

KATHOLISCHE UNIVERSITÄT
EICHSTÄTT-INGOLSTADT
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät



KATHOLISCHE UNIVERSITÄT
EICHSTÄTT-INGOLSTADT



Kurzfassung der Einzelbeiträge der
kumulativen Dissertation über das Thema

Optimization models for shelf space allocation in retail stores
(Optimierungsmodelle zur Regalplatzbelegung im Einzelhandel)

Gemäß § 5 Promotionsantrag Abs. 3 der Promotionsordnung der
Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der KU Eichstätt-Ingolstadt
vom 1. Oktober 2015

Verfasser: Tobias Düsterhöft (M.Sc.)

Anschrift: Klosterfeld 25
85290 Geisenfeld

Erstgutachter: Prof. Dr. Alexander Hübner
TU München
Lehrstuhl für Supply and Value Chain Management

Zweitgutachter: Prof. Dr. Heinrich Kuhn
KU Eichstätt-Ingolstadt
Lehrstuhl für Supply Chain Management & Operations

Zusammenfassung

Die kumulative Dissertation „Optimization models for shelf space allocation in retail stores“ (Optimierungsmodelle zur Regalplatzbelegung im Einzelhandel) setzt sich aus den nachfolgend genannten vier wissenschaftlichen Einzelbeiträgen zusammen:

1. Düsterhöft, Tobias, Hübner, Alexander und Schaal, Kai (2020): A practical approach to the shelf-space allocation and replenishment problem with heterogeneously sized shelves.
Status: Veröffentlicht im European Journal of Operational Research 228(1), 252–266.
2. Hübner, Alexander, Düsterhöft, Tobias und Ostermeier, Manuel (2020): An optimization approach for product allocation with integrated shelf space dimensioning in retail stores.
Status: Eingereicht im European Journal of Operations Research am 28. Februar 2020
3. Ostermeier, Manuel, Düsterhöft, Tobias und Hübner, Alexander (2020): A model for the store wide shelf space allocation.
Status: Eingereicht im Omega Journal am 28. Mai 2020
4. Düsterhöft, Tobias (2020): Retail shelf space planning - Differences, problems and opportunities of applied optimization models.
Status: Veröffentlicht im Social Science Research Network (SSRN) am 21.05.2020

Die Planung und bestmögliche Ausnutzung des verfügbaren Regalplatzes ist von zentraler Bedeutung für Einzelhändler. Regalplatz ist in Filialen heutzutage eine knappe Ressource. Regalplaner müssen versuchen im Rahmen der Produktallokation - also der Zuweisung eines Produktes auf einen bestimmten Platz im Regal - optimale Entscheidungen zu treffen. Hierzu wurden von Forschern bereits mehrere Entscheidungsunterstützungsmodelle entwickelt. Diese haben in der Regel gemeinsam, dass sie eine Entscheidung über die Anzahl der Facings je Produkt liefern. Ein Facing ist eine sichtbare Verkaufseinheit eines Produktes im Regal. Hinter einem Facing können sich in Abhängigkeit der Regaltiefe noch weitere Verkaufseinheiten befinden. Mit einer Erhöhung der Facings wird also immer die Sichtbarkeit für den Kunden erhöht, was mit einer gewissen Steigerung der Nachfrage in Verbindung gebracht wird, der sogenannten Raumelastizität.

Inhalt dieser Dissertation sind Optimierungsmodelle, die bestehende Ansätze zur Produktallokation signifikant erweitern und somit eine praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse ermöglichen. Im Rahmen eines Praxisprojekts konnten wesentliche neue Inhalte für die Produktallokation ermittelt werden. Die resultierenden Optimierungsmodelle bauen aufeinander auf. Zunächst wird im 1. Beitrag die Produktallokation um eine exakte Berücksichtigung des Regalplatzes erweitert. Die sich daraus ergebende Frage des optimalen Regalaufbaus ist zentraler Teil des 2. Beitrages. Wenn die Einhängungen von Fachböden im Regal neu ermittelt werden, stellt sich simultan die Frage nach der optimalen Gesamtregalfläche je Kategorie. Diese Frage wird im 3. Beitrag behandelt. Schließlich werden im 4. Beitrag neue Forschungsfelder anhand aktueller Realprozesse ermittelt.

1 A practical approach to the shelf-space allocation and replenishment problem with heterogeneously sized shelves

(Düsterhöft et al. [2020])

Bei der Verteilung des verfügbaren Regalplatzes innerhalb einer Kategorie müssen Einzelhändler entscheiden, wie viel Fläche jedes einzelne Produkt zugewiesen bekommt. Die Gesamtregalmenge eines Produktes resultiert durch die Möglichkeiten der Hintereinanderreihung sowie Stapelung von Produkten in Abhängigkeit der Anzahl an Facings. Je nach produktindividueller Nachfrage ergibt sich hierdurch innerhalb einer Planungsperiode die Notwendigkeit einzelne Produkte nachzufüllen. Die Entscheidungen (1) der Anzahl an Facings und (2) der Wiederauffüllungshäufigkeit eines Produktes sind somit voneinander abhängig. Aktuelle wissenschaftliche Ansätze zur Regalplatzoptimierung abstrahieren den verfügbaren Regalplatz oft zu einem eindimensionalen Wert oder berücksichtigen lediglich mehrere gleichdimensionierte Fachböden. In der Praxis zeichnet sich hier dagegen ein anderes Bild. Regalböden haben unterschiedliche Abstände zueinander und können unterschiedliche Tiefen aufweisen. Somit ist die mögliche Gesamtmenge eines Produktes im Regal abhängig vom ausgewählten Regalboden. Für die Berechnung der notwendigen Wiederbefüllhäufigkeit muss diese Gesamtregalmenge möglichst genau vorliegen. Ebenso spielen die Regaldimensionen für die Repräsentation eines Produktes über die Anzahl der Facings eine wichtige Rolle. Unterschiedlich hohe Regalböden bieten unterschiedliche Möglichkeiten Produkte zu stapeln. Die Stapelung erhöht und vermindert die Sichtbarkeit eines Produktes für den Kunden ähnlich wie die horizontale Anzahl der Facings. Für eine möglichst genaue und optimale Ausnutzung des verfügbaren Regalplatzes spielen daher die exakten Regaldimensionen eine äußerst wichtige Rolle.

Im Beitrag „A practical approach to the shelf-space allocation and replenishment problem with heterogeneously sized shelves“ wird ein Optimierungsmodell entwickelt, das eine dreidimensionale Berücksichtigung des Regalplatzes ermöglicht. Regaldimensionen können individuell je Fachboden definiert werden. Zudem können neben der raumelastischen Nachfrage über die Anzahl der Facings auch unterschiedliche Positionen im Regal die Nachfrage beeinflussen. Das Ziel des Modells ist die Maximierung des Gesamtprofits einer Kategorie in einem definierten Planungshorizont unter Berücksichtigung der entstehenden Logistikkosten. Das Modell beinhaltet dazu verschiedene Entscheidungsvariablen: (1) Die Anzahl der Facings (horizontal und vertikal) je Produkt, sowie (2) die Auswahl eines spezifischen Fachbodens und (3) die Ermittlung notwendiger produktindividueller Wiederbefüllfrequenzen. Numerische Analysen im Beitrag zeigen, wie wichtig die Berücksichtigung der Regaldimensionen zur Lösung des Planungsproblems ist. Zudem wurden Ergebnisse des Optimierungsmodells in einem Feldtest in mehreren Testfilialen in Deutschland angewandt und im Vergleich zu Referenzfilialen über 1 Jahr gemessen. In den Testfilialen konnte der Profit um durchschnittlich 9,1% gesteigert werden.

2 An optimization approach for product allocation with integrated shelf space dimensioning in retail stores

(Hübner et al. [2020])

Die Berücksichtigung unterschiedlicher Regal- und Fachbodendimensionen für die Produktallokation mit Optimierungsmodellen ist essentiell. Die hierzu verwendeten Regalaufbauten sind dabei keineswegs von vornherein festgelegt. Werden Kategorien neu geplant und aufgebaut, müssen Regalplaner die einzelnen Regale zunächst mit leeren Fachböden ausstatten. Dabei wird über die Gesamtzahl der Fachböden ebenso wie über deren jeweilige Höhe entschieden. Außerdem besteht die Möglichkeit nach gewissen Gestaltungsrichtlinien auch unterschiedlich tiefe Fachböden zu verwenden. Der Aufbau der Regale für eine Kategorie beeinflusst unmittelbar die Möglichkeiten zur Platzierung der einzelnen Produkte. Bereits eine geringfügige Änderung der Einhängpunkte der Fachböden kann die Stapelung von Produkten beeinflussen. Regalplaner haben hierbei oft erhöhten Planungsaufwand, wenn sich erst bei der Produktallokation herausstellt, dass ein Fachboden hinsichtlich seiner Dimensionen suboptimal ist. Beachtet man zusätzlich, dass die Regale einer Kategorie jeweils unterschiedliche Aufbauten erhalten können, wird die hohe Komplexität dieses Planungsproblems deutlich. Eine gute Entscheidung über die Dimensionen der einzelnen Fachböden kann nur unter Berücksichtigung der spezifischen Produkte einer Kategorie erfolgen. Insbesondere die jeweiligen Produktdimensionen haben Einfluss auf die notwendige Gestaltung der Regale. Darüber hinaus sind weitere Effekte aus der Produktallokation zu berücksichtigen, wie z.B. Nachfrage- und Platzierungseffekte. Die Abhängigkeit zwischen diesen Planungsproblemen bei der Regaldimensionierung und der Produktallokation ist in aktuellen wissenschaftlichen Beiträgen kaum berücksichtigt. Demnach stehen Regalplanern hierzu auch keine Modelle zur Entscheidungsunterstützung zur Verfügung.

Eine Integration der beiden Planungsprobleme erfolgt im Beitrag „An optimization approach for product allocation with integrated shelf space dimensioning in retail stores“. Mit einem neuen Optimierungsmodell können simultan die Fragestellungen beider Planungsprobleme gelöst werden. Die Entscheidungsvariablen hierbei sind: (1) Die Anzahl der Fachböden je Regaleinheit, sowie (2) die Dimensionen (Höhe und Tiefe) der Fachböden kombiniert mit (3) der Entscheidung zur Produktallokation. Bei der Regaldimensionierung können dabei verschiedene Gestaltungsregeln berücksichtigt werden. Die Produktallokation beinhaltet eine raumelastische Nachfrage ebenso wie Platzierungseffekte in unterschiedlichen Regalbereichen. Das Optimierungsmodell reduziert den Planungsaufwand für Einzelhändler erheblich und kann dabei praxisrelevante Problemgrößen in kurzer Rechenzeit lösen.

3 A model for the store wide shelf space allocation

(Ostermeier et al. [2020])

Werden die Regale einer Kategorie neu aufgebaut oder wird eine Filiale komplett neu geplant, stellt sich die Frage nach der genauen Aufteilung der verfügbaren Ladenfläche. Erst wenn der Regalplatz je Kategorie ermittelt ist, können klassische Regalplatzmodelle die Produktallokation übernehmen. In einem übergeordneten Planungsschritt konkurrieren die Kategorien um den Gesamtplatz der Filiale. Dabei besteht das Planungsproblem darin, jeder Kategorie einen Anteil der verfügbaren Filialfläche zuzuweisen. Es muss zudem berücksichtigt werden, dass einzelne Kategorien zu sogenannten Warenbereichen zusammengefasst werden können, für welche zusätzliche Restriktionen gelten. Darüber hinaus erfordern unterschiedliche Kategorien unterschiedliche Regaltypen (z.B. Standardregal, Kühlregal, Wühltisch, etc.). Unterschiedliche Regaltypen beanspruchen unterschiedlich viel Platz und bieten auch hinsichtlich einer späteren Produktallokation unterschiedliche Möglichkeiten. Bei der Ermittlung des Regalplatzes je Kategorie gilt es zudem produktindividuelle Parameter zu berücksichtigen. So kann es sein, dass zwei Kategorien zwar hinsichtlich ihrer Profitabilität ähnlich sind, sich jedoch in ihren Produktdimensionen deutlich unterscheiden (z.B. Kosmetikartikel und Tiernahrung). Um eine ordentliche Produktallokation zu ermöglichen, muss die Kategorie Tiernahrung mehr Regalplatz erhalten als die Kategorie Kosmetik. Dieser Kompromiss kann nur getroffen werden, wenn bereits die wesentlichen Merkmale der Produktallokation bei der Aufteilung des gesamten Filialregalplatzes berücksichtigt werden. Aktuelle Ansätze zur Filialaufteilung vernachlässigen oftmals die Produktebene und abstrahieren Kategorien hinsichtlich ihrer Profitabilität. Bei der Entscheidung muss zudem berücksichtigt werden, dass bestimmte Warenbereiche mit Mindest- und Maximalausprägungen zu berücksichtigen sind.

Das entwickelte Optimierungsmodell im Beitrag „A model for the store wide shelf space allocation“ berücksichtigt verschiedene Hierarchiestufen. Ausgangspunkt ist der gesamte Regalplatz einer Filiale. Dieser wird unter Einhaltung der Warenbereichsgrenzen auf die Kategorien aufgeteilt. Die Zielfunktion soll den Gesamtprofit der Filiale maximieren. Entscheidend für den Platz, den eine Kategorie zugewiesen bekommt, ist dabei der daraus resultierende Kategorieprofit. Zur Lösung des komplexen Gesamtproblems werden zwei Optimierungsmodelle eingeführt. Der Lösungsansatz folgt dem Bottom-Up-Prinzip: (1) Mit einem ersten Modell zur Produktallokation werden potentiell Profite je Kategorie bestimmt. (2) In einem zweiten Modell wird auf Basis der Profitwerte für jede Kategorie eine optimale Regalbreite ermittelt. In beiden Fällen werden dabei individuelle Regalparameter berücksichtigt. Im Rahmen einer Fallstudie konnte eine Profitsteigerung in Höhe von +3,2 % für die gesamte Filiale errechnet werden. Die Effizienz des Ansatzes wird durch die Verarbeitung von Datensätzen mit bis zu 16.000 Einzelprodukten in wenigen Minuten belegt.

4 Retail shelf space planning - Differences, problems and opportunities of applied optimization models

(Düsterhöft [2020])

Sollen Modelle zur Regalplatzoptimierung im praktischen Umfeld eingesetzt werden, gibt es einige wichtige Punkte zu beachten. Eine genaue Feststellung des realen Planungsproblems, sowie des zugehörigen Prozesses ist unumgänglich. Nur so können relevante Entscheidungsgrößen ermittelt werden. Andererseits kann auch nur so festgelegt werden, was definitiv nicht mitentschieden werden darf (weil z.B. die Entscheidungskompetenzen verteilt sind). Im praktischen Umfeld erlangt der Nutzen von entscheidungsunterstützenden Optimierungsmodellen zwar zunehmend Bekanntheit, deren operativer Einsatz ist aber noch deutlich begrenzt. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass in manchen Fällen das Abstraktionsniveau der Optimierungsmodelle zu hoch ist und somit keine direkte praktische Umsetzung der Ergebnisse mehr möglich ist. Andererseits sind einzelne Bestandteile bzw. Parameter von Optimierungsmodellen in der Praxis nur sehr schwer zu ermitteln und ein Einsatz scheitert an der Datenverfügbarkeit. Generell ist belegt, dass der Einsatz von Regalplatzoptimierungsmodellen zur Profitsteigerung beitragen kann. Für eine breite Anwendung der Modelle in der Praxis gibt es jedoch noch Verbesserungsbedarf.

Im Beitrag „Retail shelf space planning - Differences, problems and opportunities of applied optimization models“ wird die Anwendbarkeit vorhandener Optimierungsmodelle untersucht. Dazu erfolgt eine Analyse des Realprozesses bei einem großen Lebensmittelhändler. Zudem werden existierende Ansätze hinsichtlich ihres Abstraktionsniveaus klassifiziert. Diese Klassifizierung unterteilt die Modelle in drei Stufen: (A) generische Modelle, (B) wissenschaftliche Modelle und (C) anwendbare Modelle. Einer Bewertung verschiedener Komponenten aus der Produktallokation hinsichtlich ihres Nutzens in der Praxis folgt eine Auflistung von möglichen zukünftigen Forschungsfeldern. Weitere Forschungen sind demzufolge in mehreren Bereichen notwendig: (1) Weitere Verbesserung der Regalplatzmodellierung, (2) Berücksichtigung von Produktgruppierung, (3) Reduzieren von (Neu)Planungsaufwänden, (4) Integration weiterer Positionierungsmöglichkeiten, (5) Ermittlung von verlässlichen Parametern für Nachfrageeffekte, (6) Einbeziehung weiterer Stakeholder und schließlich (7) Verbesserung der integrierten Sortimentsentscheidung.

Düsterhöft et al. [2020]

A practical approach to the shelf-space allocation and replenishment problem with heterogeneously sized shelves

This paper addresses the shelf-space and replenishment problem where a retailer must decide how much shelf space to assign to items and how frequently to replenish retail shelves. Since space is limited, these two decisions are interdependent. Existing optimization models approximate shelf sizes by reducing the shelf to a one-dimensional space. However, in practice shelf sizes and their shelf segments vary in width, height and depth. Without considering the actual shelf dimensions, results from optimization models cannot be transferred to actual shelves. To account for these constraints, we propose the first shelf-space model capable of modeling three-dimensional shelf characteristics. Our model determines optimal shelf quantities, an item's optimal shelf segment, as well as optimal replenishment frequencies. To do this we include a space-elastic function that impacts the customer demand for an item depending on its allocated shelf space. We also consider different shelf segments in different positions.

To solve the non-linear integer problem (NLIP), we develop an optimal solution approach based on precalculations to transfer the model into a binary-integer problem that considers logical item-specific bounds to significantly reduce computation time. We conduct various numerical analyses. First, we show that results are generated time-efficiently, even for large-scale data instances. We then analyze the extent to which the stylized assumption of a one-dimensional space results in non-feasible solutions in practice, thus underlining the necessity of our multi-dimensional model. Finally, the results of a field test in which model solutions were actually applied in practice show how one of the largest German grocery retailers was able to increase its profits across different categories and stores by 9.1% on average compared to a control group by using the approach.

An optimization approach for product allocation with integrated shelf space dimensioning in retail stores

Retail shelves are adjustable by varying the number of shelf boards as well as the height and depth of each shelf board. Shelf planners adjust the boards accordingly at regular intervals when they create the shelf plans and allocate products. Current shelf planning models assume given shelf configurations and allocate only products. However, the dimensioning of a shelf segment and product allocation are interdependent. For instance, the height of one segment may be reduced if only small products are allocated or products cannot be stacked.

This paper proposes the first integrated approach for shelf segment dimensioning and product allocation. It jointly determines the number of facings for each product, the shelf quantity and the size and number of shelf segments. We also identify and consider several restrictions for the shelf structure (e.g., technical options), allocation rules (e.g., maximum inventory reach) and allocation- and shelf-layout-dependent demand. We develop an algorithm that is based on the application of bounds that are obtained in preprocessing when applying business and logical constraints. Doing so, we provide an exact approach and generate feasible and optimal solutions in a time-efficient manner. We show that integrating shelf dimensioning into product allocation results in up to 5% higher profits than benchmarks available in literature. By means of a case study we show how processes can be improved, and that the retailer's profit margin can be improved by up to 7%.

A model for the store wide shelf space allocation

Store space is limited and one of the most costly resources of retailers. Retailers have to apportion available store space among the individual product categories of a store and therefore assign a certain share of shelf space to each category. All product categories use assortment-specific shelf types that are used to present the products of this category. Assigning more shelf space to one category requires reducing the number of shelves for another category as total space is limited. Reducing available shelf space in turn decreases assortment size and lessens the presentation quantity of products and vice versa. Both affect the demand of products and ultimately the profitability of the entire category such that the profit contribution of a category depends on its shelf size. This interrelation between category sizes and store profits needs to be taken into account for the shelf space allocation to both categories and individual products.

We introduce a store-wide shelf space model that optimizes shelf space allocation across categories based on a detailed allocation of products to shelves. We decompose the problem into two hierarchically interlinked subproblems and show that the solution approach suggested works efficiently and provides solutions that are applicable to large problems in retail practice. In a case study with a major European retailer, we show that profits at stores can be improved by 3.2% using our approach. Further, we use simulated data to generalize the findings and derive managerial insights.

Retail shelf space planning - Differences, problems and opportunities of applied optimization models

Shelf space optimization models receive high attention among researchers for years. The allocation of different products with a certain number of facings (a facing corresponds to one visible unit of the product on the shelf) to a limited shelf space is a catchy example of applying operations research methods for a practical use case. Some approaches are more of a generic kind in order to create a basic understanding of the possibilities of decision support models while others aim to investigate specific impacts of different factors (e.g., cross-space elasticity, cost functions). Further a set of approaches provide applicable decision support tools which can be used to determine (almost) final planograms for retail stores. Beside a lot of improvements provided by latest research retailers are subjected to a continuous development. The requirements for shelf space planning in practice are increasing with new technologies (e.g., planning software, data availability) and impacts from different research fields (e.g., marketing, food chemistry, logistics). When shelf space models are created these specifications should be considered closely in order to provide beneficial solutions. Indeed the intention of researchers and retailers doing shelf space planning might differ in many cases. During a collaborative research project with one of Europe's biggest food retailer over three years a lot of experience could be achieved and intensive comparisons between scientific work and practical requirements could be fulfilled.

Based on the experiences made during our collaboration where several optimization models were developed and whose results were actually applied to stores, in this paper the key findings from the related processes shall be shared. The goal is to provide insights from practice and point to unnoticed problems in order to let both groups, retailers and researchers, gain valuable information and simultaneously improve their work. Finally some rather unattended, but crucial, aspects of shelf space allocation are mentioned suggesting further areas of research.