (2014):** A survey of recent research on location-routing problems. **In:** European Journal of Operational Research, 238 (1), 2014, pp. 1-17.
- Project FLO (2017):** Project FLO. Development of tools for solving (vector, set) optimization problems. Online verfügbar unter: <https://project-flo.de/> (Stand: 20.12.2017, letzter Zugriff: 20.12.2017)
- Reh, Christian (2009):** Szenarien und Optionen in Mexiko - Entscheidungsprozesse eines Automobilzulieferers. **In:** Kinkel, Steffen (Hrsg): Erfolgsfaktor Standortplanung. In- und ausländische Standorte richtig bewerten. 2. Auflage. Berlin et al.: Springer-Verlag, pp. 322-333.
- ReVelle, Charles S.; Swain, Ralph W. (1970):** Central Facilities Location. **In:** Geographical Analysis, 2, 1970, pp. 30-42.
- Richter, Ursula; Buchner, Michael (2004):** Wirkungen regionaler Kooperationen auf heimische Standortfaktoren identifizieren und bewerten. **In:** Kinkel, Steffen (Hrsg): Erfolgsfaktor Standortplanung. In- und ausländische Standorte richtig bewerten. Berlin et al.: Springer-Verlag, pp. 185-207.
- Rodrigue, Jean-Paul (2017):** Behavioral Approach to Location. Online verfügbar unter: <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch2en/conc2en/behavioralallocation.html> (Stand: 13.05. 2017, letzter Zugriff: 23.12.2017).
- Rouvray, D.H. (1988):** The pioneering contributions of Cayley and Sylvester to the mathematical description of chemical structure. **In:** Journal of Molecular Structure (Theochem), 185, 1989, pp. 1-14.
- Rosing, Kenneth E. (1992):** An optimal method for solving the (generalized) multi-Weber problem. **In:** European Journal of Operations Research, 58 (3), 1992, pp. 414-426.
- Royer, Christian (2001):** Simultane Optimierung von Produktionsstandorten, Produktionsmengen und Distributionsgebieten. München: Herbert Utz Verlag Wissenschaft.

- Rüschepöhler, Hans J. (1958):** Der Standort industrieller Unternehmungen als betriebswirtschaftliches Problem. Versuch einer betriebswirtschaftlichen Standortlehre. Berlin: Duncker und Humblot.
- Schönsleben, Paul (2007):** Integrales Logistikmanagement. Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Schrijver, Alexander (2005):** On the History of Combinatorial Optimization (Till 1960). **In:** Aardal, K. Nemhauser, G.L., Weismantel, R. (Hrsg.): Discrete Optimization. 1<sup>st</sup> Edition. Amsterdam et al.: Elsevier.
- Shimbel, Alfonso (1955):** Structure in communication nets. **In:** Proceedings of the Symposium on Information Networks. Polytechnic Press of the Polytechnic Institute of Brooklyn, New York, NY, pp. 199-203.
- Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (2014):** Deputationsvorlage für die Sitzung der Deputation für Umwelt, Bau, Verkehr, Stadtentwicklung und Energie (S) am 04.12.2014. Standortuntersuchung Fernbusterminal. Online verfügbar unter: <https://www.bauumwelt.bremen.de/deputation/detail.php?gsid=bremen213.c.24463.de&asl=bremen213.c.4694.de> (mit Klick auf „Top 12 – Standortuntersuchung Fernbusterminal“) oder direkt unter: [http://www.bauumwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/18\\_460\\_S\\_Standortuntersuchung+Fernbusterminal\\_Endf.pdf](http://www.bauumwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/18_460_S_Standortuntersuchung+Fernbusterminal_Endf.pdf) (letzter Zugriff: 01.12.2017).
- Sporkman (2008):** Facility Location Utility. Online verfügbar unter: [http://sporkforge.com/opt/facility\\_locate.php](http://sporkforge.com/opt/facility_locate.php) (Stand: 20.12.2017, letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Suhl, Leena; Mellouli, Taieb (2013):** Optimierungssysteme. Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Sylvester, James Josph (1878):** Chemistry and Algebra. **In:** Nature, 17, 1878, p. 284.
- Thielsch, Meinand T.; Weltzin, Simone (2012):** Online-Befragungen in der Praxis. **In:** Thielsch, Meinand T.; Brandenburg, Torsten (Hrsg.): Praxis der Wirtschaftspsychologie II: Themen und Fallbeispiele für Studium und Praxis. Münster: MV Wissenschaft, pp. 109-127.
- Thonemann, Ulrich (2010):** Operations Management. Konzepte, Methoden und Anwendungen. 2., aktualisierte Auflage. München: Pearson Studium.

- Thünen, Johann Heinrich von (1826):** Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie, oder Untersuchungen über den Einfluss, den die Getreidepreise, der Reichtum des Bodens und die Abgaben auf den Ackerbau ausüben. Hamburg: Penthes.
- Universität Zürich (2017):** Pearson Chi-Quadrat-Test (Kontingenzanalyse). Online verfügbar unter:  
<http://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse/zusammenhaenge/pearsonzush.html> (Stand: 30.11.2017, letzter Zugriff: 23.12.2017).
- Vahrenkamp, Richard; Kotzab, Herbert:** Logistik. Management und Strategien. 7., überarbeitete und erweiterte Auflage. München: Oldenbourg Wirtschaftsverlag.
- Warshall, Stephen (1962):** A Theorem on Boolean Matrices. **In:** Journal of the ACM, 9 (1), 1962, pp. 11-12.
- Weber, Alfred (1909):** Über den Standort der Industrien. 1. Teil: Reine Theorie des Standorts. Tübingen: Verlag von J.C.B. Mohr.
- Wesolowsky, George O. (1993):** The Weber Problem: History and Perspectives. **In:** Location Science, 1, 1993, pp. 5-23.
- Weiszfeld, Endre (1937):** Sur le point pour lequel la somme des distances de n points donnés est minimum. In: Tôhoku Mathematical Journal, 43, 1937, pp. 355-386.
- WiGeoGIS (2017):** WebGIS Software zur Standortanalyse. Intuitive Software zur Standortplanung. Online verfügbar unter:  
[https://www.wigeogis.com/de/webgis\\_software\\_zur\\_standortanalyse](https://www.wigeogis.com/de/webgis_software_zur_standortanalyse) (Stand: 20.12.2017, letzter Zugriff: 20.12.2017).
- Zarinbal, Marzie (2009):** Distance Functions in Location Problems. **In:** Farahani, R.Z.; Hekmatfar, M. (Hrsg.): Facility Location. Concepts, Models, Algorithms and Case Studies, Contributions to Management Science. Heidelberg: Physica-Verlag, pp. 5-17.
- Zangemeister, Christof (1976):** Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. 4. Auflage. München: Wittemann.

Universität Bremen  
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften  
Lehrstuhl für ABWL und Logistikmanagement  
Wilhelm-Herbst-Str. 12  
28359 Bremen

Telefon: +49 0421 218 66981  
E-Mail: [kotzab@uni-bremen.de](mailto:kotzab@uni-bremen.de)  
[www.lm.uni-bremen.de](http://www.lm.uni-bremen.de)

Als wissenschaftliches elektronisches Dokument veröffentlicht in der Staats- und  
Universitätsbibliothek Bremen und auf dem Lehrstuhlserver

Veröffentlicht: 2018