

5. Modell zur operativen Sortimentsoptimierung

Bei der operativen Sortimentsplanung ist der Gesamterfolg des Sortiments Gegenstand der Planungsaktivitäten. Da sich die im Kapitel 3 beschriebenen Bestimmungsfaktoren gegenseitig beeinflussen, führt eine isolierte Betrachtung einzelner Artikel nicht notwendigerweise zu einem Optimum für das gesamte zu untersuchende Sortiment. Neben der simultanen Beachtung der Einflussfaktoren in einem Modell, sind zusätzlich effiziente Lösungsverfahren notwendig, damit für eine bestimmte Verkaufsstelle Resultate auf Knopfdruck generiert werden können. Für den Anwender in der Praxis ist außerdem die Überprüfung der Ergebnisse in Form von einfachen Plausibilitätsprüfungen von großer Bedeutung. Aus diesem Grund müssen bereits die eingehenden Parameter leicht verständlich und vom Anwender manipulierbar sein. Modelle, die auf Basis von Kreuzelastizitäten Verbundbeziehungen abbilden, haben hier ein Defizit. Die Bildung von Assoziationsregeln besitzen neben den bereits angeführten methodischen Vorteilen vor allem die Stärke, dass die Verbundbeziehungen in Form von Regeln ausgegeben werden, die unmittelbar einleuchtend dargestellt und vom Anwender manipuliert werden können.

Die Abbildung der vielfältigen Beziehungen im Sortiment in Form von Regeln stellt ein wesentliches Merkmal des nachfolgend vorzustellenden Modells dar. Ein sogenannter Regeleditor (siehe *Krobs (1998)*, *Kugel (1998)*) dient im Rahmen eines Anwendungssystems zur Erstellung und Verwaltung der Regeln in benutzerverständlicher Form. Im Modell schließlich werden die Regeln in Form von Restriktionen abgebildet, so dass der Zielfunktionskoeffizient auf Basis einer Leistungskennzahl gebildet wird. Dabei können unterschiedliche Facinganzahlen und Regalplatzierungen modelliert werden, ohne dass gleichzeitig Verbundbeziehungen zu berücksichtigen sind.

Das Kapitel beginnt mit einem Überblick zum Lösungsverfahren der Mathematischen Optimierung und stellt dann verschiedene Regelarten vor, sowie deren Formulierung im Rahmen der mathematischen Programmierung. Schließlich wird das Mathematische Modell zur operativen Sortimentsoptimierung dargestellt und es werden darauf aufbauend weitere Modellvarianten beschrieben.

5.1. Mathematische Optimierung

Zur Lösung komplexer Entscheidungs- und Planungsprobleme ist die Mathematische Optimierung im Rahmen der Entscheidungsunterstützung von besonderer Bedeutung (vgl. *Suhl U. (2000)*, S. 11). Für die Praxis ist vor allem die Lineare und (Gemischt) Ganzzahlige Programmierung relevant, da es eine große Anzahl von Anwendungsbereichen gibt und leistungsfähige Mathematische Optimierungssysteme (MP-Systeme) in Form von Standardsoftware am Markt vorhanden sind (vgl. *Szymanski (1996)*, S. 57).

Neben der Mineralöl-, Petrochemischen und Grundstoffindustrie, die traditionelle Anwender von MP-Systemen sind, und hier vor allem bei Einkaufs-, Produktions-, Mischungs-, Lagerhaltungs- und Transportproblemen sowie bei der Exploration zum Einsatz kommen (vgl. *Suhl U. (2000)*, S. 11), entstehen auch in anderen Bereichen zunehmend weitere Anwendungen. So wurden in den letzten Jahren in Rahmen von IT-Beratungsprojekten⁵⁵ am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik der Freien Universität Berlin prototypische Systeme entwickelt. Die Aufgabenbereiche variierten dabei vom Beleuchtungsmanagement zur Bestimmung der kostenminimalen Ersatzzeitpunkte von Leuchtmitteln im Gebäudemanagement bis hin zur Optimierung der Leercontainerlogistik einer großen Linienreederei.⁵⁶ Typisch sind auch Anwendungen in der Distributionslogistik, wo Probleme der Routen-, Tourenplanung, Standortbestimmung und mehrstufige Zuordnungsprobleme gelöst werden (vgl. *Suhl U. (2000)*, S. 11). Hohe kommerzielle Bedeutung haben diverse Planungsprobleme bei Linienfluggesellschaften, bei der in der Einsatzplanung von Piloten, der Flottenzuordnung sowie der Flug- und Rotationsplanung MP-Systeme eingesetzt werden (vgl. *Suhl L. / Suhl U. (1999)*, S. 135 ff.). Auch bei der Versorgungsplanung der BRD in Krisensituationen werden agrarökonomische Entscheidungen mit Hilfe der Mathematischen Optimierung unterstützt. Weitere Einsatzbereiche sind in der Lösung komplexer Layoutprobleme bei Logikchips und Gasnetzen sowie in der Kraftwerkseinsatzoptimierung zu finden (vgl. *Suhl U. (2000)*, S. 11).

⁵⁵ Das IT-Beratungsprojekt ist eine Lehrveranstaltung des Fachs Wirtschaftsinformatik, bei dem 16 ausgewählte Studierende ca. vier Wochen ganztägig an einem Projektauftrag arbeiten, der gemeinsam mit einem Projektpartner spezifiziert wird.

⁵⁶ Eine Übersicht aller bereits durchgeführten IT-Beratungsprojekte ist verzeichnet unter: <http://www.wiwiss.fu-berlin.de/suhl/lehre/it-projekte.htm> (Abruf am 28.06.2002).

Aufgrund des Umfangs und der Komplexität praktischer Entscheidungsmodelle ist der Einsatz von Computern obligatorisch. Mit der fortschreitenden Leistungssteigerung der Hardware werden die Voraussetzungen für den Einsatz von MP-Software in betrieblichen Anwendungen verbessert. Vor allem die enormen Fortschritte im Bereich der Lösungsalgorithmen erlauben heute die Lösung immer größerer und schwierigerer Modelle (vgl. *Suhl U./Mészáros (2003)*, S. 575 f.). Die nachfolgende Tabelle 8 zeigt am Beispiel der MP-Software MOPS[®] (Mathematical Optimization System) die auf diesem Gebiet gemachten Entwicklungen in der LP-Engine anhand eines Benchmark-Modells⁵⁷.

Jahr	Version	Sekunden P IV (2.2)
1987	V1.0 product form of inverse (PFI)	112.57
1988	V1.1 LU-Update	19.76
1989	V1.2 LP-Preprocessing	6.45
1991	V1.3 new pivot row selection rule (Chuzr)	5.73
1992	V1.4 new scaling, FTRAN, Devex	4.77
1994	V2.0 refinements, LIFO-IP	4.02
1995	V2.5 refinements, general node selection for IP-models	3.08
1997	V3.0 refinements, general dual algorithms	2.98
1999	V4.0 simplex with new LP-Preprocessing	1.54
1999	V4.0 Interior Point Code with crossover	0.90
2002	V6.0 Interior Point Code with crossover, refinements	0.88

Tabelle 8: MOPS LP-Lösungszeiten

Bei der Linearen Programmierung (LP) wird eine lineare Zielfunktion unter Nebenbedingungen, die als lineare Gleichungen oder Ungleichungen formuliert werden, maximiert oder minimiert. Kennzeichen dieser Modelle ist, dass die Entscheidungsvariablen kontinuierlich sind. Gelöst werden LP-Modelle entweder mit Hilfe der Simplexmethode oder dem Inneren-Punkte-Verfahren (vgl. *Suhl U. (1994)*, S. 312).

⁵⁷ Modell Oil (5563 Restriktionen, 6181 Strukturvariablen, 39597 Koeffizienten, 74 0-1-Variablen).

Bei der Integer Programmierung (IP), bzw. der ganzzahligen oder diskreten Optimierung, können die Modelle unterteilt werden in (vgl. *Szymanski (1996)*, S. 57):

- Reine 0-1 Modelle: Nur 0-1 Variablen (Binärvariablen) existieren.
- Gemischte 0-1 Modelle: Es werden sowohl Binär- als auch kontinuierliche Variablen verwendet.
- Ganzzahlige Modelle: Neben Binärvariablen kommen auch allgemeine diskrete Variablen vor.
- Gemischt-ganzzahlige Modelle (MIP): Das Modell besteht aus kontinuierlichen, diskreten und Binärvariablen (Mixed Integer Programming).

Obwohl diese Modelle formal den LP-Modellen sehr ähneln, gehören sie doch (bis auf Ausnahmen) mathematisch zur Klasse der NP-vollständigen Probleme. Das bedeutet, dass für deren Lösung keine effizienten Algorithmen bekannt sind. Die Lösung von IP oder MIP Modellen basiert im allgemeinen auf Branch-and-Bound Algorithmen, bei denen an jedem Knoten des Baumes für das zugehörige Teilproblem dessen LP-Relaxation gelöst wird (vgl. *Suhl U. (2000)*, S. 318). Ein Teilproblem gilt als untersucht, wenn die LP-Lösung ganzzahlig, unzulässig oder der Zielfunktionswert schlechter ist, als der Zielfunktionswert der bisher besten gefundenen ganzzahligen Lösung. Die Art der Modellformulierung hat dabei einen großen Einfluss auf die Optimierungszeit und kann ausschlaggebend sein, ob das Modell überhaupt gelöst werden kann (vgl. *Suhl U./ Szymanski (1994)*, S. 4). Schwierige IP-Probleme können allerdings heute, dass hat die Erfahrung gezeigt, durch verbesserte Algorithmen und schnellere Hardware mindestens um den Faktor 100 schneller gelöst werden, als noch vor zehn Jahren (vgl. *Suhl U. (2001)*, S. 192).

Da nichtlineare Optimierungsprobleme zur Sortimentsplanung im Rahmen der theoretischen Ansätze vorgestellt wurden, soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass nichtlineare Optimierungsprobleme mathematisch anspruchsvoller und rechentechnisch aufwendiger zu lösen sind, als lineare Optimierungsprobleme. Nur wenn eine Linearisierung zu unvermeidbaren Vereinfachungen und Verlust der Realitätstreue führt, sollte auf nichtlineare Optimierungsprobleme und deren Lösungsansätze zurückgegriffen werden (vgl. *Bühning et al. (2000)*, S. 427). Zur Linearisierung gibt es eine Vielzahl von MIP-Modellierungstechniken, mit denen man fast jedes deterministische Entscheidungsproblem in ein MIP-Modell abbilden kann (vgl. *Suhl U. (2000)*, S. 13). Aufgrund

der großen Anzahl unterschiedlicher Klassen von nichtlinearen Problemen und damit unterschiedlichen Lösungsverfahren, ist eine aufwendige Voruntersuchung des Problems in Form eines Preprocessings notwendig. Vergleichbar leistungsfähige Standardsoftware wie im Bereich von LP/IP/MIP ist nicht vorhanden. Durch die Kommerzialisierung der Solversysteme wird der Fortschritt durch bessere Algorithmen und Datenstrukturen aufgrund des Wettbewerbsdruckes verstärkt. Eigenentwicklungen und Spezialalgorithmen können davon nicht profitieren.

5.2. Regelarten

In Kapitel 3 wurden zunächst die „primären“ Bestimmungsfaktoren bzw. „primären“ Einflussgrößen des Sortimentserfolges bestimmt:

- Unterschiedliche **Frontstreckenlängen**,
- **Verbundbeziehungen** zwischen Artikeln,
- unterschiedliche **Erfolgsbeiträge** hervorgerufen durch Mischkalkulation sowie
- verschiedene Möglichkeiten der **Platzierung** von Artikeln im Regal.

Obwohl der Preis ebenfalls einen Einfluss auf den Sortimentserfolg hat, wird die Preisbestimmung gemäß Kapitel 3.1 als ein eigenständiges Problem ausgegrenzt.

Gleichzeitig haben die unterschiedlichen Ansätze des Kapitels 4 gezeigt, dass weitere Faktoren modelliert werden können. Neben der Beachtung unterschiedlicher Preisstufen innerhalb eines Teilsortiments (*Pschenny / Schmalenstroer (1999)*) kann z. B. auch die Nachfrage nach einem Artikel dekomponiert werden (*Borin / Farris (1995)*), wodurch sich das Zusammenwirken des Sortiments ebenfalls erklären lässt.

Basis des nachfolgend beschriebenen Ansatzes zur operativen Sortimentsoptimierung ist ein Regelkonzept, mit dem es möglich ist, eine Vielzahl sortimentsbestimmender Faktoren abzubilden. Eine Regelart, die unter diesem Konzept subsummiert werden kann, ist bereits bekannt. Sie umfasst Assoziationsregeln, die im weiteren Verlauf auch Regeln aus der Verbundanalyse genannt werden. Im Zusammenhang mit der Theorie zur Verbundforschung bereits beschrieben (siehe Kapitel 3.4.3.3), werden sie hier noch einmal in der Bestimmung und Abgrenzung der verschiedenen Regelarten aufgegriffen. Weitere Regelarten ergeben sich aus Erkenntnissen der Marktforschung und aus sortimentspolitischen Überlegungen z. B. des Category Managements.

5.2.1 Regeln aus der Verbundanalyse

In Kapitel 3.4.3.3 wurden Assoziationsregeln als Methode zur Bestimmung von Verbundbeziehungen vorgestellt. Die aus einem KDD-Prozess gewonnenen Regeln können in das Modell zur operativen Sortimentsplanung einfließen. Die Bestimmung des Mindestniveaus für Support und Confidence, sowie Lift und Conviction bleibt dem Anwender überlassen. Abbildung 25 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt gewonnener Verbundregeln einer Anwendung.

Artikel_Nr.1	Artikel_Nr.2	Artikel_Nr.3	Artikel_Nr.4
8145047		8145021	
5966056		5966106	
8757106		8760621	
8030645		8030629	
8069130		8069114	5893157
5894134		5893151	
7861057		7861123	
1105162		1101153	4528278
1605609		8760522	
8003824		8003832	
626010		626002	
581702		392506	
8642159		8145120	4545454
9793308		9793407	9793209
626002	620153	611350	
50005	9793506	9793407	
50005	9793308	9793407	
8030645	8030611	8030629	
8030645	8030637	8030629	
8003774	8003766	8003782	
8145112	8145070	8145096	
8145070	8145039	8145088	
9793308	976472	9793407	
9793506	8680045	9793209	
9793209	8680045	9793407	
9793506	8680045	9793407	9793209
8680573	8145112	8145096	
9793308	8145096	9793407	
8145088	8145047	8145021	
5171400	5171103	5171509	
9793308	8680045	9793407	
9793209	8070146	9793407	
8003824	8003816	8003832	
8003824	8003808	8003832	
8145070	8145047	8145021	
8145096	8145047	8145021	
5141403	5141304	5141502	
9793209	830000	9793407	
50013	9793100	9793407	

Abbildung 25: Beispiele von Assoziationsregeln

Quelle: Krobs (1998), S. 80

Die anhand der Interessantheitsmaße gewonnenen Regeln werden in der Form interpretiert, dass die Platzierung ein oder mehrerer Artikel zur Folge hat, dass ein oder mehrere andere Artikel ebenfalls im Sortiment enthalten sein müssen. Bei asymmetrischen Verbundbeziehungen sollte bei einer Platzierung des Artikels i auch Artikel j platziert werden. Artikel j verkauft sich umgekehrt auch ohne Artikel i . Bei symmetrischen Verbundbeziehungen existiert zusätzlich eine gleichlautende Regel, die von Artikel j aus-

geht und die Platzierung des Artikels i nach sich zieht. Da Assoziationsregeln Artikel-mengen betrachten, können gleichfalls Regeln entstehen, die sich auf eine Menge von Artikel beziehen, so das eine Anzahl von Artikel die Platzierung einer weiteren Anzahl von Artikeln vorschreibt.

5.2.2 Regeln aus der Marktforschung

Mit der Verknüpfung von Leistungsdaten mit Daten der Marktforschung, welche relevante soziodemographische und sozioökonomische Informationen aus dem Einzugsgebiet einer Verkaufsstelle liefern, sind zusätzliche Potentiale für die bedarfsgerechte Gestaltung von Sortimenten gegeben. Eine Möglichkeit der Informationsauswertung besteht darin, anhand von Merkmalen des Verkaufsstellenumfeldes Wahrscheinlichkeiten für den Abverkauf von Artikeln zu bestimmen. Durch Anpassung des Sortimentsangebots an die konkreten Bedürfnisse des Kunden vor Ort ergeben sich Profilierungschancen, die sich in Kundenloyalität mit profitablen Preisen auswirken (vgl. *Beck (1996)*, S. 73).

Bei Nutzung feinräumiger Konsumentendaten ist das Phänomen der sozialen Segregation bekannt. Hierbei handelt es sich um die Annahme, dass Menschen, die in der unmittelbaren Nachbarschaft wohnen, einen annähernd gleichen Sozialstatus besitzen und einen ähnlichen Lebensstil führen (vgl. *Beck (1996)*, S. 74, *Tomczak / Brockdorff (2000)*, S. 31). Die resultierende typische Nachfrage eröffnet die Möglichkeit einer mikrogeographischen Segmentierung und damit einer genauen Quantifizierung des Potentials im Umkreis einer Verkaufsstätte (vgl. *Beck (1996)*, S. 74). Leistungen können also dort bereit gestellt werden, wo sie auf die größte Nachfrage treffen (vgl. *Beck (1996)*, S. 73).

Als Standortkriterien kommen allgemeine Kennzahlen wie Bevölkerungsdichte, Kaufkraft oder Anzahl Schulen zur Anwendung, die durch Kriterien zur Konkurrenzsituation und zur Marktattraktivität ergänzt werden. Letztere sind charakterisiert durch z. B. die Anzahl vergleichbarer Vertriebstypen innerhalb einer Postleitzahlenregion sowie die Anzahl von Fachhändlern des betrachteten Teilsortiments. Die Anzahl Kassen oder die Verkaufsfläche im Standortumfeld können ebenfalls einbezogen werden.

Zur Gewinnung handelsrelevanter Informationen werden die intern aus dem Data Warehouse stammenden Abverkaufsdaten um diese externen, von Marktforschungsunternehmen ermittelten Daten ergänzt (vgl. *Freese (2001)*, S. 80). Mit Hilfe entsprechender Softwaresysteme zur Datenanalyse können standortspezifische Sortimentsregeln ermit-

telt werden, die dann im Rahmen der operativen Sortimentsoptimierung Beachtung finden (siehe ausführlich *Freese (2001)*, S. 80).

Wenn	Die Artikelanzahl im PBS-Bereich leicht bis überdurchschnittlich hoch ist (Klassen 1 und 2)
Und	die Anzahl ausländischer Haushalte leicht bis überdurchschnittlich hoch ist (Klassen 1 und 2)
Und	die Anzahl der PBS-Einzelhandelsgeschäfte zu den Klassen h bis f gehören
Und	die Einzelhandelskaufkraft der Einwohner stark unterdurchschnittlich klein ist (Klasse 4)
Dann	ist der Absatz des Artikels 872xxx mit einer Wahrscheinlichkeit von 86,98 Prozent überdurchschnittlich hoch.

Abbildung 26: Beispiel einer Einflussgrößenregel

Quelle: *Steinicke (1998b)*

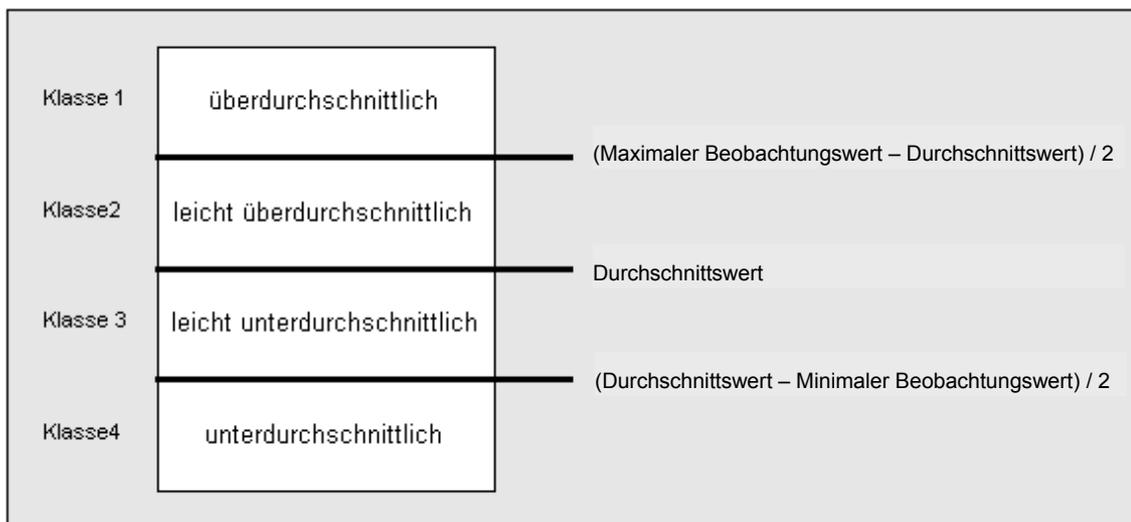


Abbildung 27: Klassifikationsschema aus einer praktischen Anwendung

Quelle: *Steinicke (1998b)*

Abbildung 26 zeigt eine durch den Analyseprozess gewonnene Regel eines Anwendungsfalles bei der *Herlitz PBS AG*, die auf dem Klassifikationsschema gemäß Abbildung 27 beruht. Die Berücksichtigung derartiger Regeln bei der Sortimentsoptimierung erfolgt unter Berechnung einer revidierten Leistungskennzahl. Für die Regel aus Abbildung 26 ergibt sich am Beispiel des Artikelrohertrages die folgende Berechnung: Der wahrscheinlicher Rohertrag ergibt sich aus der Multiplikation des Repräsen-

tanzwertes für den überdurchschnittlichen Rohertrag und der ermittelten Wahrscheinlichkeit. Vor der Anwendung ist zuvor zu kontrollieren, ob der betrachtete Artikel bereits im Sortiment der Verkaufsstelle vorhanden ist. In diesem Fall ist zu prüfen, ob dem künstlich ermittelten Wert Vorrang vor dem tatsächlichen Beobachtungswert gegeben wird, der schließlich den bisherigen tatsächlichen Verkaufserfolg widerspiegelt. Abweichungen können sich vor allem aufgrund unterschiedlicher Ausprägungen der in Kapitel 3 beschriebenen Bestimmungsfaktoren ergeben. War der Abverkaufserfolg in der Vergangenheit geringer, kann es z. B. an einer unvorteilhaften Platzierung des Artikels im Regal liegen. Bei großen Abweichungen zwischen wahrscheinlichem und tatsächlichem Wert ist eine genauere Analyse notwendig.

Schwierig ist die Beurteilung des möglichen Verkaufserfolgs bei Artikeln, die bisher nicht im Sortiment einer Verkaufsstelle geführt werden. Ein Ziel der operativen Sortimentsoptimierung ist die Ausrichtung des Sortiments an die standortspezifischen Gegebenheiten und damit nicht, bestehende Sortimente zu zementieren. Für die Berücksichtigung möglicher Artikel-Kandidaten einer Verkaufsstelle ist eine Analyse des Umfeldes unumgänglich. Durch die Auswertung, unter zur Hilfenahme standortspezifische Erfolgsfaktoren für einzelne Artikel, lassen sich genauere Aussagen über erreichbare Abverkaufserfolge von Artikeln machen, als mit herkömmlichen Prognoseverfahren.

5.2.3 Regeln zur Sortimentsführung

Regeln zur Sortimentsführung ergeben sich unter anderem aus dem Category Management-Prozess. In dessen Verlauf werden den Categories Rollen zugeordnet, die sich an der Bedeutung der Category im Gesamtsortiment orientieren. Bei den einzelnen Category-Rollen kommen bestimmte Category-Strategien bevorzugte zum Einsatz, die den einzelnen Artikeln zugeordnet werden (siehe ausführlich Kapitel 2.1.1). Fasst man Artikel mit gleicher Strategie als Menge bzw. Artikelgruppe einer Strategie auf, lassen sich Teilmengen aus den Artikeln einer Category bilden, die nicht disjunkt sein müssen. Mehrere Strategien können dementsprechend einem Artikel zugeordnet werden:

$$I_{TransactionBuilding} \subseteq I_{Category}, I_{TrafficBuilding} \subseteq I_{Category}, I_{ProfitGenerating} \subseteq I_{Category}, I_{TurfDefending}, \\ I_{ExitementCreating} \subseteq I_{Category}, I_{ImageEnhancing} \subseteq I_{Category},$$

$$I_{Category} = \text{Menge aller Artikel einer Category}$$

Schließlich bestimmen die taktischen Maßnahmen die Umsetzung der Strategien, für die in der operativen Sortimentsoptimierung folgende Möglichkeiten bestehen:

- **Regalpräsentation:** Den Artikeln einer Strategie werden Vorgaben zur Platzierung auf bestimmten Regalböden gemacht. Welche Artikel einer Strategie wo im Regal platziert werden, hängt dabei im wesentlichen von den Category-Zielen ab, die die Category erreichen soll.
- **Mischung von Strategien** innerhalb des Regals: Anteilsmäßige Vorgaben für die Platzierung von Artikeln einer Strategie im Regal. Die Anteile können sich z. B. auf die Gesamtkontaktstrecke des Regals beziehen oder auf eine bestimmte mengenmäßige Anzahl von Artikeln einer Strategie, die im Regal vorhanden sein soll. Mit Hilfe der Regalaufteilung sollen ebenfalls die Category-Ziele bestmöglich unterstützt werden.

Zusätzliche Sortimentsregeln ergeben sich aus der Anforderung, das Sortiment nach unterschiedlichen Bewertungskriterien zusammen zu stellen; eine Idee, die im Kapitel 4.2 bei dem Ansatz von *Coca-Cola Deutschland* zum Ausdruck kommt. Da bei der operativen Sortimentsoptimierung die gewählte Leistungskennzahl das Bewertungskriterium ist, ist davon unabhängig die Möglichkeit gegeben, bestimmten Artikeln einen Regalplatz zu reservieren. Bei Massenartikeln mit besonders hohen Abverkaufszahlen (Traffic Builder) kann vorab eine bestimmte Regalbelegung vorgenommen werden. Das gleiche gilt für Artikel, die Verbundbeziehungen zu vielen anderen Artikeln haben (Transaction Builder), neuen Artikeln bzw. Wachstums- oder Potentialartikel (Exitement Creating).

Weitere Regeln ergaben sich aus einer Primäruntersuchung bei der *Herlitz PBS AG* (siehe *Krobs (1998)*, *Kugel (1998)*). Dabei wurde untersucht, welche Anforderungen bei der Zusammensetzung des Sortimentes einer Verkaufsstelle von Hersteller und Handel gestellt werden. Ziel war es, auch implizit angewendete Sortimentsregeln zu ermitteln, um sie im Verfahren der Sortimentsbestimmung berücksichtigen zu können.

Unterschieden wird zwischen regelauslösenden Bedingungen und resultierenden Folgen. Als regelauslösende Aspekte gelten z. B. Merkmale von Verkaufsstellen, die sich auf eine bestimmte Verkaufstellenzugehörigkeit oder Verkaufstelleneigenschaft beziehen. Ebenfalls ist das Platzieren einzelner Artikel oder deren Zugehörigkeit zu einer Artikelgruppe Auslöser für eine Regelfolge. Als Folge einer Sortimentsregel ergeben sich

Platzierungsanforderungen für einzelne oder mehrere Artikel, sowie Veränderungen der Leistungskennzahl von Artikeln. Tabelle 9 fasst die formulierten Sortimentsanforderungen zusammen (siehe *Kugel (1998)*, S. 33 – 38).

Wenn die betrachtete Verkaufsstelle die Eigenschaften E_I hat,	dann muss der Artikel i_I platziert werden.
	dann erhöht sich der Absatz des Artikels i_I um x Stück
	dann verkauft sich der Artikel i_I mit p -prozentiger Wahrscheinlichkeit überdurchschnittlich.
	dann müssen mindestens p_u und maximal p_o Prozent aus der Artikelgruppe I_I platziert werden.
Wenn Artikel i_1 und i_2 gemeinsam platziert werden,	dann erhöht sich die Gesamtleistung der Artikel um den Faktor d .
	Dann darf Artikel i_3 nicht platziert werden.
Wenn Artikel i_1 platziert wird,	dann muss Artikel i_2 ebenfalls platziert werden.
	dann darf Artikel i_2 nicht platziert werden.
Wenn Artikel i_I x -fach platziert wird,	dann multipliziert sich der Rohertrag des Artikels um den Faktor d .
Wenn Artikel der Artikelgruppe I_I platziert werden,	dann müssen mindestens u und maximal o Artikel aus I_I platziert werden.
Artikel der Artikelgruppe I_1 und Artikelgruppe I_2 dürfen nicht gemeinsam platziert werden.	
Artikel i_I muss platziert werden.	
Artikel i_I darf nicht platziert werden.	

Tabelle 9: Weitere Sortimentsregeln

Neben den in Kapitel 5.2.1 genannten soziodemographischen bzw. sozioökonomischen Eigenschaften im Umfeld einer Verkaufsstelle können weitere Verkaufsstelleneigenschaften definiert werden. So kann z. B. die Größe der Verkaufsstelle oder des Regals Einfluss auf die Platzierung von Artikeln nehmen.

5.2.4 Zusammenfassung

Die Faktoren, die das Sortiment einer Verkaufsstelle bestimmen und in der operativen Sortimentsoptimierung zur Anwendung kommen sollen, sind nun weiter ergänzt worden. Neben den in Kapitel 3 beschriebenen Bestimmungsfaktoren werden zusätzlich Sortimentsregeln beachtet (siehe Abbildung 28).

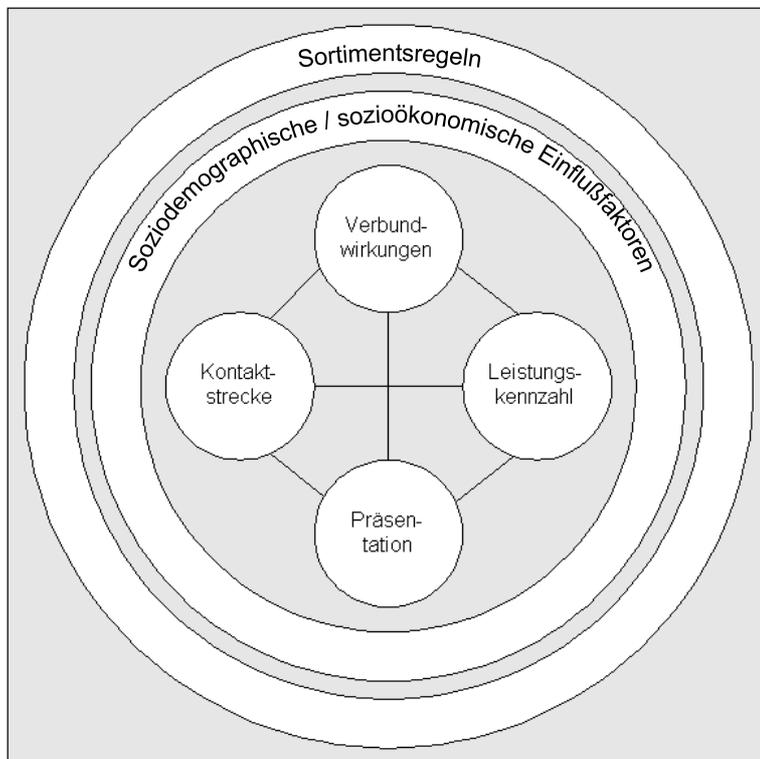


Abbildung 28: Bestimmungsfaktoren und Regeln

Dabei ergeben sich Regeln für die Zusammenstellung des Sortiments aus den Anforderungen unterschiedlicher Gruppen (Hersteller, Handel, Konsument). Regeln können zudem von allgemeiner Bedeutung sein, oder nur für bestimmte Verkaufsstellen zur Anwendung kommen. Bei Regeln, die sich aus der Marktforschung ergeben (siehe Kapitel 5.2.2), ist das Umfeld einer Verkaufsstelle entscheidend. Gewonnene Regeln können für mehrere Verkaufsstellen zur Anwendung kommen, wenn sich das Umfeld in den ermittelten Kriterien gleicht. Auch die Verbundanalyse kann auf unterschiedlichen Ebenen durchgeführt werden. Sind alle Verkaufsstellen in einem Analysedurchgang einbezogen,

werden allgemeingültige Regeln generiert. Je nach Größe der Datenbasis (Verkaufsstellen) können auch spezielle Verbundregeln ermittelt werden, bis hin zu verkaufsstellen-spezifischen Verbundregeln.

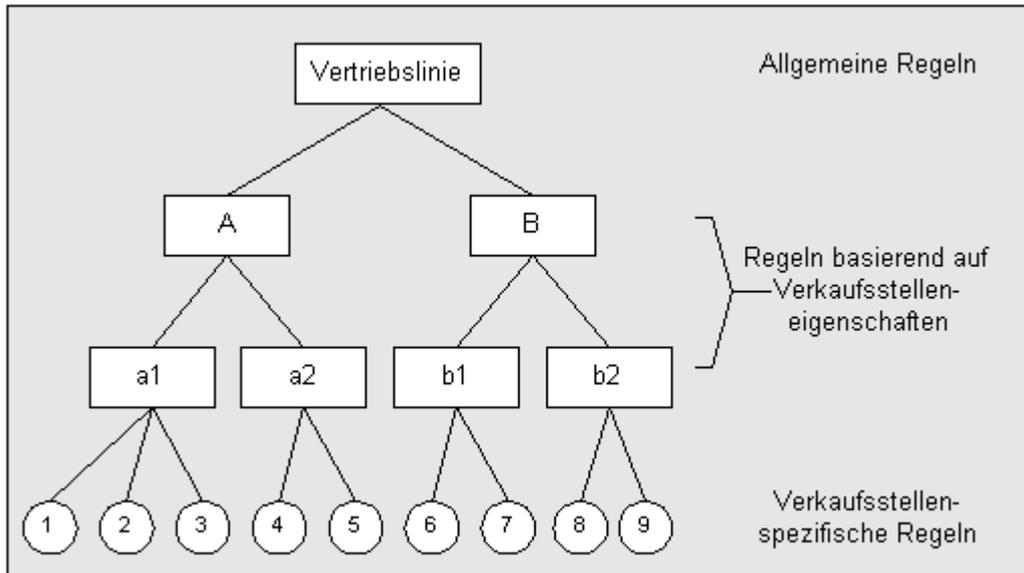


Abbildung 29: Regelebenen

Die Regeln zur Sortimentssteuerung dienen dazu, das Sortiment gezielt weiter zu entwickeln. In dieser Form ist die Einarbeitung von Zielvorgaben bei der Sortimentsbestimmung möglich. Die Regeln können auf unternehmensweiter Ebene bis hinunter zum einzelnen Standort bestimmt werden (siehe Abbildung 29).

Zur Verwaltung der unterschiedlichen Ebenen sowie zur Formulierung von Sortimentssteuerungsregeln ist ein Regeleditor notwendig, der eine Softwarekomponente im Rahmen des Gesamtsystems zur operativen Sortimentsoptimierung darstellt (siehe Krobs (1998), Kugel (1998)).

5.3. Regelformulierung

Nachdem im vorherigen Kapitel verschiedene Arten von Sortimentsregeln bestimmt wurden, wird in diesem Kapitel eine formale Systematisierung vorgenommen. Ausgangspunkt der Regelformulierung ist die Abbildung der Ursache-Wirkungs-Beziehungen in eine Wenn-Dann-Logik. Regeln im Sinne der Sortimentsoptimierung stellen in der überwiegenden Anzahl Wenn-Dann Aussagen dar, die im Wenn-Teil Bedingungen enthalten, die einen Einfluss auf den Artikelauswahlprozess haben, der in Form einer Folge ausgedrückt wird. Eine Regel setzt sich damit immer aus ein oder mehreren Bedingungen und genau einer Folge zusammen. Besitzt eine Regel mehrere Bedingungen, so sind sie mit einem logischen *und* verknüpft.

Beispiele:

a.) Regel aus einer Bedingung und einer Folge:

Wenn Artikel A mindestens einmal platziert wird, (Bedingung)

dann muss auch Artikel B mindestens einmal platziert (Folge)

werden.

b.) Regel aus zwei Bedingungen und einer Folge:

Wenn Artikel A mindestens einmal platziert wird (Bedingung 1)

und die Verkaufsstelle die Verkaufsstellennummer 3451 hat, (Bedingung 2)

dann darf Artikel B nicht platziert werden. (Folge)

Die Bedingungen und Folgen können hinsichtlich ihrer inhaltlichen Aussage in Typen kategorisiert werden, wobei fünf Bedingungs- und fünf Folgetypen unterschieden werden. Es gilt die folgende Notation: $x, y \in \mathbb{N}$; $0 \leq p \leq 100$, $d \in \mathbb{R}^+$; $\alpha, \beta \in (0, 100)$.

5.3.1 Bedingungstypen

Es werden die folgenden fünf Bedingungstypen definiert:

B1: Artikelauswahl

„Wenn ein Artikel A mindestens x -fach und maximal y -fach ($x \leq y$) platziert wird, ...“.

Dieser Bedingungstyp wird verwendet, wenn die Platzierung eines Artikels in einer bestimmte Facinganzahl eine Regel auslöst. Beispielsweise könnte ein Doppelfacing des Artikels A ein Doppelfacing des Artikels B implizieren.

B2: Artikelzugehörigkeit

„Wenn mindestens x Artikel aus der Artikelgruppe G platziert werden, ...“.

Bei diesem Bedingungstyp ist zur Auslösung der Regel die Platzierung einer Anzahl Artikel einer Artikelgruppe erforderlich. Die Definition der Artikelgruppe G wird vom Regelautor vorgenommen. Aus akquisitorischen Gesichtspunkten kann es z. B. erforderlich sein, dass die Platzierung einer bestimmter Anzahl von Artikeln einer Artikelgruppe ebenfalls die Platzierung einer bestimmte Anzahl anderer Artikel notwendig macht.

B3: Verkaufsstellenidentifikation

„Wenn eine Verkaufsstelle die VKS-Nr. z hat,“.

Dieser Bedingungstyp dient dazu, verkaufstellenspezifische Regeln zu formulieren. So ist es denkbar, dass auf speziellem Wunsch von Stammkunden ein bestimmter Artikel im Sortiment enthalten sein soll, der aufgrund seiner Leistungsdaten ansonsten nicht platziert werden würde (Kompetenzartikel). Bei regelmäßiger Durchführung der operativen Sortimentsoptimierung in kürzeren Zeitintervallen ist die Konservierung und Beachtung derartiger Regeln von hoher Bedeutung.⁵⁸

⁵⁸ Bei den meisten großen Einzelhändlern wird ein überproportional großer Umsatzanteil von einem kleinen Anteil der Kundschaft gemacht. So beobachtete bereits *Pareto*, dass im allgemeinen 80 Prozent der Verkäufe von 20 Prozent der Kunden getätigt wird (vgl. *Sanghavi (1988)*, S. 16).

B4: Verkaufsstellenzugehörigkeit

„Wenn eine Verkaufsstelle zur Verkaufsstellengruppe V gehört, ...“.

Dieser Bedingungstyp ermöglicht die Formulierung von Regeln für eine ausgewählte Anzahl von Verkaufsstellen. In Handelskonzernen mit mehreren Vertriebslinien ist es z. B. möglich, unterschiedlichen Vorgaben für die Sortimentsbreite oder -tiefe zu fixieren. In diesem Fall würden Verkaufsstellengruppen aus den Verkaufsstellen der Vertriebslinien gebildet werden.

B5: Verkaufstelleneigenschaft

„Wenn eine Verkaufsstelle die Eigenschaft E mit der Ausprägung e_l hat, ...“.

Dieser Bedingungstyp ermöglicht die Beachtung lokaler Gegebenheiten, die z. B. im Rahmen eines Mikromarketingansatzes bestimmt werden. Die Eigenschaften und möglichen Ausprägungen sind zuvor festzulegen. So könnte eine Eigenschaft „Durchschnittliche Ausgaben für Tiernahrung“ lauten und eine Ausprägung gemäß eines festgelegten Klassifizierungsschemas angegeben sein. Entspricht der durchschnittliche Ausgabenbetrag im Einzugsbereich einer betrachteten Verkaufsstelle der Ausprägung des Klassifizierungsschemas, können sortimentspolitische Anforderungen als Folge formuliert werden.⁵⁹

5.3.2 Folgetypen

Des Weiteren werden die nachfolgenden fünf Folgetypen festgelegt:

F1: Artikelauswahl

„... muss Artikel A mindestens x -fach und maximal y -fach ($x \leq y$) platziert werden“.

Mit Hilfe dieses Folgentyps wird eine Minimal- bzw. Maximalanzahl von Facings eines Artikels festgelegt.

⁵⁹ Beispiel: Es werden zwei Klassen für die Eigenschaft "Durchschnittliche Ausgabe für Tiernahrung" gebildet:
Klasse A : Durchschnittlicher Ausgabenbetrag $> 50,-$ pro Periode.
Klasse B : Durchschnittlicher Ausgabenbetrag $\leq 50,-$ pro Periode.
Sollen für die Klassen unterschiedliche sortimentspolitische Maßnahmen folgen, ist für jede Klasse eine separate Regel zu formulieren.

F2: Artikelanzahl

„... müssen mindestens x und maximal y Artikel ($x \leq y \leq |G|$) aus der Artikelgruppe G platziert werden“.

Aus einer Artikelgruppe G muss eine Anzahl von Artikel im Platzierungsvorschlag enthalten sein. Dabei wird neben einer Mindestanzahl auch eine Maximalanzahl unterschiedlicher zu platzierender Artikel angegeben.

F3: Verkaufswahrscheinlichkeit

„... verkauft sich Artikel A mit p -prozentiger Wahrscheinlichkeit überdurchschnittlich“.

Dieser Folgetyp dient zur Operationalisierung von Regeln, die in Verknüpfung von Marktforschungsdaten ermittelt werden und bestimmte Wahrscheinlichkeiten auf Artikelebene liefern (siehe Kapitel 5.2.2). Der Wert p gibt dabei eine Wahrscheinlichkeit in Prozent an (0 bis 100 Prozent).

F4: Leistungsänderung

„... verändert sich die Sortimentsleistung um den Faktor d “.

Leistungsänderungen können sich u. a. durch die gemeinsame Platzierung von Artikeln ergeben. Stehen Artikel z. B. in einem substitutiven Verhältnis zueinander, können u. U. die ermittelten Artikeleinzeleistungen sich im Verbund nicht realisieren, so dass d den Abschlagsfaktor enthält, der von den summierten Artikeleinzeleistungen abzuziehen ist. Es können aber auch positive Einwirkungen auf den Abverkaufserfolg eines des Sortiments berücksichtigt werden, so dass dieser Folgetyp dazu dient, entsprechende Ab- bzw. Aufschläge zu formulieren.

F5: Sortimentsaufteilung**anteilig**

„... muss die Artikelgruppe G mindesten α Prozent und maximal β Prozent ($\alpha \leq \beta$) des Gesamtsortiments ausmachen“.

absolut

"... müssen mindestens x und maximal y Artikel ($x \leq y$) der Artikelgruppe G platziert werden".

Die Aufteilung des Sortiments nach Artikelgruppen kann sich an der absoluten Anzahl zu platzierender Artikel orientieren, oder an einem Anteil der zur Verfügung stehenden Kontaktstrecke. Zur Aufteilung sind jeweils Ober- und Untergrenzen anzugeben.

5.3.3 Regeltypen

Regeltypen entstehen durch die Kombination von ein oder mehreren Bedingungstypen und einem Folgetyp, wobei nur bestimmte Verknüpfungen von Bedingungs- und Folgetypen zur Abbildung der beschriebenen Regalarten herzuleiten sind. Es werden folgende Kombinationen bestimmt, welche sich in die angegebenen Regeltypen klassifizieren lassen:

R1: Kompetenz-/Ausschlussregeln

In diesem Regeltyp sind Regeln zusammengefasst, die als Folge eine Artikelauswahl bedingen: „... dann muss Artikel A mindestens x -mal und maximal y -mal platziert werden“.

Als Bedingungstypen kommen zur Anwendung und können *nicht* kombiniert werden:

- **B3:** Verkaufsstellenidentifikation
Beispiel: „Handelt es sich um die Verkaufsstelle z , dann...“.
- **B4:** Verkaufsstellenzugehörigkeit
Beispiel: „Wenn die betrachtete Verkaufsstelle zur Verkaufsstellengruppe V gehört, dann...“.

R2: Artikelverbundregeln

In diesem Regeltyp sind Regeln zusammengefasst, die wie in R1 als Folge eine Artikelauswahl bedingen: „... dann muss Artikel A mindestens x -mal und maximal y -mal platziert werden“. Allerdings werden hier andere Bedingungstypen verwendet. Voraussetzung für eine Artikelverbundregel ist, dass im Bedingungsteil **entweder mindestens eine** Bedingung vom Typ **B1** Artikelauswahl gewählt wird, **oder genau eine** Bedingung vom Typ **B2** Artikelzugehörigkeit. Eine Kombination mit den Bedingungstypen Verkaufsstellenidentifikation und Verkaufsstellenzugehörigkeit ist zusätzlich möglich.

Kombinationsmöglichkeiten:

- **B1** Artikelauswahl und **B3** Verkaufsstellenidentifikation.
Beispiele: „Wenn der Artikel B in der Verkaufsstelle z platziert wird,
dann ...“,
„Wenn der Artikel B und C in der Verkaufsstelle z platziert wird,
dann ...“.
- **B1** Artikelauswahl und **B4** Verkaufsstellenzugehörigkeit.
Beispiel: „Wenn der Artikel B platziert wird und die betrachtete Verkaufsstelle zur Verkaufsstellengruppe V gehört, dann...“.
- **B2** Artikelzugehörigkeit und **B3** Verkaufsstellenidentifikation.
Beispiel: „Wenn mindestens drei Artikel aus der Artikelgruppe G in der Verkaufsstelle 3451 platziert werden, dann...“.
- **B2** Artikelzugehörigkeit und **B4** Verkaufsstellenzugehörigkeit.
Beispiel: „Wenn mindestens drei Artikel aus der Artikelgruppe G platziert werden und die betrachtete Verkaufsstelle zur Verkaufsstellengruppe V gehört, dann...“.

Auch folgende Regeln sind zulässig und haben einen allgemeinen Gültigkeitsbereich:

- **B1** Artikelauswahl.
Beispiel: „Wenn der Artikel B und C platziert wird, dann...“.
- **B2** Artikelzugehörigkeit.
Beispiel: „Wenn mindestens drei Artikel aus der Artikelgruppe G platziert werden, dann...“.

Es existieren des weiteren **spezielle Artikelverbundregeln**, die nicht ohne weiteres in das Wenn-Dann-Schema eingeordnet werden können.

- „Die Artikel A und B dürfen nicht zusammen platziert werden“ (es kann auch weder A noch B platziert werden).
- „Wenn nicht Artikel A platziert wird, muss Artikel B platziert werden“ (mit A kann auch B platziert werden bzw. einer von beiden muss platziert werden).

Daher werden neben dem „Wenn Dann“-Regeloperator zusätzlich die Operatoren „Nicht Zusammen“ und „Wenn nicht - Dann“ eingeführt. Diese beiden zusätzlichen Operatoren kommen allerdings nur im Falle der Artikelverbundregeln zur Anwendung.

R3: MiniMax-Regeln

In diesem Regeltyp sind Regeln zusammengefasst, die als Folge eine Angabe über eine Mindest- und Maximalplatzierung von Artikeln einer Artikelgruppe bestimmen: „... dann müssen mindestens x und maximal y Artikel aus der Artikelgruppe G platziert werden“.

Es können alle Bedingungstypen verwendet werden, wobei auch Kombinationen aus verschiedenen Bedingungstypen möglich sind. Zudem ist die Anzahl der Bedingungen des Bedingungstyps **B1** Artikelauswahl und **B5** Verkaufsstelleneigenschaft beliebig.

- **B1** Artikelauswahl und **B3** Verkaufsstellenidentifikation

Beispiel: „Wenn Artikel A und Artikel B in der Verkaufsstelle 3451 platziert wird, dann...“.

- **B1** Artikelauswahl und **B4** Verkaufsstellenzugehörigkeit

Beispiel: „Wenn Artikel A und Artikel B platziert wird und die betrachtete Verkaufsstelle zur Verkaufsstellengruppe V gehört, dann...“.

- **B2** Artikelzugehörigkeit und **B3** Verkaufsstellenidentifikation

Beispiel: „Wenn mindestens drei Artikel aus der Artikelgruppe G in der Verkaufsstelle 3451 platziert werden, dann...“.

- **B2** Artikelzugehörigkeit und **B4** Verkaufsstellenzugehörigkeit

Beispiel: „Wenn mindestens drei Artikel aus der Artikelgruppe G platziert werden und die betrachtete Verkaufsstelle zur Verkaufsstellengruppe V gehört, dann...“.

R4: Leistungsänderungsregeln

Dieser Regeltyp enthält Regeln, bei denen für ausgewählte Artikel eine Veränderung der Gesamtleistung erfolgen soll. Als Bedingungstyp kommt immer **B1** Artikelauswahl zur Anwendung

Beispiel: „Wenn Artikel A mindestens x -mal und maximal y -mal und Artikel B mindestens x -mal und maximal y -mal platziert wird, dann verändert sich die Gesamtleistung der Artikel um dem Faktor d^c .“

Zusätzlich kann die Regel mit den Bedingungstypen **B3** Verkaufsstellenidentifikation oder **B4** Verkaufsstellenzugehörigkeit kombiniert werden, allerdings können diese beiden Bedingungstypen wiederum nicht in einer Regeln gemeinsam angewandt werden. Die Regelanwendung kann damit z. B auf eine bestimmte Gruppe von Verkaufsstellen beschränkt werden. Beliebiger ist zudem die Kombination mit **B5** Verkaufsstelleneigenschaften.

R5: Sortimentsaufteilungs-Regeln

Mit diesem Regeltyp kann die Aufteilung des Regalsortiments beeinflusst werden: „... dann muss der Anteil der Artikelgruppe G mindestens α und maximal β Prozent betragen“.

Die Bedingungstypen **B3** Verkaufsstellenidentifikation und **B4** Verkaufsstellenzugehörigkeit kommen zur Anwendung, dürfen jedoch nicht kombiniert werden.

Beispiel: „Wenn die Verkaufsstelle die VKS-Nr. 3451 hat, dann muss der Anteil der Artikelgruppe G mindestens 10 und maximal 15 Prozent betragen“.

R6: Einflussgrößen-Regeln

Dieser Regeltyp wird hauptsächlich über einen Data Mining-Prozess erzeugt. Der Aufbau der Regel ist dann immer durch ein oder mehrere Bedingungen vom Bedingungstyp **B5** Verkaufsstelleneigenschaft und einer Folge vom Folgentyp **F3** Verkaufswahrscheinlichkeit gekennzeichnet.

Beispiel: „Wenn die Verkaufsstelle die Eigenschaft E mit der Ausprägung ε und die Eigenschaft B mit der Ausprägung δ hat, dann verkauft sich der Artikel C mit einer Wahrscheinlichkeit von β überdurchschnittlich“.

Die Tabelle 10 gibt einen Überblick über die zulässigen Verknüpfungen von Bedingungs- und Folgetypen in Form einer begrenzten Entscheidungstabelle (vgl. *Mayhak (1975)*, S. 56 f., *Erbesdobler et al. (1976)*, S. 12) aus denen die entsprechenden Regeltypen resultieren. Zwingende Bedingungs- und Folgekombinationen sind durch „J“ oder „N“ angeben, wobei „J“ bedeutet, dass der Bedingungstyp der Zeile gewählt werden muss, bzw. bei „N“ nicht gewählt werden darf. Leere Zellen bedeuten, dass der Bedingungstyp gewählt werden kann, aber nicht gewählt werden muss. Die Auswahl oder Nichtauswahl hat also keinen Einfluss auf den Regeltyp. Im Bedingungstextteil ist in Klammern angegeben, wie häufig dieser Bedingungstyp in einer Regel auftreten kann (1 = genau einmal, * = beliebig oft).

		Folgetypen													
		Artikelauswahl	Artikelauswahl	Artikelauswahl	Artikelauswahl	Artikelhierarchie	Artikelhierarchie	Artikelhierarchie	Leistungs- änderung	Leistungs- änderung	Sortiments- aufteilung	Sortiments- aufteilung	Einflussgröße	Einflussgröße	Einflussgröße
Bedingungstypen	Artikelauswahl (*)	N	N	J	N	J	N	N	J	J	N	N	J	N	N
	Artikelzugehörigkeit (1)	N	N	N	J	N	J	N	N	N	N	N	N	J	N
	Verkaufsstellenidentifikation (1)	J							J		J				
	Verkaufsstellenzugehörigkeit ¹ (1)		J							J		J			
	Verkaufsstelleneigenschaft (*)														
Regeltypen	Kompetenz-/Ausschluss-Regel	X	X												
	Artikelverbund-Regel			X	X										
	MiniMax-Regel					X	X	X							
	Leistungsänderungs-Regel								X	X					
	Sortimentsaufteilungs-Regel										X	X			
	Einflussgrößen-Regel												X	X	X

Tabelle 10: Entscheidungstabelle zur Bestimmung von Regeltypen

5.3.4 Algebraische Umformung

Modellierungsrelevanz für das mathematische Modell haben nur Regelkomponenten die unmittelbar Artikel betreffen. So muss die Regel „In der Verkaufsstelle 3451 muss der Artikel A platziert werden“ zwar vollständig in einem Anwendungssystem zur Sortimentsoptimierung abgelegt sein, für die Modellformulierung der Verkaufsstelle 3451 ist jedoch nur sicherzustellen, dass der Artikel A im Platzierungsvorschlag enthalten ist. In den nachfolgenden Abbildungen werden die im Kapitel 5.3.3 beschriebenen Regeln graphisch veranschaulicht, wobei verschiedene graphischer Elemente verwendet, die u. a. aus Entity-Relationship-Diagrammen (ERD) und der ereignisgesteuerten Prozesskettenmodellierung (EPK) bekannt sind. Auf der linken Seite werden die Bedingungstypen dargestellt, die mit genau einem Folgetyp auf der rechten Seite verknüpft sind. Wie im obigen Beispiel angedeutet, ist nicht jeder Bedingungstyp modellrelevant. Aus diesem Grund sind die zu modellierenden Teile einer Regel fett umrahmt. Um die Kombinationsmöglichkeiten der Bedingungstypen darzustellen, werden Verknüpfungsoperatoren verwendet (Kreis). Einfache Linien deuten darauf hin, dass die Bedingungstypen nicht relevant im Sinne des mathematischen Modells sind. Die Zahlen auf den Linien geben die Kardinalität an, mit der Bedingungstypen und Folgetypen miteinander verknüpft werden können. Zur Verdeutlichung, wie Regeln im Modell Berücksichtigung finden, werden die einzelnen Regeltypen in die modellrelevanten Bestandteile zerlegt und anschließend beispielhaft in lineare Gleichungen bzw. Ungleichungen überführt. Entscheidungsvariablen sind in der Notation durch den Großbuchstaben Y , $Y \in \{0, 1\}$, gekennzeichnet, deren Index mit einem Artikel korrespondiert. Eine Entscheidungsvariable nimmt den Wert eins an, wenn der Artikel platziert wird, sonst null. Es werden die bekannten Operatoren der Aussagenlogik verwendet:

- OR (\vee) oder
- XOR (\otimes) exklusives oder
- AND (\wedge) und
- \Rightarrow Implikation
- \neg Negation

Bei der **Kompetenz- und Ausschlussregel** (siehe Abbildung 30) ist im Modell sicherzustellen, dass ein bestimmter Artikel im Platzierungsvorschlag enthalten ist bzw. nicht enthalten ist. So kann die Entscheidungsvariable auf den Wert null oder eins fixiert werden:

Artikel A ist Ausschlussartikel: $Y_A = 0$

Artikel B ist Kompetenzartikel: $Y_B = 1$

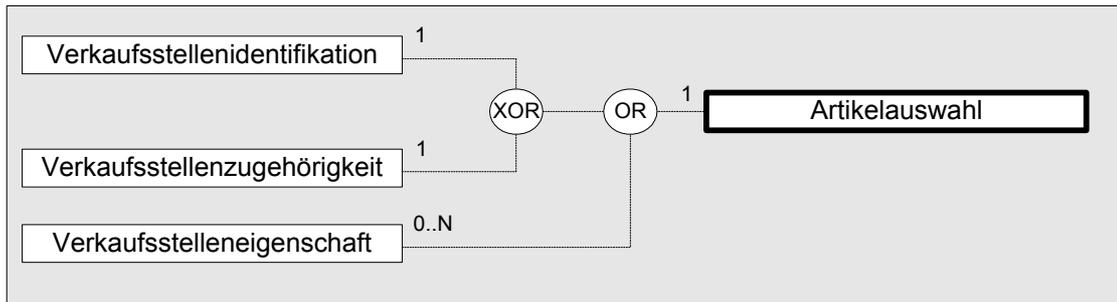


Abbildung 30: Kompetenz-/Ausschlussregel

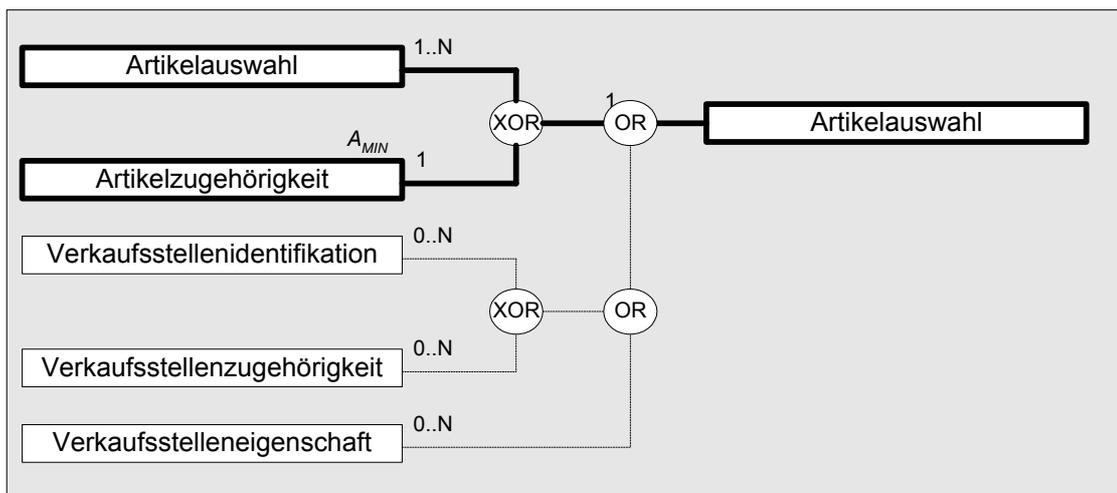


Abbildung 31: Artikelverbundregel

In einer **Artikelverbundregel** (Abbildung 31) ist entweder ein Artikelauswahl- oder ein Artikelzugehörigkeits-Bedingungstyp Bestandteil der Regel. Bei der Artikelauswahl können ein oder mehrere Artikel die Platzierung oder Nichtplatzierung eines Artikels auslösen. Die Besonderheit dieses Regeltyps ist, dass unterschiedliche Regeloperatoren (Wenn-Dann, Entweder-Oder, Wenn-nicht-Dann) zur Anwendung kommen und eine Reihe verschiedener Aussagen gebildet und auch aussagenlogisch formuliert werden können. Für diesen Regeltyp können vier Untertypen gemäß Tabelle 11 unterschieden werden. Weiter Untertypen sind inhaltlich vorstellbar. So können auch komplizierte

aussagenlogische Sätze in ein System von Gleichungen und Ungleichungen überführt werden.

Unter- typ	Regel	algebraische Formulierung
1	Wenn Artikel A platziert wird, dann muss auch Artikel X platziert werden	$Y_A - Y_X \leq 0$
	Wenn Artikel A und B platziert wird, dann muss auch Artikel X platziert werden	$Y_A + Y_B - Y_X \leq 1$
2	Artikel A und Artikel X dürfen nicht gemeinsam platziert werden	$Y_A + Y_X \leq 1$
	Artikel A und B zusammen dürfen nicht gemeinsam mit Artikel X platziert werden.	$Y_A + Y_B + Y_X \leq 2$
3	Wenn nicht Artikel A platziert wird, muss Artikel X platziert werden.	$Y_A + Y_X \geq 1$
	Wenn nicht die beiden Artikel A und B platziert werden, muss Artikel X platziert werden.	$Y_A + Y_B + 2Y_X \geq 2$
4	Wenn mindestens zwei Artikel aus $\{A,B,C\}$ platziert werden, muss Artikel X platziert werden.	$Y_A + Y_B + Y_C - 2Y_X \leq 1$

Tabelle 11: Untertypen der Artikelverbundregel⁶⁰

Im Unterschied zur Artikelverbundregel muss bei der **MiniMax-Regel** (Abbildung 32) nicht zwingend der Bedingungstyp Artikelauswahl oder Artikelzugehörigkeit vorhanden sein. Für eine Regel „In der Verkaufsstelle 3451 müssen mindestens zwei und höchstens drei Artikel der Artikelgruppe G platziert werden“ ist in der entsprechenden Verkaufsstelle die Platzierung der geforderten Artikelanzahl sicherzustellen. Dazu werden die folgenden Ungleichungen beispielhaft formuliert: $G = \{U, V, W, X\}$

Mindestanzahl: $Y_U + Y_V + Y_W + Y_X \geq 2$

Maximalanzahl: $Y_U + Y_V + Y_W + Y_X \leq 3$

⁶⁰ Einige der Ungleichungen ergeben nach Disaggregation eine schärfere LP-Relaxierung.

Ist ein Bedingungstyp Artikelauswahl vorhanden, so wird über die Einführung künstlicher Variablen (Hilfsvariablen) der Zusammenhang zwischen Bedingung und Folge hergestellt.⁶¹ Nachfolgend soll eine Modellierung für die Regel „Wenn Artikel A, B und C platziert wird, dann sollen mindestens zwei und maximal drei Artikel aus der Artikelgruppe G platziert werden“ als Beispiel vorgestellt werden. Für deren Abbildung ist ein System aus Ungleichungen notwendig, wobei die Bedingungen und Folgen durch die binäre Hilfsvariable H_B miteinander verknüpft sind:

$$G = \{U, V, W, X\},$$

$$(A \wedge B \wedge C) \Rightarrow 2 \leq |\{U, V, W, X\}| \leq 3$$

Bedingung: $Y_A + Y_B + Y_C \leq 2 + H_B$

$$Y_A + Y_B + Y_C \geq 3H_B$$

Folge: $Y_U + Y_V + Y_W + Y_X - 2H_B \geq 0$

$$Y_U + Y_V + Y_W + Y_X + H_B \leq 4$$

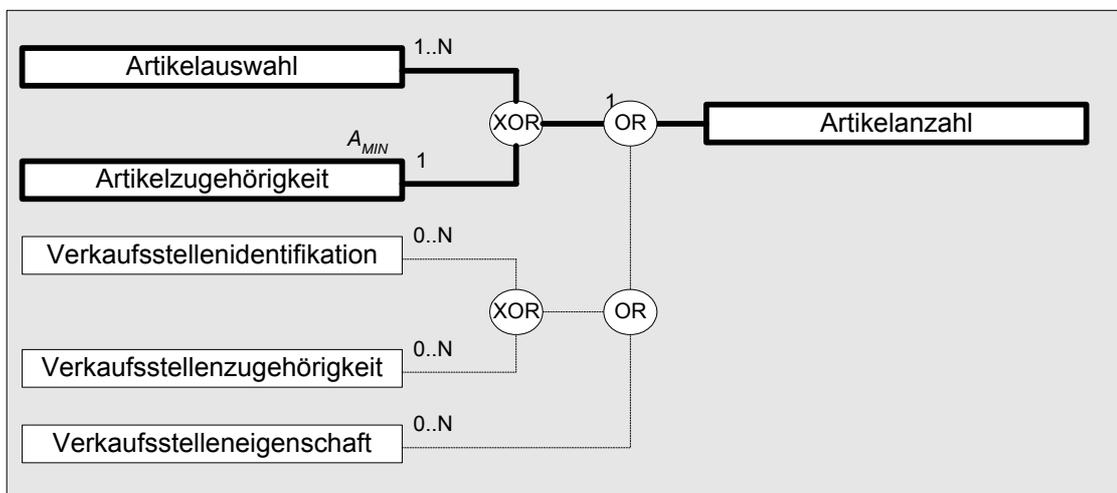


Abbildung 32: MiniMax-Regel

Eine ähnliche Modellierung ist notwendig, wenn der Bedingungstyp Artikelzugehörigkeit lautet. Die Folge kommt dann zum Tragen, wenn eine bestimmte Mindestanzahl von Artikeln ausgewählt wurden.

⁶¹ Es existieren eine Vielzahl von Modellierungstechniken, die es ermöglichen, fast jedes deterministische Entscheidungsproblem im Rahmen eines MIP-Modells abzubilden (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, S. 4).

Die Regel „Wenn mindestens zwei Artikel aus der Artikelgruppe G_1 platziert werden, dann sollen mindestens zwei und maximal drei Artikel aus der Artikelgruppe G_2 platziert werden“ wird wie folgt modelliert:

$$G_1 = \{A, B, C\},$$

$$G_2 = \{U, V, W, X\}$$

Bedingung: $Y_A + Y_B + Y_C - 2H_B \leq 1$

$$Y_A + Y_B + Y_C \geq 2H_B$$

Folge: $Y_U + Y_V + Y_W + Y_X - 2H_F \geq 0$

$$Y_U + Y_V + Y_W + Y_X + H_F \leq 4$$

Verknüpfung: $H_B - H_F \leq 0$

So lassen sich auch für die MiniMax-Regel drei Untertypen gemäß Tabelle 12 unterscheiden:

Untertyp	Regel	Formulierung
1	Kein Bedingungstyp Artikelauswahl oder Artikelzugehörigkeit beteiligt	Mindest- und Maximalanzahl der Folge modellieren
2	Bedingungstyp Artikelauswahl vorhanden.	Mindest- und Maximalanzahl von Bedingung und Folge modellieren
3	Bedingungstyp Artikelzugehörigkeit vorhanden.	Mindestanzahl von Bedingung und Mindest- sowie Maximalanzahl der Folge modellieren

Tabelle 12: Untertypen der MiniMax-Regel

Die **Sortimentsaufteilungsregel** (Abbildung 33) ist eine Minimal- und Maximalanzahl für die Platzierung von Artikeln einer Artikelgruppe anzugeben. Sie bezieht sich per Definition immer auf eine bestimmte Verkaufsstelle oder eine Gruppe von Verkaufsstellen. Zusätzlich können bestimmte Eigenschaften der Verkaufsstelle erforderlich sein. Prinzipiell ist auch eine Kombination mit dem Bedingungstyp Artikelauswahl oder Artikelzugehörigkeit denkbar, diese soll hier allerdings nicht ausgeführt werden.

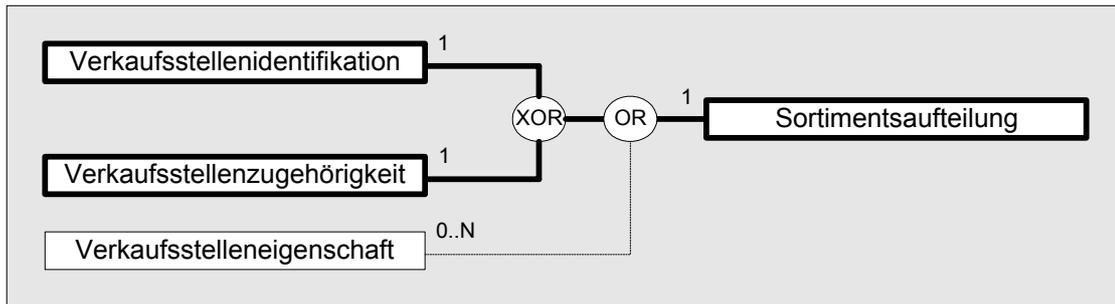


Abbildung 33: Sortimentsaufteilungsregel

Die Regel „In der Verkaufsstelle 3451 müssen mindesten 3 und maximal 5 Artikel der Artikelgruppe G platziert werden“ kann im Modell für die Verkaufsstelle 3451 in folgenden Ungleichungen abgebildet werden: $G = \{A, B, C, D, E, F\}$:

$$\text{Mindestanzahl: } Y_A + Y_B + Y_C + Y_D + Y_E + Y_F \geq 3$$

$$\text{Maximalanzahl: } Y_A + Y_B + Y_C + Y_D + Y_E + Y_F \leq 5$$

Neben der absoluten Angabe der Anzahl Artikel einer Artikelgruppe im Sortiment ist eine prozentuale Angabe bezogen auf die Gesamtkontaktstrecke möglich: „In der Verkaufsstelle 3451 müssen mindestens 5 Prozent und maximal 15 Prozent der Gesamtkontaktstrecke von Artikeln der Artikelgruppe G platziert werden“. Die entsprechende mathematische Abbildung lautet:

$G = \{A, B, C, D, E, F\}$, $K = \text{Gesamtkontaktstrecke}$ und $k_i = \text{Kontaktstrecke von Artikel } i, i \in G$:

$$\text{Mindestanteil: } k_A Y_A + k_B Y_B + k_C Y_C + k_D Y_D + k_E Y_E + k_F Y_F \geq 0,05 * K$$

$$\text{Maximalanteil: } k_A Y_A + k_B Y_B + k_C Y_C + k_D Y_D + k_E Y_E + k_F Y_F \leq 0,15 * K$$

Dabei muss sichergestellt sein, dass die Summe der Kontaktstrecke aller Artikel der Artikelgruppe G anteilmäßig mindestens 5 Prozent der Gesamtkontaktstrecke ausfüllen können.

Die **Leistungsänderungsregel** (Abbildung 34) wirkt sich gemeinschaftlich auf die in der Bedingung angegebenen Artikel aus. So kann die Zusammenplatzierung von Artikeln einen Räubereffekt auslösen: „Wird Artikel A und B gemeinsam platziert, wird lediglich 80 Prozent der kumulierten Einzelleistungen erreicht“.

Folgende Restriktionen werden zur Abbildung modelliert, wobei H eine binäre Hilfsvariable darstellt, die den Wert eins annimmt, wenn beide Artikel platziert werden, sonst null. Die Variable Z_{AB} ($Z_{AB} \in \mathbb{R}^+$) geht im Falle des Räubereffekts mit einem negativen

Vorzeichen in der Höhe der Leistungsminderung in die Zielfunktion ein. Erreichen die Artikel A und B Einzelleistungen von 100 GE bzw. 200 GE, so ist durch Restriktionen sicherzustellen, dass die Variable Z_{AB} bei Gemeinsamplatzierung den Wert 60 annimmt ($0,2 * 300$). M („Big M“) korrespondiert mit einem Wert mindestens in der Höhe des Effektes, in diesem Fall 60:

Bedingung: $Y_A + Y_B - H \leq 1$

$$2H \leq Y_A + Y_B$$

Folge: $Z_{AB} - 0,2 (100 Y_A + 200 Y_B) \leq M * (1 - H)$

$$Z_{AB} - 0,2 (100 Y_A + 200 Y_B) \geq -M * (1 - H)$$

Verknüpfung: $Z_{AB} \leq M * H$

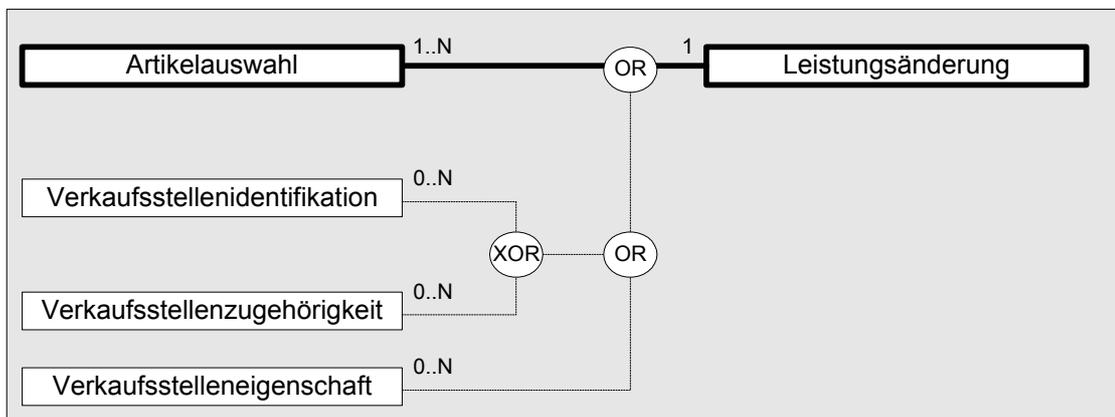


Abbildung 34: Leistungsänderungsregel

Bei der **Einflussgrößenregel** sind weitere Kombinationen von Bedingungstypen vorstellbar, als in der gezeigten Abbildung 35. Eine weitergehende Betrachtung wird jedoch nicht vorgenommen. Eine Einflussgrößenregel verändert direkt den Zielfunktionskoeffizienten, indem ausgehend von einem Basiswert die Verkaufswahrscheinlichkeit über den Zielfunktionskoeffizienten einfließt. In diesem Fall sind keine zusätzlichen Restriktionen im Modell mit aufzunehmen.

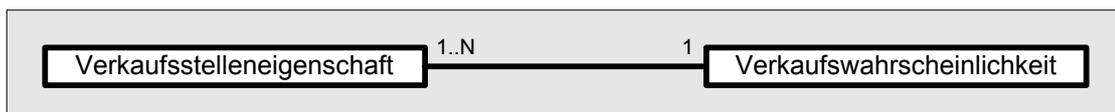


Abbildung 35: Einflussgrößenregel

5.4. Mathematisches Modell zur einfachen Sortimentsoptimierung

In diesem Kapitel soll das vollständige Entscheidungsmodell mit den im vorherigen Kapitel dargestellten Regeln vorgestellt werden.⁶² Dabei handelt es sich um ein Maximierungsmodell, in dem eine in Kapitel 3.2 diskutierte und für geeignet befundene Leistungskennzahl für die Zielfunktionskoeffizienten Verwendung findet. Als Entscheidungsvariablen für die Platzierung von Artikeln werden Binärvariablen verwendet, wobei jede Kombination aus Regalbodenplatzierung und Facinganzahl in einer eigenen Entscheidungsvariable modelliert ist. Jede Entscheidungsvariable bietet die Möglichkeit, mit einem eigenen Zielfunktionskoeffizient gewichtet zu werden, so dass sowohl Effekte aufgrund von Frontstreckenelastizitäten berücksichtigt werden können als auch unterschiedliche Regalwertigkeiten. Ebenfalls können andere Faktoren, wie z. B. verschiedene Handlungskosten bei größerer Facinganzahl durch längeren Wiederauffüllrhythmus, über die Veränderung der Leistungskennzahl einfließen.

5.4.1 Definitionen

Indexmengen:

I	Menge der Artikel
I_j	Menge der Artikel, die auf Regalboden j platziert werden dürfen, $I_j \subset I$
I_l	Menge der Artikel einer Leistungsänderungs-Regel l , $I_l \subset I$
I_v	Menge der Artikel einer Artikelverbund-Regel v , $I_v \subset I$
I_s	Menge der Artikel der Sortimentsaufteilungs-Regel s , $I_s \subset I$
I_m^a	Menge der Artikel in der Auslösebedingung einer MiniMax-Regel m , $I_m^a \subset I$
I_m^f	Menge der Artikel in der Folge einer MiniMax-Regel m , $I_m^f \subset I$,
	$I_m^a \cap I_m^f = \emptyset$
J	Menge der Regalböden
J_i	Menge der Regalböden, auf die Artikel i platziert werden kann, $J_i \subset J$
K^+	Menge der Kompetenzartikel, $K^+ \subset I$
K^-	Menge der Ausschlussartikel, $K^- \subset I$
N	Menge der Facings, $N \subset \mathbb{N}$

⁶² Die Grundform des Modells findet sich in: *HerCon (1998)*, *Greve (2000)*, *Herrn (2000)*, *Suhl U. (2001)*.

N_i	Menge der möglicher Facinganzahlen eines Artikels i , $N_i \subset N$
R	Menge der Regeln
R^M	Menge der MiniMax-Regeln, $R^M \subset R$
R^L	Menge aller Leistungsänderungs-Regeln, $R^L \subset R$
R^{L^+}	Menge aller Leistungsänderungs-Regeln mit positiver Leistungsänderung, $R^{L^+} \subset R^L$
R^{L^-}	Menge aller Leistungsänderungs-Regeln mit negativer Leistungsänderung, $R^{L^-} \subset R^L$
R^S	Menge der Sortimentsaufteilungs-Regeln, $R^S \subset R$
R^{S^a}	Menge der absoluten Sortimentsaufteilungs-Regeln, $R^{S^a} \subset R^S$
R^{S^p}	Menge der prozentualen Sortimentsaufteilungs-Regeln, $R^{S^p} \subset R^S$
R^V	Menge der Artikelverbund-Regeln, $R^V \subset R$

Indexe:

i	Artikelindex, $i \in I$
j	Regalbodenindex, $j \in J$
l	Leistungsänderungs-Regelindex, $l \in R^L$
m	MiniMax-Regelindex, $m \in R^M$
n	Facinganzahlindex, $n \in N$
s	Sortimentsaufteilungs-Regelindex, $s \in R^S$
v	Artikelverbund-Regelindex, $v \in R^V$

Entscheidungsvariablen:

A_m	1, wenn die auslösende Bedingung der MiniMax-Regel m erfüllt ist, sonst 0, $A_m \in \{0, 1\}$
F_m	1, wenn die resultierende Folge der MiniMax-Regel m erfüllt ist, sonst 0, $F_m \in \{0, 1\}$
H_l	1, wenn die Leistungsänderungs-Regel l zur Anwendung kommt, sonst 0, $H_l \in \{0, 1\}$
X_s	Summation der Kontaktstrecke der platzierten Artikel der Artikelgruppe I_s in Regel s in [LE], $X_s \in \mathbb{R}^+$
$Y_{i,j,n}$	1, wenn Artikel i auf Regalboden j in der Facinganzahl n platziert wird, sonst 0, $Y_{i,j,n} \in \{0, 1\}$

Z_l^+ Positive Leistungsänderung der Regel l in [GE], $Z_l^+ \in \mathbb{R}^+$

Z_l^- Negative Leistungsänderung der Regel l in [GE], $Z_l^- \in \mathbb{R}^+$

Parameter:

B Fachteilerbreite, $B \geq 0$ [LE]

$C_{i,j,n}$ Leistungskennzahl des Artikels i auf Regalboden j bei einer Facinganzahl von n [GE]

D_l Prozentualer Aufschlags- bzw. Abschlagsfaktor zur Berechnung der Leistungsänderung einer Regel l , $D_l \in \mathbb{R}^+$

K_i Kontaktstrecke des Artikels i , $K_i > 0$ [LE]

L_j Länge des Regalbodens j [LE]

$AMIN_v$ Minimale Anzahl von Artikeln in der Auslösebedingung der Verbund-Regel v , $AMIN_v \in \mathbb{N}$

$AMIN_m$ Minimale Anzahl von Artikeln in der Auslösebedingung der MiniMax-Regel m , $AMIN_m \in \mathbb{N}$

$PMIN_s$ Minimaler Anteil eines Sortiments der Sortimentsaufteilungs-Regel s an der Gesamtkontaktstrecke, $0 \leq PMIN_s \leq 1$

$PMAX_s$ Maximaler Anteil eines Sortiments der Sortimentsaufteilungs-Regel s an der Gesamtkontaktstrecke, $0 \leq PMAX_s \leq 1$, $PMIN_s \leq PMAX_s$

$FMIN_m$ Minimale Anzahl von Artikeln im Platzierungsvorschlag der MiniMax-Regel m , $FMIN_m \in \mathbb{N}$

$FMAX_m$ Maximale Anzahl von Artikeln im Platzierungsvorschlag der MiniMax-Regel m , $FMAX_m \in \mathbb{N}$

5.4.2 Basismodell

Das Basismodell stellt das Grundgerüst des hier vorgestellten Modells zu operativen Sortimentsplanung dar und ist im Anwendungsfall immer vorhanden. Regeln werden dem Basismodell je nach Art und Umfang hinzugefügt.

Zielfunktion:

$$\text{Maximiere } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} C_{i,j,n} * Y_{i,j,n} \quad (5.4 - 1)$$

unter den Nebenbedingungen:

Kontaktstreckenlimitation

$$\sum_{i \in I_j} \sum_{n \in N_i} (n * (K_i + B)) * Y_{i,j,n} \leq L_j + B, \quad \forall j \in J \quad (5.4 - 2)$$

Platzierungslimitation

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n} \leq 1, \quad \forall i \in I \setminus (K^+ \cup K) \quad (5.4 - 3)$$

In der Zielfunktion (5.4 - 1) werden Kosten nicht explizit berücksichtigt. Sie können z. B. über die Auswahl der Direkten Produkt-Rentabilität als Leistungskennzahl im Modell einfließen. Die Restriktion (5.4 - 2) stellt sicher, dass die platzierten Artikel die Breite eines Regalbodens nicht überschreiten. Da zur Erleichterung der Artikelentnahme aus dem Regal immer ein wenig Platz zwischen den Artikeln vorhanden sein sollte, wird dieser bei den Artikelfronten über den Parameter B Fächteilerbreite eingerechnet. Eine Feinheit ergibt sich bei der Zurechnung dieser Breite zur Länge des Fachbodens auf der rechten Seite der Ungleichung. Steht der Warenträger frei, so ist an den Enden des Regalbodens keine zusätzliche Fächteilerbreite erforderlich. Da diese aber bereits bei der Artikelplatzierung eingerechnet wird, wird sie hier durch die Addition zur Regalbodenlänge neutralisiert. Stoßen die betrachteten Regalböden an den Enden an ein weiteres Regal, darf die Fächteilerbreite nicht mehr auf die Regalbodenlänge addiert werden. Die Unterscheidung ist insofern von der gegebenen Situation abhängig und bei der Modellgenerierung zu berücksichtigen. Ist eine bestimmte Kombination aus Artikel, Regalboden und Facinganzahl gegeben, stellt die Platzierungslimitation (5.4 - 3) sicher, dass keine weitere Kombination mit diesem Artikel ausgewählt wird.

5.4.3 Regeln

Erweiterte Zielfunktion:

$$\text{Maximiere } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} C_{i,j,n} * Y_{i,j,n} + \sum_{l \in R^{L^+}} Z_l^+ - \sum_{l \in R^L} Z_l^- \quad (5.4 - 4)$$

Die Zielfunktion wird im Falle von Leistungsänderungs-Regeln um Variablen zur Berücksichtigung von Leistungsauf- und -abschlägen erweitert. Die Restriktionen (5.4 - 2) und (5.4 - 3) werden aus dem Grundmodell übernommen.

Kompetenzartikel:

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n} = 1, \quad \forall i \in K^+ \quad (5.4 - 5)$$

Ausschlussartikel:

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n} = 0, \quad \forall i \in K \quad (5.4 - 6)$$

Kompetenz- und Ausschlussregeln stellen einfach zu realisierende Regeln in Form von Gleichungen dar. In Gleichung (5.4 - 5) muss genau eine Entscheidungsvariable den Wert eins annehmen. Der korrespondierende Artikel ist somit im Platzierungsvorschlag enthalten. Ausschlussartikel dürfen im Gegenteil nicht im Platzierungsvorschlag enthalten sein, welches durch die Gleichung (5.4 - 6) zum Ausdruck gebracht wird. Entscheidungsvariablen von Ausschlussartikel können nicht ohne weiteres aus dem Modell entfernt werden, da es Regeln geben kann, welche die Platzierung eines anderen Artikels erforderlich machen, wenn ein Ausschlussartikel nicht im Platzierungsvorschlag enthalten ist. Werden Ausschlussartikel im Modell nicht vorgesehen, können derartige Regeln nicht berücksichtigt werden.

Artikelverbund-Regeln:

In Kapitel 5.3.4 wurden vier Untertypen der Artikelverbund-Regel unterschieden, so dass, je nachdem welcher Untertyp vorliegt, die entsprechende Restriktion zur Anwendung kommt. Die Modellierung geht vom allgemeinen Fall aus, in dem eine Anzahl von Artikeln (Artikelgruppe - I_v) im Bedingungsteil der Regel vorhanden ist. Der Spezialfall, dass die Anzahl genau eins ist, also die Artikelgruppe nur ein Element enthält, wird mit der Formulierung gleichfalls abgedeckt.

Untertyp 1: Wenn I_v platziert wird muss auch i_2 platziert werden

$$\sum_{i_1 \in I_v} \sum_{j \in J_{i_1}} \sum_{n \in N_{i_1}} Y_{i_1, j, n} - \sum_{j \in J_{i_2}} \sum_{n \in N_{i_2}} Y_{i_2, j, n} \leq |I_v| - 1 \quad (5.4 - 7)$$

$$, i_1 \in I_v, i_2 \notin I_v, 0 < |I_v|, \forall v \in R^V \wedge v \text{ vom Untertyp 1}$$

Untertyp 2: I_v und i_2 dürfen nicht gemeinsam platziert werden

$$\sum_{i_1 \in I_v} \sum_{j \in J_{i_1}} \sum_{n \in N_{i_1}} Y_{i_1, j, n} + |I_v| * \sum_{j \in J_{i_2}} \sum_{n \in N_{i_2}} Y_{i_2, j, n} \leq |I_v| \quad (5.4 - 8)$$

$$, i_1 \in I_v, i_2 \notin I_v, 0 < |I_v|, \forall v \in R^V \wedge v \text{ vom Untertyp 2}$$

Untertyp 3: Wenn nicht I_v platziert wird, dann muss i_2 platziert werden

$$\sum_{i_1 \in I_v} \sum_{j \in J_{i_1}} \sum_{n \in N_{i_1}} Y_{i_1, j, n} + |I_v| * \sum_{j \in J_{i_2}} \sum_{n \in N_{i_2}} Y_{i_2, j, n} \geq |I_v| \quad (5.4 - 9)$$

$$, i_1 \in I_v, i_2 \notin I_v, 0 < |I_v|, \forall v \in R^V \wedge v \text{ vom Untertyp 3}$$

Untertyp 4: Wenn mindestens $AMIN_v$ Artikel aus I_v platziert werden, dann muss auch i_2 platziert werden

$$\sum_{i_1 \in I_v} \sum_{j \in J_{i_1}} \sum_{n \in N_{i_1}} Y_{i_1, j, n} \leq (AMIN_v - 1) + (|I_v| - AMIN_v + 1) * \sum_{j \in J_{i_2}} \sum_{n \in N_{i_2}} Y_{i_2, j, n} \quad (5.4 - 10)$$

$$, i_1 \in I_v, i_2 \notin I_v, 0 < AMIN_v \leq |I_v|, \forall v \in R^V \wedge v \text{ vom Untertyp 4}$$

Restriktion (5.4 - 7) wird für Artikelverbund-Regeln vom Untertyp 1 verwendet, welche besagt, dass, wenn alle Artikel der Artikelgruppe I_v platziert werden, dann auch der Artikel i_2 im Platzierungsvorschlag enthalten sein muss. So können beliebig viele Artikel der Artikelgruppe I_v ausgewählt werden, ohne dass die Auswahl des Artikels i_2 erforderlich wird, solange nicht alle Artikel der Artikelmenge $|I_v|$ gewählt werden. Im Unterschied zur Restriktion in (5.4 - 7) darf in (5.4 - 8) der Artikel i_2 gerade nicht ausgewählt werden, wenn alle Artikel der Artikelgruppe I_v platziert werden. Solange aber nicht alle Artikel der Artikelgruppe gewählt sind, kann ebenfalls der Artikel i_2 platziert werden. Eine weitere Abwandlung wird mit Restriktion (5.4 - 9) erreicht. Hier muss gerade dann der Artikel i_2 platziert werden, wenn keiner oder zumindest nicht alle Artikel der Artikelgruppe I_v ausgewählt sind. Allerdings können auch alle beteiligten Artikel gemeinsam ausgewählt werden. Mit Restriktion (5.4 - 10) ist die Möglichkeit gegeben, eine Mindestanzahl $AMIN_v$ für die Auswahl von Artikel der Artikelgruppe I_v vorzugeben,

die, wenn sie erreicht wird, auch die Platzierung des Artikels i_2 auslöst. Dennoch ist die Auswahl von Artikel i_2 auch ohne Erreichen der Mindestanzahl $AMIN_v$ möglich.

MiniMax-Regel (Artikelgruppenverbund):

Bei der MiniMax-Regel wurden drei Untertypen unterschieden (Kapitel 5.3.4). Dabei ist in der Folge grundsätzlich eine bestimmte Anzahl von Artikeln einer Artikelgruppe zu platzieren. Eine Regel erstreckt sich dazu über mehrere Restriktionen, wobei die Zusammenführung der Regelteile in diesem Fall über die binären Hilfsvariablen A_m und F_m erfolgt. Dabei steht A_m für den auslösenden Teil und F_m für den resultierenden Teil der Regel. Beim Untertyp 1 wird die MiniMax-Regel nicht durch andere Artikel ausgelöst, sondern z. B. durch eine Eigenschaft einer Verkaufsstelle. Hingegen müssen bei den Untertypen 2 und 3 artikelbezogene Auslösebedingungen formuliert werden.

Auslösebedingung für Untertyp 1

$$A_m = 1 \quad , \quad \forall m \in R^M \wedge m \text{ vom Untertyp 1} \quad (5.4 - 11)$$

Auslösebedingung für Untertyp 2

$$\sum_{i \in I_m^a} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n} \leq |I_m^a| - 1 + A_m \quad , \quad \forall m \in R^M \wedge m \text{ vom Untertyp 2} \quad (5.4 - 12)$$

$$\sum_{i \in I_m^a} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n} \geq |I_m^a| * A_m \quad , \quad \forall m \in R^M \wedge m \text{ vom Untertyp 2} \quad (5.4 - 13)$$

Auslösebedingung für Untertyp 3

$$\sum_{i \in I_m^a} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n} - |I_m^a| * A_m \leq AMIN_m - 1 \quad (5.4 - 14)$$

$$, \quad \forall m \in R^M \wedge m \text{ vom Untertyp 3}$$

$$\sum_{i \in I_m^a} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n} \geq AMIN_m * A_m \quad , \quad \forall m \in R^M \wedge m \text{ vom Untertyp 3} \quad (5.4 - 15)$$

Folge Mindestanzahl

$$\sum_{i \in I_m^f} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n} - FMIN_m * F_m \geq 0 \quad , \quad \forall m \in R^M \quad (5.4 - 16)$$

Folge Maximalanzahl

$$\sum_{i \in I_m^f} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n} + \left(|I_m^f| - FMAX_m \right) * F_m \leq |I_m^f| \quad (5.4 -17)$$

$$, |I_m^a|, |I_m^f|, AMIN_m, FMIN_m > 0,$$

$$FMIN_m \leq FMAX_m \leq |I_m^f|, \forall m \in R^M$$

Verknüpfung der Hilfsvariablen

$$A_m - F_m \leq 0 \quad , \forall m \in R^M \wedge m \text{ vom Untertyp } 2 + 3 \quad (5.4 -18)$$

Wird eine MiniMax-Regel vom Untertyp 1 erzeugt, wurde im Prozess der Modellgenerierung datenbezogen die Anwendbarkeit festgestellt. Sind die Voraussetzungen erfüllt, wird die binäre Hilfsvariable A_m auf eins gesetzt (5.4 -11). Hingegen hängt der Zustand dieser Variablen im Falle des Untertyps 2 und 3 von gewählten bzw. nicht gewählten Artikeln ab. Beim Untertyp 2 muss die Hilfsvariable A_m den Wert eins annehmen, wenn alle Artikel der Artikelgruppe I_m^a platziert werden (5.4 -12). Umgekehrt darf sie nur dann eins werden, wenn tatsächlich alle ausgewählt sind (5.4 -13). Die gleiche Funktion haben die Restriktionen (5.4 -14) und (5.4 -15) für den Untertyp 3, außer, dass hier nicht alle Artikel der Artikelgruppe I_m^a gefordert sind, sondern lediglich eine Mindestanzahl $AMIN_m$. Da die Folge eine Mindest- und Maximalanzahl für die Platzierung von Artikeln aus der Artikelgruppe I_m^f enthält, sind zwei weitere Restriktionen (5.4 -16) und (5.4 -17) erforderlich. (5.4 -18) stellt sicher, dass die Hilfsvariable F_m dann den Wert eins annimmt, wenn die Mindestanzahl der auszuwählenden Artikel $FMIN_m$ erreicht wird. Entgegen ist die Restriktion (5.4 -17) dazu notwendig, dass die Hilfsvariable F_m nur dann den Wert eins hat, wenn nicht mehr als $FMAX_m$ Artikel aus I_m^f gewählt werden. Über die Restriktion (5.4 -18) werden schließlich Bedingung und Folge miteinander verknüpft. Ist die Auslösebedingung gegeben, also A_m auf eins gesetzt, dann greift die Regel und F_m muss ebenfalls ein sein, bzw. es müssen zwischen $FMIN_m$ und $FMAX_m$ Artikel der Artikelgruppe I_m^f im Platzierungsvorschlag enthalten sein. Hingegen ist kein Einwand zu machen, wenn die Folge auch ohne zutun der Auslösebedingung zur Anwendung kommt.

Leistungsänderungs-Regel:

Die gemeinsame Platzierung von Artikeln kann für die Gesamtleistung der Artikel von Vorteil sein, es kann aber auch ein Räubereffekt unter den Artikeln auftreten. Leistungsänderungs-Regeln können daher sowohl mit positivem (Z_l^+) als auch negativem Vorzeichen (Z_l^-) in die Zielfunktion einfließen.

$$\sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n} - H_l \leq |I_l| - 1, \quad \forall l \in R^L \quad (5.4 -19)$$

$$|I_l| * H_l \leq \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n}, \quad \forall l \in R^L \quad (5.4 -20)$$

Die binäre Hilfsvariable H_l wird durch die Ungleichung (5.4 -19) auf den Wert eins gezwungen, sobald alle für die Regel ausgewählten Artikel platziert werden. Die Ungleichung (5.4 -20) sorgt dafür, dass die Hilfsvariable ansonsten den Wert null erhält.

$$Z_l^+ - D_l * \underbrace{\sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} C_{i,j,n} * Y_{i,j,n}}_A \leq M * (1 - H_l), \quad \forall l \in R^{L^+} \quad (5.4 -21)$$

$$Z_l^+ - D_l * \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} C_{i,j,n} * Y_{i,j,n} \geq -M * (1 - H_l), \quad \forall l \in R^{L^+} \quad (5.4 -22)$$

$$Z_l^+ \leq M * H_l, \quad \forall l \in R^{L^+} \quad (5.4 -23)$$

$$Z_l^- - D_l * \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} C_{i,j,n} * Y_{i,j,n} \leq M * (1 - H_l), \quad \forall l \in R^L \quad (5.4 -24)$$

$$Z_l^- - D_l * \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} C_{i,j,n} * Y_{i,j,n} \geq -M * (1 - H_l), \quad \forall l \in R^L \quad (5.4 -25)$$

$$Z_l^- \leq M * H_l, \quad \forall l \in R^L \quad (5.4 -26)$$

Die Variable Z_l^+ beinhaltet den Leistungsaufschlag, der sich aus dem Term A ergibt. Werden alle Artikel der Regel l ausgewählt, dann bewirken die Ungleichung (5.4 -21) und (5.4 -22), dass die Variable Z_l^+ genau den Wert in der Höhe des Leistungsaufschlages annimmt. Damit Z_l^+ nicht ohne die Wirksamkeit der Regel eine Aktivität er-

hält, wird zusätzlich die Restriktion (5.4 -23) erzeugt. Analog verhält es sich für Z_i^- zur Berechnung des Leistungsabschlags. Da hier allerdings Z_i^- mit einem negativen Wert in die Zielfunktion eingeht, ist bei einer Maximierung des Modells die Ungleichung (5.4 -26) nicht notwendig und hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Sortimentsaufteilungs-Regel (prozentual):

Mit der prozentualen Sortimentsaufteilungs-Regel werden Anteile für Artikelgruppen festgelegt. Eine Sortimentsaufteilungs-Regel erstreckt sich, wie zuvor die MiniMax-Regel, über mehrere Restriktionen. Für die Bestimmung der belegten Kontaktstrecke der in der Regel bestimmten Artikelgruppe wird eine kontinuierliche Variable X_s verwendet, die ihrerseits Bindeglied zwischen den Restriktionen ist.

Summation über die belegte Kontaktstrecke

$$\sum_{i \in I_s} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} (n * (K_i + B)) * Y_{i,j,n} - X_s = 0 \quad , \quad \forall s \in R^{S^p} \quad (5.4 -27)$$

Mindestanteil

$$X_s \geq \sum_{j \in J} (L_j + B) * PMIN_s \quad , \quad \forall s \in R^{S^p} \quad (5.4 -28)$$

Maximalanteil

$$X_s \leq \sum_{j \in J} (L_j + B) * PMAX_s \quad , \quad \forall s \in R^{S^p} \quad (5.4 -29)$$

Die Restriktion (5.4 -27) sorgt dafür, dass in der Hilfsvariablen X_s die belegte Kontaktstrecke der betrachteten Artikelgruppe summiert wird. Der summierte Wert in X_s muss des weiteren größer sein als der geforderte Minimalanteil $PMIN_s$ (5.4 -28) und wiederum nicht größer als der festgelegte Maximalanteil $PMAX_s$ (5.4 -29).

Sortimentsaufteilungs-Regel (absolut):

Bei der absoluten Sortimentsaufteilungs-Regel ist lediglich die Anzahl der Platzierungen von Artikeln einer Artikelgruppe entscheidend, wodurch keine weitere Hilfsvariable notwendig wird.

Mindestanzahl

$$\sum_{i \in I_s} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n} \geq AMIN_s, \quad \forall s \in R^{S^a} \quad (5.4 -30)$$

Maximalanzahl

$$\sum_{i \in I_s} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n} \leq AMAX_s, \quad \forall s \in R^{S^a} \quad (5.4 -31)$$

Dass eine Mindestanzahl $AMIN_s$ von Platzierungen einer Artikelgruppe I_s im Platzierungsvorschlag enthalten ist, wird von der Restriktion (5.4 -30) sichergestellt; die Einhaltung der Maximalanzahl $AMAX_s$ von der Restriktion (5.4 -31).

5.4.4 Ergebnisse

Bei sehr umfangreichen Sortimenten, vielen Regalböden und mehreren Möglichkeiten bei der Facinganzahl für eine Vielzahl von Artikeln des betrachteten Sortiments, können die Modelldimensionen sehr schnell um Größenordnungen wachsen. Als Beispiel sei ein Warengruppensortiment bestehend aus 1.000 Artikel betrachtet. Existieren im Warenträger fünf Regalböden und kann jeder Artikel auf jedem Regalboden platziert werden sind bereits 5.000 Entscheidungsvariablen notwendig. Bestehen zusätzlich für die Hälfte der Artikel eine Möglichkeit für Doppelfacings, erhöht sich die Modellgröße auf 7.500 Entscheidungsvariablen. Der praktische Einsatz dieser Modellgrößen hat bisher jedoch keine Lösungsschwierigkeiten entstehen lassen.

In der Praxis ist zudem der Beweis der Optimalität der IP-Lösung in der Regel nicht erforderlich. Im Branch-and-Bound Algorithmus ist aufgrund der Schranken die Entfernung zur besten noch erreichbare Integer-Lösung ermittelbar. So lässt sich durch Vorgabe eines Wertes für „ ϵ -Optimalität“ (z. B. 5 Prozent vom globalen Optimum) die Laufzeit in vielen Fällen erheblich reduzieren (vgl. *Suhl U.* (2001), S. 193)

Sind dennoch die Lösungszeiten unakzeptabel lang, so empfiehlt sich die Relaxierung der Problemstellung auf einen Regalboden. Die Umsetzung der Lösung auf unterschiedliche Regalböden ist dadurch allerdings erschwert, da mit hoher Wahrscheinlichkeit Artikelumbrüche zu erwarten sind. Die Lösung ist daher im Anschluss gegebenenfalls manuell zu korrigieren. Doch auch ohne Artikelumbrüche ist das eigentliche Merchandising, in der Regel mit Hilfe eines Space Management-Systems am Bildschirm, im Anschluss an die Sortimentsoptimierung erforderlich (vgl. *Dammann-Heublein / Rasche* (1989), S. 49).

Praktische Ergebnisse in bezug auf den Erfolg optimierter Sortimente liegen bisher nur intern bei der *Herlitz PBS AG* vor, die als sehr positiv eingestuft wurden. Dabei ist eine Erfolgsmessung mit hohem Aufwand verbunden. Neben der Auswahl und entsprechender Aufbereitung der Testmärkte mit den individuell ermittelten Sortimenten, sind zugleich annähernd identische Kontrollmärkte ausfindig zu machen. Die Kontrollmärkte werden nach dem herkömmlichen Schema ausgestattet und dienen somit als Basis für die Erfolgsmessung.

5.5. Weitere Modelle

5.5.1 Sortimentsoptimierung mit Zonenbildung

Die Bildung von Zonen dient als Vorgabe zur Erstellung von Sortimenten mit verkaufsgerechter Warenpräsentation nach gewünschten Standards (z. B. corporate block, vertikale Blockbildung) (siehe *Dammann-Heublein / Rasche (1989), S. 49, Höller (1988), S. 82*). Die abverkaufsoptimierte Gestaltung des Regals wird durch die Platzierungseinschränkungen im Optimierungsmodell unterstützt. Die Unterstützung besteht darin, dass zusammengehörige Artikel nicht auf unterschiedlichen Regalböden verstreut platziert werden, sondern innerhalb einer bestimmten Zone. Die Bildung von Zonen ist dem Anwender überlassen und kann sich z. B. auf Platzierungserfahrungen stützen. Abbildung 36 zeigt ein Beispiel mit zwei Regalen und je fünf Einlegeböden, wobei acht Zonen gebildet werden, die durch eine unterschiedliche Farbgebung gekennzeichnet sind.

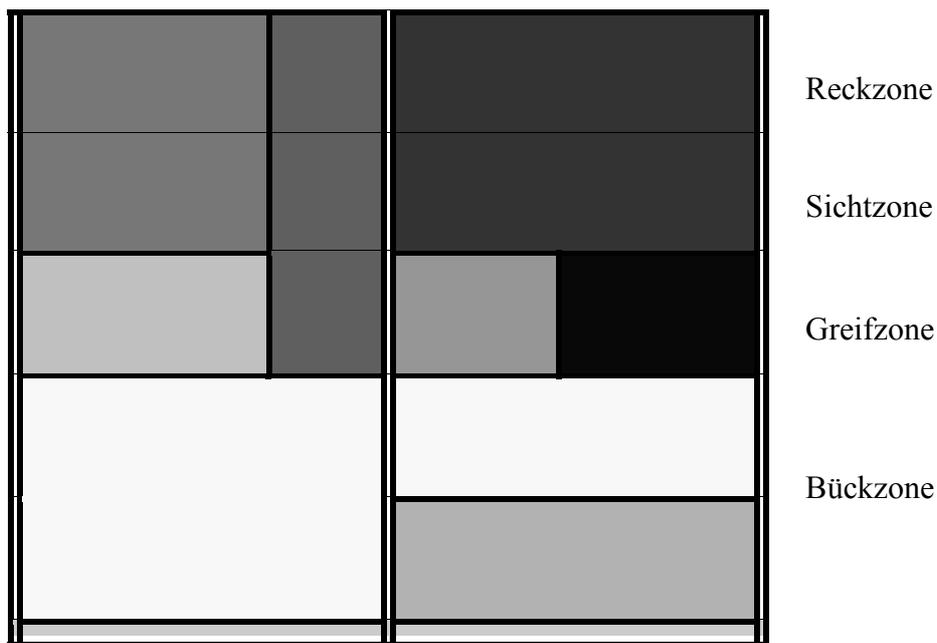


Abbildung 36: Regal mit Zonen

Die folgenden Modellannahmen werden getroffen:

- In Zonen werden Artikel bzw. Artikelgruppen zusammengefasst, die im Regal räumlich zusammen platziert werden sollen. So ist es aus Verkaufssicht z. B. sinnvoll, Farbtöpfe von unterschiedlichen Farben nebeneinander und nicht beliebig im Regal zu platzieren. Das nachfolgende Modell bestimmt die Platzierung eines Artikel innerhalb der vorgegeben Zonen. Dadurch wird dem Layouter die Anordnung der Artikel zu einem verkaufsfähigen Erscheinungsbild erleichtert.

- Eine Zone kann sich über mehrere Regalböden erstrecken und muss nicht notwendigerweise die volle Regalbodenbreite einnehmen. Durch diese Maßnahme lassen sich Teilsortimente auch vertikal kompakt präsentieren.
- Ein Artikel kann in genau einer oder in mehreren Zonen platziert werden. Die Artikelzuordnung zu möglichen Zonen wird dem Modell vorgegeben.
- In jeder Zone darf ein Artikel maximal einmal platziert werden.
- Ein Artikel, der in mehreren Zonen platziert werden kann, darf
 - a.) über alle Zonen gesehen nur höchstens einmal platziert werden (Einmalplatzierung)
 - oder,
 - b.) über alle Zonen gesehen maximal Q -Mal platziert werden (Mehrfachplatzierung).
- Alle Regeln gelten zonenübergreifend. Beispiel „Artikel A und Artikel B dürfen nicht gemeinsam platziert werden“. Wird Artikel A in Zone o platziert, so darf der Artikel B weder in der gleichen Zone platziert werden, noch in einer anderen Zone des betrachteten Modells.
- Die Angabe einer Mindestanzahl zu platzierender Artikel bezieht sich bei der Artikelverbund- und MiniMax-Regel auf die Anzahl unterschiedlicher Artikel in der auslösenden Bedingung. In welcher Zone Artikel platziert werden ist nicht von Bedeutung. Bei der Leistungsänderungs- und Sortimentsaufteilungsregel hingegen, gehen gleiche Artikel in unterschiedlichen Zonen in die Berechnung ein.

Für die Verarbeitung der Regeln werden weitere Hilfsvariablen eingeführt, die unabhängig von der Platzierung in mehreren Zonen angeben, ob ein Artikel platziert ist. Insbesondere bei der Artikelverbund- und MiniMax-Regel ist es für die Anwendung nicht ausschlaggebend, ob ein Artikel in einer oder mehreren Zonen platziert wird.

Die Definitionen des Modells zur Sortimentsoptimierung (siehe Kapitel 5.4.1) werden übernommen und wie folgt ergänzt:

Indexmengen:

O Zonen

O_i Zonen, in denen Artikel i platziert werden darf, $O_i \subset O$

I_o Artikel, die in einer Zone o platziert werden dürfen, $I_o \subset I$

I_o^1 Artikel, die ausschließlich in einer Zone platziert werden dürfen, $I_o^1 \subset I$

Indexe:

o Zonenindex, $o \in O$

Entscheidungsvariablen:

G_i 1, wenn Artikel i platziert wird, sonst 0, $G_i \in \{0,1\}$, $i \in I_v \cup i_2 \cup I_m^a \cup I_m^f$

Parameter:

Q_i Gibt die maximale Anzahl von Zonen an, in der Artikel i platziert werden darf,
 $Q_i \in \mathbb{N}$, $Q_i \leq |O|$

Des weiteren werden folgende Redefinitionen vorgenommen:

Entscheidungsvariablen:

$Y_{i,j,n,o}$ 1, wenn Artikel i auf Regalboden j in der Facinganzahl n in Zone o platziert wird, sonst 0

Parameter:

$C_{i,j,n,o}$ Leistungskennzahl des Artikels i auf Regalboden j in Facinganzahl n in Zone o
 [GE]

$L_{j,o}$ Länge des Regalbodens j in Zone o [LE]

Zielfunktion:

$$\text{Maximiere } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} C_{i,j,n,o} * Y_{i,j,n,o} + \sum_{l \in R^{L^+}} Z_l^+ - \sum_{l \in R^{L^-}} Z_l^- \quad (5.5.1 - 1)$$

Kontaktstreckenlimitation:

$$\sum_{i \in I_j \cap I_o} \sum_{n \in N_i} (n * (K_i + B)) * Y_{i,j,n,o} \leq L_{j,o} + B \quad , \quad \forall j \in J, o \in O \quad (5.5.1 - 2)$$

Die zur Verfügung stehende Kontaktstrecke darf nicht überschritten werden.

Platzierungslimitation Einmalplatzierung:

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} \leq 1 \quad , \quad \forall i \in I_o^1 \quad (5.5.1 - 3)$$

Ein Artikel darf in genau einer Zone platziert werden.

Platzierungslimitation Mehrfachplatzierung:

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} \leq Q_i \quad , \quad \forall i \in I \setminus I_o^1 \quad (5.5.1 - 4)$$

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} Y_{i,j,n,o} \leq 1 \quad , \quad \forall i \in I \setminus I_o^1, \forall o \in O_i \quad (5.5.1 - 5)$$

Ein Artikel kann in mehreren Zonen platziert werden, in jeder Zone aber nur einmal.

Kompetenzartikel:

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} = 1 \quad , \quad \forall i \in I_o^1 \cap K^+ \quad (5.5.1 - 6)$$

Ein Kompetenzartikel muss über alle Zonen hinweg genau einmal platziert werden.

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} \geq 1 \quad , \quad \forall i \in I \setminus I_o^1 \cap K^+ \quad (5.5.1 - 7)$$

Ein Kompetenzartikel muss in mindestens einer Zone platziert werden.

Ausschlussartikel:

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} = 0, \quad \forall i \in K \quad (5.5.1 - 8)$$

Ein Ausschlussartikel darf nicht platziert werden.

Artikelverbundregel:

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} \leq G_i * Q_i, \quad \forall i \in I_v \cup i_2 \quad (5.5.1 - 9)$$

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} \geq G_i, \quad \forall i \in I_v \cup i_2 \quad (5.5.1 - 10)$$

Die Hilfsvariable G_i nimmt den Wert 1 an, wenn der Artikel i platziert wird.

Untertyp 1: Wenn I_v platziert wird, muss auch i_2 platziert werden.

$$\sum_{i_1 \in I_v} G_{i_1} - G_{i_2} \leq |I_v| - 1 \quad (5.5.1 - 11)$$

$$, i_1 \in I_v, i_2 \notin I_v, 0 < |I_v|, \forall v \in R^V \wedge v \text{ vom Untertyp 1}$$

Untertyp 2: I_v und i_2 dürfen nicht gemeinsam platziert werden.

$$\sum_{i_1 \in I_v} G_{i_1} + |I_v| * G_{i_2} \leq |I_v| \quad (5.5.1 - 12)$$

$$, i_1 \in I_v, i_2 \notin I_v, 0 < |I_v|, \forall v \in R^V \wedge v \text{ vom Untertyp 2}$$

Untertyp 3: Wenn nicht I_v platziert wird, dann muss i_2 platziert werden.

$$\sum_{i_1 \in I_v} G_{i_1} + |I_v| * G_{i_2} \geq |I_v| \quad (5.5.1 - 13)$$

$$, i_1 \in I_v, i_2 \notin I_v, 0 < |I_v|, \forall v \in R^V \wedge v \text{ vom Untertyp 3}$$

Untertyp 4: Wenn mindestens $AMIN_v$ Artikel aus I_v platziert werden, dann muss auch i_2 platziert werden.

$$\sum_{i_1 \in I_v} G_{i_1} \leq (AMIN_v - 1) + (|I_v| - AMIN_v + 1) * G_{i_2} \quad (5.5.1 - 14)$$

$$, i_1 \in I_v, i_2 \notin I_v, 0 < AMIN_v \leq |I_v|, \forall v \in R^V \wedge v \text{ vom Untertyp 4}$$

MiniMax-Regel (Artikelgruppenverbund):

$$\sum_{j \in J} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} \leq G_i * Q_i \quad , \quad \forall i \in I_m^a \cup I_m^f \quad (5.5.1 -15)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} \geq G_i \quad , \quad \forall i \in I_m^a \cup I_m^f \quad (5.5.1 -16)$$

Die Hilfsvariable G_i nimmt den Wert 1 an, wenn der Artikel i platziert wird.

Auslösebedingung für Untertyp 1

$$A_m = 1 \quad , \quad \forall m \in R^M \wedge m \text{ vom Untertyp 1} \quad (5.5.1 -17)$$

Auslösebedingung für Untertyp 2

$$\sum_{i \in I_m^a} G_i \leq |I_m^a| - 1 + A_m \quad , \quad \forall m \in R^M \wedge m \text{ vom Untertyp 2} \quad (5.5.1 -18)$$

$$\sum_{i \in I_m^a} G_i \geq |I_m^a| * A_m \quad , \quad \forall m \in R^M \wedge m \text{ vom Untertyp 2} \quad (5.5.1 -19)$$

Auslösebedingung für Untertyp 3

$$\sum_{i \in I_m^a} G_i - |I_m^a| * A_m \leq AMIN_m - 1 \quad , \quad \forall m \in R^M \wedge m \text{ vom Untertyp 3} \quad (5.5.1 -20)$$

$$\sum_{i \in I_m^a} G_i \geq AMIN_m * A_m \quad , \quad \forall m \in R^M \wedge m \text{ vom Untertyp 3} \quad (5.5.1 -21)$$

Folge Mindestanzahl

$$\sum_{i \in I_m^f} G_i - FMIN_m * F_m \geq 0 \quad , \quad \forall m \in R^M \quad (5.5.1 -22)$$

Folge Maximalanzahl

$$\sum_{i \in I_m^f} G_i + \left(|I_m^f| - FMAX_m \right) * F_m \leq |I_m^f| \quad (5.5.1 -23)$$

$$, \quad |I_m^a|, |I_m^f|, AMIN_m, FMIN_m > 0,$$

$$FMIN_m \leq FMAX_m \leq |I_m^f|, \quad \forall m \in R^M$$

Verknüpfung der Hilfsvariablen

$$A_m - F_m \leq 0 \quad , \quad \forall m \in R^M \wedge m \text{ vom Untertyp 2 \& 3} \quad (5.5.1 -24)$$

Leistungsänderungs-Regel:

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} \leq G_i * Q_i \quad , \quad \forall i \in I_l \quad (5.5.1 -25)$$

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} \geq G_i \quad , \quad \forall i \in I_l \quad (5.5.1 -26)$$

Die Hilfsvariable G_i nimmt den Wert 1 an, wenn der Artikel i platziert wird.

$$\sum_{i \in I_l} G_i - H_l \leq |I_l| - 1 \quad , \quad \forall l \in R^L \quad (5.5.1 -27)$$

$$|I_l| * H_l \leq \sum_{i \in I_l} G_i \quad , \quad \forall l \in R^L \quad (5.5.1 -28)$$

$$Z_l^+ - d_l * \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} C_{i,j,n,o} * Y_{i,j,n,o} \leq M * (1 - H_l) \quad , \quad \forall l \in R^{L^+} \quad (5.5.1 -29)$$

$$Z_l^+ - d_l * \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} C_{i,j,n,o} * Y_{i,j,n,o} \geq -M * (1 - H_l) \quad , \quad \forall l \in R^{L^+} \quad (5.5.1 -30)$$

$$Z_l^+ \leq M * H_l \quad , \quad \forall l \in R^{L^+} \quad (5.5.1 -31)$$

$$Z_l^- - d_l * \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} C_{i,j,n,o} * Y_{i,j,n,o} \leq M * (1 - H_l) \quad , \quad \forall l \in R^{L^-} \quad (5.5.1 -32)$$

$$Z_l^- - d_l * \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} C_{i,j,n,o} * Y_{i,j,n,o} \geq -M * (1 - H_l) \quad , \quad \forall l \in R^{L^-} \quad (5.5.1 -33)$$

$$Z_l^- \leq M * H_l \quad , \quad \forall l \in R^{L^-} \quad (5.5.1 -34)$$

Sortimentsaufteilungs-Regel (prozentual):

Summation über die belegte Kontaktstrecke

$$\sum_{i \in I_s} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} (n * (K_i + B)) * Y_{i,j,n,o} - X_s = 0 \quad , \forall s \in R^{S^p} \quad (5.5.1 -35)$$

Mindestanteil

$$X_s \geq \sum_{j \in J} (L_j + B) * PMIN_s \quad , \forall s \in R^{S^p} \quad (5.5.1 -36)$$

Maximalanteil

$$X_s \leq \sum_{j \in J} (L_j + B) * PMAX_s \quad , \forall s \in R^{S^p} \quad (5.5.1 -37)$$

Sortimentsaufteilungs-Regel (absolut):

Mindestanzahl

$$\sum_{i \in I_s} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} \geq AMIN_s \quad , \forall s \in R^{S^a} \quad (5.5.1 -38)$$

Maximalanzahl

$$\sum_{i \in I_s} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N_i} \sum_{o \in O_i} Y_{i,j,n,o} \leq AMAX_s \quad , \forall s \in R^{S^a} \quad (5.5.1 -39)$$

5.5.2 Bestimmung von Standardlayouts

Die bisher vorgestellten Modelle bestimmen auf Basis eines einzelnen Outlets anhand der gegebenen Daten und Regeln ein optimales Sortiment. Das Ergebnis wird im Anschluss in der Regel mit Hilfe einer Space Management-Software graphisch aufbereitet (Merchandising) und dient dann als Vorlage für den tatsächlichen Regalaufbau im Outlet. So können sehr unterschiedliche Layouts gleicher Sortimentsteile aufgrund verschiedener standortspezifischer Kundenanforderungen in den Outlets entstehen. Mit der Auswertung von Abverkaufsdaten und der Ableitung standortspezifischer Regeln werden dem Mikromarketing zusätzliche Möglichkeiten eröffnet.

In einigen Fällen ist die Durchführung der standortspezifischen Sortimentsoptimierung jedoch nicht möglich, z. B. wenn Daten vom POS nicht erhältlich oder von schlechter Qualität sind. Auch ein Wettbewerb über den Vertriebsschientyp kann es aus strategischen Gründen notwendig machen, standardisierte Sortimente zum Aufbau einer Vertriebsschienenidentität zu entwickeln. Des Weiteren sind zur Durchführung der standortspezifischen Sortimentsoptimierung ein höherer Personalaufwand einzurechnen, als bei der Erstellung weniger Standardsortimente, da der Nachbearbeitungsschritt mit einem Space Management-Tool ein sowohl personal- als auch zeitintensiver Prozess ist. Aufgrund des Kostendrucks kann der Aufwand nicht immer für einzelne Outlets begründet werden, zumal es Spezialisten sowohl für die Durchführung der Sortimentsoptimierung als auch für die Sortimentsaufbereitung mit einer Space Management-Software erfordert. Mit der Erstellung eines standardisierten Sortiments für eine Vielzahl von Outlets kann der Planungsaufwand erheblich verringert werden.

Mit der Erstellung von Standardsortimenten und damit Standardlayouts, die mit wenigen Abweichungen einheitlich für eine Anzahl von Outlets erstellt werden, kann eine Aufwandsreduktion aus Sicht des Anwenders erfolgen. Daneben kann auch die Erstellung von Standardbausteinen den Aufwand verringern. Hier bilden Standardbausteine kleinere Sortimentseinheiten, die miteinander zu einem Gesamtsortiment kombiniert werden (siehe auch Kapitel 4.2 *mySAP Retail*). Die Bestimmung von Standardbausteinen mit Hilfe der Mathematischen Optimierung ist ebenfalls möglich, soll hier aber nicht weiter ausgeführt werden.⁶³

⁶³ Anhang 1 enthält eine mögliche Modellformulierung.

Für die Bestimmung von Standardlayouts ist eine Aufgliederung der Outlets in Outletgruppen sinnvoll. So ist die Verkaufsfläche ein Gliederungskriterium, die für das betrachtete Sortiment reserviert ist. Bei unterschiedlich großen Gesamtverkaufsflächen der Outlets ergeben sich üblicherweise verschieden große Verkaufsflächen für die einzelnen Sortimente, so dass Layouts größenabhängig gebildet werden müssen. Ein weiteres Gliederungskriterium für Handelsunternehmen ergibt sich aus unterschiedlichen Vertriebslinien. So hat der hohe Konzentrationsgrad im Einzelhandel mit der Entstehung von Handelsgiganten dazu geführt, dass sich diese Unternehmen oft in mehreren Konsumgütermärkten betätigen. Die Vertriebslinien, welche sich durch unterschiedliche Märkte, Betriebstypen, Preis- und Sortimentsgestaltung unterscheiden, werden als Marke zumeist in eigenständigen Unternehmenseinheiten geführt.⁶⁴ Mit der zunehmenden Internationalisierung kommt zusätzlich eine geographische oder länderspezifische Dimension hinzu. Neben einer Vielzahl weiteren Gliederungskriterien soll hier noch die Gliederung orientiert an der Vertriebsstruktur des Unternehmens angeführt werden. Dabei können gebietsspezifische Sortimentsanforderungen einfließen. Eine Anlehnung an existierende Strukturen entlang der vorhandenen Kompetenzverteilung erleichtert zudem die spätere Umsetzung der Standardlayouts in den Verkaufsstellen.

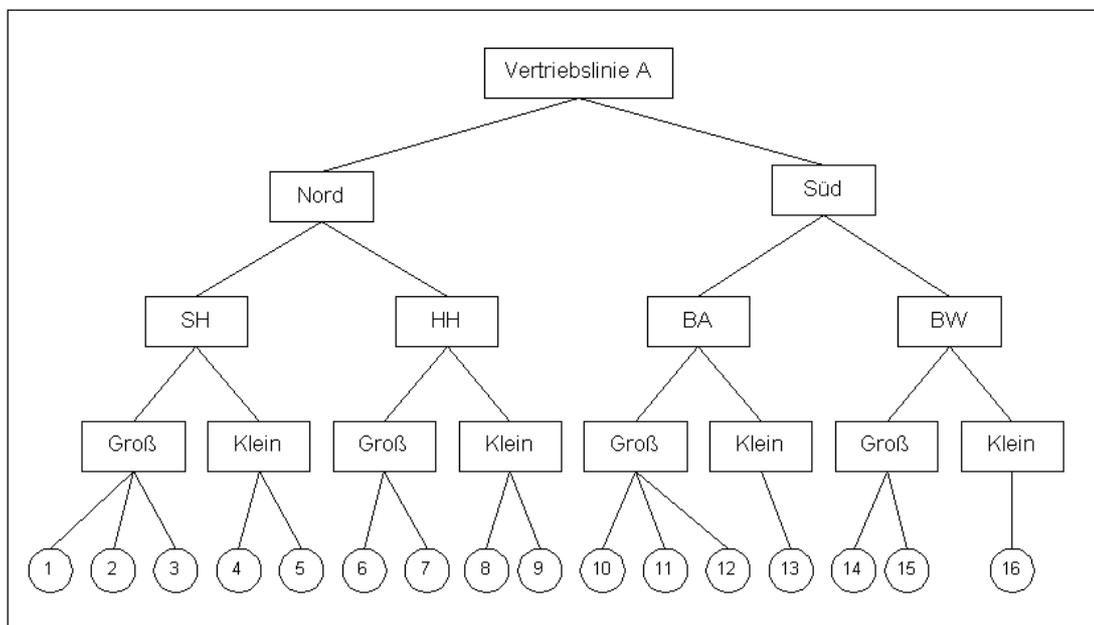


Abbildung 37: Beispielhafte Vertriebsstruktur

⁶⁴ So werden z.B. unter dem Konzerndach der *Metro AG* Großhandel (*Metro Cash & Carry GmbH*), Warenhäuser (*Real Holding GmbH* und *Kaufhof Warenhaus AG*), Verbrauchermärkte (*Extra Verbrauchermärkte GmbH*), Elektronik-Fachmärkte (*Media-Saturn-Holding GmbH*), Baumärkte (*Praktiker-Bau- und Heimwerkermärkte AG*) als eigene Marken betrieben (siehe *Metro (2002)*).

Abbildung 37 zeigt beispielhaft den Aufbau einer Vertriebsstruktur bzw. Vertriebsorganisation eines Handelsunternehmens mit mehreren Vertriebslinien. Die weitere Aufschichtung erfolgt auf Basis unterschiedlicher Vertriebsgebiete. Auf unterster Gliederungsebene wird eine Größeneinteilung vorgenommen, zu denen die einzelnen Outlets zugeordnet werden. Die Outlets sind hier zur verständlicheren Darstellung der Standardlayoutproblematik in der Abbildung aufgenommen worden.

Für jede Gruppierung von Outlets erfolgt über die Aggregation ihrer Leistungsdaten eine Sortimentsoptimierung. Je nach Bestimmung des Ablaufs der einzelnen Optimierungen besteht die Möglichkeit, Ergebnisse anderer Optimierungen einzubeziehen. So kann es notwendig sein, dass zur Darstellung einer Sortimentskompetenz in einer Vertriebschiene ein bestimmtes Kernsortiment generell platziert sein muss, oder, dass ein gegebener Sortimentsanteil über alle Standardlayouts deckungsgleich sein soll.

		Größenklassen		
		Groß (80 m)	Mittel (50 m)	Klein (20 m)
Absatzgebiete	National	50 %	50 %	60 %
	Regional	20 %	30 %	30 %
	Lokal	30 %	20 %	10 %
		100 %	100 %	100 %

Tabelle 13: Übereinstimmungsmatrix

		Größenklassen		
		Groß (80 m)	Mittel (50 m)	Klein (20 m)
Kriterium: Kontaktstrecke in Metern				
Absatzgebiete	National	40	25	12
	Regional	16	15	6
	Lokal	24	10	2
		80	50	20

Tabelle 14: Kriterienmatrix

Tabelle 13 beschreibt eine Übereinstimmungsmatrix, in der ein Übereinstimmungsanteil des Sortiments bezogen auf die verfügbare Kontaktstrecke angegeben ist. Umgerechnet auf die gegebenen Kontaktstreckenlängen ergibt sich die Kriterienmatrix (vgl. Tabelle 14), deren Koeffizienten die Länge der Kontaktstrecke angeben, für die ein Sortiment ermittelt wird. Für die Größenklasse „Groß“ in Tabelle 14 bedeutet dies, dass ein nationaler Sortimentsanteil bestimmt wird, der für 40 Meter Kontaktstrecke ausgelegt ist. Für die Regionen stehen jeweils 16 Meter Kontaktstrecke für einen regionalen Sortiments-

anteil und auf lokaler Outletebene weitere 24 Meter zur Erfüllung spezieller Kundenbedürfnisse vor Ort zur Verfügung. Als Folge ist in den Outlets einer gegebenen Region der Größenklasse „Groß“ das Sortiment für mindestens 56 Meter identisch. Neben der rein spaltenweisen Betrachtung kann zusätzlich eine zeilenweise Interpretation der Tabelle 14 eingeführt werden. Dies ist dann notwendig, wenn ein bestimmter Sortimentsteil über Spalten hinweg übereinstimmen soll, so dass in den unterschiedlich großen Verkaufsstellen ein bestimmter Sortimentsteil deckungsgleich ist.

Für die Bestimmung von Standardlayouts ist kein eigenständiges mathematisches Modell notwendig, statt dessen können die bereits vorgestellten Modelle verwendet werden. Standardlayouts werden über eine Aggregation der Leistungsdaten erzeugt. Anhand der Vertriebsstruktur aus Abbildung 37 zeigt die Tabelle 15 schematisch das Vorgehen auf: Zunächst werden auf nationaler Ebene die Leistungsdaten aller Verkaufsstellen nach „Groß“ und „Klein“ getrennt aggregiert. Mit diesen Daten werden zwei Optimierungen durchgeführt und ein jeweils optimales Sortiment für „Groß“ und „Klein“ ermittelt. Die Sortimentsgröße orientiert sich dabei an der für diese Ebene vorgesehene Kontaktstreckenlänge. Als fixer Sortimentsteil gehen die ermittelten Sortimente dann in die Optimierung der Regionen ein. Auf lokaler Ebene werden schließlich nur noch die lokalen Leistungsdaten aggregiert und die verbleibende Kontaktstrecke unter Einbeziehung der bereits festgelegten Sortimentsteile optimiert.

	Groß	Klein	Anzahl Optimierungen
National	1,2,3,6,7,10,11,12,14,15	4,5,8,9,12,16	2
Regional			4
Nord	1,2,3,6,7	4,5,8,9	
Süd	10,11,12,14,15	13,16	
Lokal			8
SH	1,2,3	4,5	
HH	6,7	8,9	
BA	10,11,12	13	
BW	14,15	16	
			Summe 14

Tabelle 15: Outletgruppierung bei Standardlayouts

5.5.3 Konsistenzprüfung von Regeln

Die Verwendung von Regeln in den vorgestellten Modellen kann dazu führen, dass eine Sortimentsbestimmung z. B. aufgrund widersprüchlicher Regel nicht möglich ist. Für die praktische Anwendung ist es notwendig, Inkonsistenzen innerhalb des Regelsystems aufzudecken und diese dem Benutzer entsprechend mitzuteilen. Die Konsistenzprüfung dient also dazu, die Benutzbarkeit der Modelle für den praktischen Anwendungsfall sicherzustellen, indem Nichtlösbarkeiten plausibel aufgezeigt werden. Dafür lassen sich bereits vor der Optimierung einfache Konsistenzprüfungen durchführen:

- **Kontaktstrecke der Kompetenzartikel**

Die Summe der Kontaktstrecke der Kompetenzartikel darf nicht größer sein als die Gesamtkontaktstrecke.

- **Kompetenzartikel/Ausschlussartikel**

Ein als Kompetenzartikel ausgewiesener Artikel darf nicht gleichzeitig ein Ausschlussartikel sein.

- **Sortimentsaufteilung**

Die Summe der prozentualen minimalen Anteile der einzelnen Sortimente darf den Wert von 100 Prozent nicht überschreiten.

- **Artikelanzahl**

Die Summe der Kontaktstrecken für minimale Artikelanzahlen von Artikelgruppen darf die Gesamtkontaktstrecke nicht übersteigen.

Da Regeln ein komplexes Beziehungsgeflecht aufweisen, kann eine komplexe Konsistenzprüfung durch das Lösen eines LP durchgeführt werden. Zur Erläuterung der Problematik dient folgendes Beispiel: Im Rahmen einer Optimierung sollen die aufgeführten Regeln zur Anwendung kommen:

- Regel 1: Artikel A und Artikel B müssen gemeinsam platziert werden.
- Regel 2: Wenn Artikel A platziert wird, darf nicht Artikel B platziert werden.
- Regel 3: Wenn Artikel A platziert wird, muss auch Artikel B platziert werden.

In gegebenem Beispiel können nicht alle Regeln gleichzeitig zur Anwendung kommen, da Regel 2 mit den anderen beiden Regeln unvereinbar ist. Regel 1 ist hingegen mit Regel 3 verträglich und kann als Verschärfung von Regel 3 verstanden werden.

Die Überprüfung der Vereinbarkeit von Regeln kann durch das Lösen eines LPs erfolgen (siehe *Mertens (2001)*). Neben der Modellierung von Entscheidungsvariablen für die Artikel wird jede Regel zusätzlich mit einer kontinuierlichen Entscheidungsvariablen verknüpft. Sind für eine Regel mehrere Modellrestriktionen notwendig, wird für jede Restriktion eine Entscheidungsvariable erzeugt. Diese zusätzlichen „Hilfsvariablen“ werden in der Form in das Modell integriert, dass sie bei Aktivität die Restriktion im Modell markieren, die zu einer Unzulässigkeit geführt haben. Da jede „Hilfsvariable“ mit einer Regel korrespondiert, kann über diese Modellierung eine widersprüchliche Regel entdeckt werden. Tabelle 16 zeigt das obige Beispiel als Tableau-Darstellung im ClipMOPS-Format⁶⁵. Neben den Variablen für die Artikel A und B sind für jede Regel ebenfalls Variablen vorhanden. In der letzten Zeile des Tableaus werden die Aktivitäten der Variablen dargestellt und es ist abzulesen, dass die Variable für Regel 2 eine Aktivität aufweist.

Die Aktivität einer Hilfsvariablen deutet darauf hin, dass nicht alle Regeln gemeinsam eingehalten werden können. Leider ist eine weitergehende Aussage nicht ohne zusätzliche Untersuchungen möglich, denn auch bei einer Entfernung der Regel 2 aus dem Modell sind weitere Unvereinbarkeiten möglich. Durch unglückliche Regelkombination kann eine fortschreitende Elimination unvereinbarer Regeln dazu führen, dass im schlechtesten Fall alle Regeln bis auf eine eliminiert werden.

Regeltest	A	B	Regel1	Regel2	Regel3	TYP	RHS
Min							
LB			-INF	-INF	-INF		
UB	1	1	INF	INF	INF		
TYP	BIN	BIN	CON	CON	CON		
Regel1	1	-1	1			=	0
Regel2	1	1		1		<=	1
Regel3	1	-1			1	<=	0
Activity	0	0	0,00	1,00	0,00		0,00

Tabelle 16: Regeltest im ClipMOPS-Tableau

⁶⁵ ClipMOPS ist ein Microsoft® Excel-basiertes Front-End zur Optimierungssoftware MOPS®, in dem in einem festgelegtem Format LP/IP-Modelle erstellt und optimiert werden können (siehe URL: <http://www.mops.fu-berlin.de/> (Abruf am 14.1.2003)).

Da die Verletzung von Regeln zudem datenabhängig ist, erscheint eine in der allgemeinen Form vorgestellten Regelkonsistenzprüfung nicht sinnvoll. In der Anwendung wurde das Modell zur Sortimentsoptimierung mit entsprechenden Hilfsvariablen ergänzt. Diese können durch unterschiedliche Kosten in der Zielfunktion eine Verletzung von Regeln gezielt beeinflussen. Über derartige Prioritäten kann eine Abwägung wichtiger Regeln vor unwichtigeren vorgenommen und trotz Widersprüche ein Sortiment bestimmt werden. Der Sortimentsvorschlag der Optimierung und die Ausgabe der gegebenenfalls verletzten Regeln geben dem Entscheider damit eine Basis für die tatsächliche Umsetzung.