

# 1 Einleitung

## 1.1 Forschungsgegenstand

Durch diese Arbeit wird ein Beitrag zu einer verbesserten Artikelgruppierung geleistet. Die Artikelgruppierung repräsentiert die Zusammenfassung von Artikeln in Artikelgruppen für den strukturierten, wirtschaftlichen Aufbau von und Ablauf in logistischen Systemen. Wirtschaftliche Potentiale werden insbesondere durch die Reduktion von Prozesskosten begründet, indem die Artikel gruppenweise einheitlich logistisch gehandelt werden. Bei den Artikeln handelt es sich um Objekte eines Artikelsortimentes. Die Zusammenfassung der Artikel in Gruppen stützt sich im Kern auf die in der Gruppierung berücksichtigten, jeweils unterschiedlich ausgeprägten Eigenschaften der Artikel. Die Eigenschaften der Artikel werden anhand von Artikelmerkmalen, z. B. anhand der artikelspezifischen Absatzmenge, und den jeweiligen Merkmalsausprägungen charakterisiert. Bei den Artikelmerkmalen handelt es sich entweder um:

- Merkmale, die als jeweils entkoppelt bzw. unabhängig voneinander erachtet werden und jeweils auch isoliert für die Gruppierung genutzt werden können, oder um
- Merkmale, die in problemspezifische mathematische Zusammenhänge überführt werden und die sich für die isolierte Integration in die Gruppierung nicht notwendigerweise eignen.

Durch diese Differenzierung werden zwei zentrale Grundformen der Artikelgruppierung gebildet, aus denen eine ergänzende Hybridform abgeleitet werden kann.

Bei der ersten Grundform, die im Folgenden durch die „ähnlichkeitsbasierte Gruppierung“ adressiert wird, dient jedes weitere in der Artikelgruppierung integrierte Merkmal der zusätzlichen Detaillierung der abzuleitenden Gruppencharakteristika. Grundsätzlich steigt der Anspruch, ein geeignetes Gruppierungsergebnis zu identifizieren, mit steigender Merkmalsanzahl, denn die Zielsetzung ist darauf zurückzuführen, möglichst paarweise ähnliche Artikel in den Gruppen zusammenzufassen. In Anlehnung an die Primärziele des Clustering – vgl. [BPW10], S. 16 – folgt weiter, intern möglichst homogene und extern möglichst heterogene Artikelgruppen zu identifizieren. Ergebnis der Gruppierung sollen möglichst kompakte, klar voneinander abgegrenzte Gruppen sein. Neben diese syntaktischen Ziele treten Ziele in semantischer Hinsicht, z. B., dass die gebildeten Artikelgruppen auch gut interpretierbar sind und in geeigneter Weise in die betriebliche Operationalisierung überführt werden können. Gerade bei dem zuletzt angeführten Teilziel handelt es sich um den für die Artikelgruppierung identitätsstiftenden Motivator, sofern sich die Gruppierung auf entkoppelte Merkmale und die Ähnlichkeit der Artikel stützt. Es sollen transparente Sortimentsstrukturen in Gestalt von Artikelgruppen identifiziert werden, welche die Grundlage für die Zuordnung konkreter Gruppierungsmaßnahmen zu den Gruppen bilden. Bei diesen Maßnahmen handelt es sich im gegebenen logistischen Kontext insbesondere um konkurrierende Strategien, z. B. Lagerplatzvergabestrategien, konkurrierende Technologien, z. B. für die Artikelbereitstellung, und/oder um gruppenspezifische Steuergrößen, z. B. gruppenspezifische Bestandsreichweiten für die Artikel.

Auch bei der zweiten eingeführten Grundform, die im weiteren Verlauf der Arbeit als „modellspezifische Gruppierung“ referenziert wird, bewirkt die Integration zusätzlicher Artikelmerkmale die Präzisierung des Gruppierungsergebnisses. Die Gruppierung stützt sich in diesem Fall jedoch nicht auf die Ähnlichkeit von Artikeln auf Basis jeweils als unabhängig erachteter Merkmale. Ausschlaggebend für die Gruppierung sind die mathematischen Zusammenhänge, in welche die spezifischen Artikelmerkmale überführt werden. Charakteristisch ist die Abbildung in Gestalt von Optimierungsmodellen, innerhalb derer die Artikelmerkmale Bestandteile von problemspezifisch konstruierten Zielfunktionen und Nebenbedingungen bzw. Ungleichungen verkörpern. Bei Artikelmerkmalen dieses Zusammenhanges handelt es sich vor allem auch um Parameter von Kostenfunktionen, die in Form von Parameterverknüpfungen zur Ableitung der Gruppencharakteristika beitragen. Dazu treten Artikelmerkmale, die nicht in einen monetären Zusammenhang überführt und z. B. für die Verifikation von räumlichen Kapazitäten genutzt werden. Die Gruppierungsmaßnahmen sind zudem typischerweise integrierte Bestandteile bzw. Ergebnisse der Modelle.

Es ist ersichtlich, dass die zweite Form der Artikelgruppierung gegenüber der ersten Form Vorteile in semantischer Hinsicht bietet. Praxisrelevante Facetten – die Integration logistischer Ziele, z. B. die Identifizierung eines logistischen Kostenminimums, die Integration logistischer Restriktionen, z. B. die Erfüllung von Stellplatzrestriktionen, sowie die Integration logistischer Gruppierungsmaßnahmen, z. B. die Zuordnung von Bestandsreichweiten – lassen sich unmittelbar integrieren. Es wird eine vergleichsweise vereinfachte Operationalisierung der Gruppen gewährleistet. Die erste Grundform bietet hingegen Vorteile in Hinsicht auf die Anwendungsuniversalität. Eine Gruppierungsaufgabe kann auf Basis als relevant erachteter Artikelmerkmale prinzipiell beliebig konfiguriert und in diesem Zuge auf prinzipiell beliebige Anwendungsszenarien leicht übertragen werden. Diese Faktoren begründen die dominierende praktische Relevanz der ersten Grundform – auch gegenüber der ausgewiesenen Hybridform, die eine anteilige „modellspezifische“ Komponente integriert.

Die für diese Arbeit als betrachtungsrelevant erachteten logistischen Anwendungsszenarien werden durch die Intralogistik gebildet. Die zentralen intralogistischen Funktionen sind gemäß [Arn06], S. 101, auf das Fördern, Lagern, Kommissionieren und Sortieren zurückzuführen. Innerhalb dieser Funktionen können die Artikel, physisch repräsentiert über Artikelmengen bzw. -bestände, jeweils in zeitlicher, räumlicher und/oder organisatorischer Hinsicht zusammengefasst werden (vgl. [Gud10], S. 116). Diese Schnittstellen-übergreifende Einsatzmöglichkeit der Artikelgruppierung motiviert zugleich, dass die Gruppierung grundsätzlich nicht nur isoliert innerhalb eines logistischen Aufgabengebietes erfolgen sollte. Der Einfluss von vorgelagerten und die Auswirkung auf nachgelagerte Funktionen sollen im Rahmen der Gruppierung gleichermaßen integriert werden, um so den Anforderungen einer ganzheitlichen Optimierung bestmöglich zu entsprechen. Besonders deutlich wird diese Forderung bei Betrachtung der Funktion des Lagerns. Diese Funktion repräsentiert die Schnittstelle zwischen lieferantenseitigen Wareneingängen und kundenseitigen Warenausgängen in betriebsinterner wie auch -externer Hinsicht. Die Artikelbestände werden durch die Lieferanten bzw. den Artikelnachschub wieder aufgefüllt. Zugleich werden die Bestände, direkt oder indirekt über die Reservelagerung, für die Kommissionierung bereitgestellt, durch welche die kundenseitigen Aufträge zusammengestellt werden. Die Höhe der Artikelbestände und die Projektion der Bestände auf die intralogistischen Kapazitäten begründen

somit ein vielschichtiges Kostenbeeinflussungspotential, das mindestens die Kostenkategorien des Lagernachschubs, der Lagerhaltung sowie der Kommissionierung berührt. Aus diesem Grunde wird der Einsatz der Artikelgruppierung im Zusammenhang mit bestandsführenden Materialflusssystemen in den Betrachtungsfokus dieser Arbeit gerückt. Charakteristische Ausprägungen bestandsführender Materialflusssysteme sind Distributionszentren von Händlern wie auch Produzenten aus unterschiedlichsten Branchen im Rahmen einer eigenverantworteten wie auch outgesourcten Logistik. Auch die Lagerung von Rohstoffen und Halbfabrikaten im Produktionsumfeld bietet in diesem Kontext Potentiale, welche durch die Artikelgruppierung erschlossen werden können. Zudem folgt, dass der intralogistische Fokus auch um die materialwirtschaftliche Perspektive erweitert werden sollte. Der betriebsexterne Lagernachschub beeinflusst direkt die Bestandshöhen und damit die Dimension eines Materialflusssystems und sollte in dieser Konsequenz im Zusammenhang mit den intralogistischen Kapazitäten und Abläufen betrachtet werden.

In dem aufgezeigten und dem für diese Arbeit maßgeblichen Spannungsfeld der Artikelgruppierung bieten sich vor allem die nachfolgenden, zentralen Gruppierungsmaßnahmen an, welche die Konfiguration der Gruppierungsaufgaben im Kern bestimmen:

- die Etablierung eines gruppeneinheitlichen Nachschubs,
- die Etablierung eines gruppeneinheitlichen Bestandes und
- die Etablierung einer gruppeneinheitlichen Lagerung.

Aus den vorangegangenen Ausführungen wird ersichtlich, dass bei der Durchführung einer Artikelgruppierung ein mehrstufiger Entscheidungsprozess durchlaufen werden muss, sodass ein anforderungsgerechtes Gruppierungsergebnis erzielt werden kann. Zu diesen Stufen zählen insbesondere:

- die Wahl geeigneter Gruppierungsmaßnahmen,
- die Wahl geeigneter Gruppierungsmerkmale,
- die Wahl eines geeigneten Gruppierungsverfahrens sowie
- die Wahl geeigneter Bewertungsgrößen für die Gruppierung.

Innerhalb der vorliegenden Arbeit wird jede dieser Facetten aufgegriffen. Aus Gründen der Kompaktheit der Arbeit erfolgt jedoch die Konzentration auf thematische Schwerpunkte, für die in dieser Arbeit ein Beitrag zu einer verbesserten Artikelgruppierung geleistet wird. Die Darlegung der Motivation für die gebildeten Schwerpunkte und deren Spezifikation sind Gegenstand des nachfolgenden Abschnittes.

Im Hinblick auf die durchgängige Relevanz für die folgenden Ausführungen soll jedoch zuvor die Verwendung der bereits adressierten Begriffe „syntaktisch“ und „semantisch“ im Rahmen dieser Arbeit verdeutlicht werden. Diese nehmen stets Bezug auf formbezogene (syntaktische) bzw. bedeutungsbezogene (semantische) Aspekte der Gruppierung. Primär kommt diese Differenzierung dann zum Tragen, wenn die Qualität von Gruppierungsergebnissen aufgegriffen wird. Die syntaktische Dimension der Qualität repräsentiert in diesem Kontext formale, bedeutungsentkoppelte Qualitätsaspekte. Sie drückt aus, inwieweit mittels eines Verfahrens und dessen inhärenten Gruppierungsregeln formal korrekte, valide Gruppenstrukturen aus den zugrunde liegenden Daten hergeleitet worden sind. Dem gegenüber steht die semantische Dimension, welche inhaltliche, bedeutungsspezifische Qualitätsaspekte fokussiert. Die semantische Qualität charakterisiert somit die Praxisnähe und -tauglichkeit von identifizierten Gruppenstrukturen bzw. sie

drückt aus, inwieweit diese Strukturen inhaltlichen Prüfkriterien standhalten können. Neben die primäre Differenzierung in Abhängigkeit von der Gruppierungsqualität treten im gegebenen Zusammenhang sekundär referenzierte Gruppierungsaspekte, wie z. B. die Validität bestimmter Merkmalskombinationen oder die Vergleichbarkeit von Gruppierungsverfahren, für die sich ebenfalls eine form- bzw. bedeutungsbezogene Sichtweise anbietet.

## 1.2 Forschungsanlass

Auf Grund der universellen Einsatzmöglichkeit und der wirtschaftlichen Potentiale, die aus der Einführung von Artikelgruppen resultieren, wird der Artikelgruppierung eine große praktische und auch wissenschaftliche Aufmerksamkeit zuteil.

In der betrieblichen Praxis wird für die Artikelgruppierung zumeist auf das Hilfsmittel der ABC-Analyse zurückgegriffen (vgl. Abschnitt 2.2). Bei der ABC-Analyse handelt es sich um ein einfaches Klassifikationsverfahren, bei dem die Artikel in Abhängigkeit von einem metrischen Artikelmerkmal in absteigender Reihenfolge sortiert und auf Basis fallspezifisch definierter Grenzwerte bezüglich der (kumulierten) Merkmalsausprägungen oder klassenspezifischer Mengenteile typischerweise den drei Klassen A, B und C zugeordnet werden. Gängige Artikelmerkmale sind z. B. die Zugriffshäufigkeit oder der Umsatz der Artikel. Den gebildeten Klassen werden als geeignet erachtete Gruppierungsmaßnahmen zugeordnet, z. B. die Zuordnung zu Lagerzonen oder in einer erweiterten Sichtweise die Zuordnung zu spezifischen Lagertechnologien. Eine praktisch ebenfalls anerkannte Modifikation der ABC-Analyse wird durch die ABC/XYZ-Analyse repräsentiert. Durch diese Modifikation wird die einkriterielle in eine multikriterielle Artikelgruppierung überführt, indem ein weiteres Artikelmerkmal, typischerweise die Absatz- oder Verbrauchskonstanz auf Basis des Variationskoeffizienten, für die Gruppierung genutzt wird. Die Methodik zur Ableitung der Gruppen gestaltet sich im Wesentlichen analog, die Gruppenanzahl steigt hingegen auf  $3^2$ . Sie ist insofern skalierbar, dass prinzipiell beliebige metrisch skalierte Merkmale für die Gruppierung genutzt werden können, die Anzahl der Merkmale grundsätzlich auch auf größere Anzahlen als zwei erweitert und die Anzahl der Teilklassen in Bezug auf die integrierten Merkmale ebenfalls variiert werden kann. Eine verallgemeinerte Form der multikriteriellen ABC-Analyse soll im Folgenden durch ABC-Mk, „ABC-Multikriteriell“, gekennzeichnet werden. Die einfache ABC-Analyse bzw. ABC-Mk wird in der betrieblichen Praxis vor allem deshalb eingesetzt, weil sie minimale Durchführungsaufwände für den Anwender begründet, auch große Sortimente schnell in Gruppen unterteilen kann, nicht den Einsatz von Spezialsoftware, z. B. Software für das Clustering, verlangt und weil die Gruppierungsmethodik leicht nachvollziehbar ist. Zudem ist es möglich, konkrete Gruppengrenzwerte zu berücksichtigen, sofern dieses durch den Anwender gewünscht wird.

Gerade der letzte Aspekt bestimmt jedoch nicht das dominierende Anwendungsszenario der Artikelgruppierung. Typischerweise sind konkrete Klassenlabel bzw. Gruppencharakteristika vor der Gruppierung nicht bekannt und sollen Ergebnis der Gruppierung sein. Die a priori vorliegende Unkenntnis über die Gruppencharakteristika begründet die zentrale Einschränkung von ABC-Mk, sofern diese dennoch im Rahmen dieses Anwendungsszenarios eingesetzt wird. Die Gruppengrenzwerte werden willkürlich festgelegt, sodass daraus grundsätzlich nur stark eingeschränkt gute Ergebnisse in syntaktischer Hinsicht folgen. Potentiale bieten hingegen vor allem klassische

Verfahren des unüberwachten Lernens – Clusterverfahren –, mittels derer geeignete Gruppencharakteristika identifiziert werden. Eine weitere zentrale Einschränkung von ABC-Mk wird zudem durch die nur eingeschränkt praktisch abbildbare Skalierbarkeit im multikriteriellen Kontext begründet. Bei angenommen nur drei Artikelmerkmalen mit jeweils drei eingeführten Teilgruppen resultieren bereits 27 Gruppen, sofern keine Reklassifikation zur Minimierung der Gruppenanzahl geleistet wird. Eine Gruppenanzahl von vergleichbarer Höhe ist fallspezifisch nur schwer oder gar nicht in die betriebliche Operationalisierung überführbar.

Motiviert durch die große Praxisrelevanz des Themas haben viele Autoren, besonders aus dem internationalen Umfeld, die zentralen Einschränkungen der ABC-Analyse bzw. von ABC-Mk als Anstoß genommen, verbesserte Verfahren bzw. Modelle für die Artikelgruppierung zu entwickeln. Für einen einfacheren Sprachgebrauch werden im Folgenden die konkreten Verfahren für die Gruppierung, etwa die Clusteranalyseverfahren, sowie die Optimierungsmodelle, die auf den Kontext der Gruppierung zugeschnitten sind und jeweils die Anwendung eines zusätzlichen Lösungsverfahrens erfordern, unter der Begrifflichkeit (Gruppierungs-)Verfahren zusammengefasst.

In unterschiedlichen mathematischen Bereichen sind vielfältige konkurrierende Verfahren entwickelt oder weiterentwickelte Verfahren auf die Domäne der Artikelgruppierung portiert worden. So liegt eine ausgeprägte Verfahrensvielfalt vor, die etwa die Felder der Optimierung, der Fuzzytheorie und der Multikriteriellen Entscheidungsanalyse berührt. Diese Verfahren berücksichtigen grundsätzlich mehrere Gruppierungsmerkmale und werden unter dem Begriff „Multicriteria Inventory Classification“ (MCIC) zusammengefasst. Dazu treten Verfahren, die grundsätzlich ebenfalls auf die Artikelgruppierung übertragen werden können, deren Einsatz und Vorteilhaftigkeit gegenüber anderen konkurrierenden Verfahren bislang jedoch noch nicht im Rahmen von Veröffentlichungen demonstriert worden ist. Prädestinierte Beispiele sind anteilige Verfahren der Clusteranalyse, für die eine beachtliche Vielfalt unterschiedlicher Varianten identifiziert werden kann (vgl. insbesondere [ARe14]).

Es ist festzuhalten, dass durch die mit ABC-Mk konkurrierenden Verfahren wertvolle Handlungsalternativen geboten werden, unterschiedliche Anforderungen an die Gruppierung zu erfüllen. So können z. B. mittels des wohl bekanntesten Clusterverfahrens K-Means (vgl. [Ber06], S. 39; [WKQ08], S. 6 ff.) geeignete Gruppencharakteristika bei Integration einer gewünschten Gruppenanzahl identifiziert und in syntaktischer Hinsicht bessere Gruppierungsergebnisse abgeleitet werden. Durch AHP wird es hingegen möglich, konsistente Gewichte der Artikelmerkmale in die Gruppierung zu überführen. Anhand spezifischer Optimierungsmodelle wird es weiterhin möglich, eine gesamtkostenoptimale Artikelgruppierung und kompatible Steuergrößen für die Gruppenoperationalisierung zu identifizieren, sofern dem Kostenkriterium besondere Relevanz zuteilwird. Trotz dieser exemplarisch veranschaulichten Nutzenpotentiale haben es diese oder auch andere Verfahren jedoch noch nicht geschafft, sich in der betrieblichen Praxis für die Artikelgruppierung neben ABC-Mk zu etablieren. Gründe für diese Einsatzbarriere sind anteilig auf die Vorzüge von ABC-Mk zurückzuführen, die sich insbesondere in dessen einfacher Anwendbarkeit und leichter Nachvollziehbarkeit widerspiegeln. Dazu tritt, dass der Wirksamkeitsnachweis der alternativen, weiterentwickelten Verfahren für die Domäne der Artikelgruppierung noch nicht oder noch nicht hinreichend geleistet und publik gemacht worden ist. Die Potentiale, die

durch die Alternativen geboten werden – allen voran der Gewinn besserer Gruppierungsergebnisse und die Berücksichtigung weiterführender Anforderungen, etwa das Handling qualitativer Artikelmerkmale – sind nicht hinreichend spezifiziert und motiviert.

Eine besonders bedeutsame Einsatzbarriere ist auch darin zu sehen, dass die unterschiedlichen und bevorzugten Anwendungsbereiche der alternativen Verfahren nicht hinreichend spezifiziert und systematisch abgegrenzt sind. Der Anwender steht vor einer großen Fülle konkurrierender Verfahren, aus der er das für seine Aufgabenstellung am besten geeignete Verfahren auszuwählen hat. Die konkurrierenden Verfahren eignen sich für unterschiedliche Gruppierungsaufgaben jedoch unterschiedlich gut bzw. führen unter gleichen Randbedingungen zu unterschiedlich guten Ergebnissen. In Abhängigkeit von gegebenen Randbedingungen sind die Verfahren zum Teil auch überhaupt nicht anwendbar. Eine derartige Verfahrensinkompatibilität besteht z. B. dann, wenn sich die Gruppierung auf nominale Merkmale stützen soll, das Verfahren aber, wie im Falle von ABC-Mk, für metrisch skalierte Merkmale konzipiert ist. Ein weiteres Beispiel zeigt sich, wenn eine feste Gruppenanzahl in der Gruppierung berücksichtigt werden soll. Ein Clusterverfahren, das eine geeignete, exklusiv zu berücksichtigende Gruppenanzahl eigenständig ermittelt, ist in diesem Fall nicht anwendbar – auch wenn es exzellente Werte in Hinsicht auf die Performance, allem voran die Güte, erzielen würde.

Gerade durch die zuletzt ausgeführten Einschränkungen wird die Motivation für den zentralen thematischen Schwerpunkt dieser Arbeit begründet, mittels dessen ein Beitrag zu einer verbesserten Artikelgruppierung erzielt werden soll. Die Anwendung eines Gruppierungsverfahrens auf ein Artikelsortiment ist ein untrennbarer Grundbestandteil der Artikelgruppierung. Die Identifizierung und die Anwendung eines geeigneten Verfahrens haben einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Gruppierung. In Hinsicht auf die Identifizierung eines geeigneten Verfahrens im Kontext der Artikelgruppierung werden durch den Stand der Wissenschaft jedoch keine hinreichend differenzierten Entscheidungshilfen geboten, die sich zugleich über konkurrierende Verfahrenskategorien erstrecken, z. B. über die Kategorien der Clusteranalyse und der Multikriteriellen Entscheidungsanalyse. Zwar existieren auf dem Feld des Metalearning Ansätze zur systematischen Auswahl von Gruppierungsverfahren, jedoch berücksichtigen diese nicht die spezifischen Anforderungen der Artikelgruppierung und fokussieren insbesondere die Auswahl von konkurrierenden Klassifikationsverfahren. Es können vereinzelte Ansätze für die Auswahl von Clusterverfahren identifiziert werden, jedoch unterliegen diese u. a. der Einschränkung, dass der Fokus auf die Performance der Verfahren gelegt wird, die aus der Anwendung der Verfahren auf exemplarische Datasets resultiert (vgl. Abschnitt 4.2). Umrahmende Anforderungen an die Gruppierung, wie z. B. die Forderung nach der Integration einer festen Gruppenanzahl, bleiben bei der Entscheidungsfindung hingegen unberücksichtigt. So mangelt es an für den Anwender nachvollziehbaren Entscheidungsregeln, die darüber Aufschluss geben, unter welchen Randbedingungen welches Verfahren bevorzugt anzuwenden ist. Diese Einschätzung kann auch nicht durch die z. B. in [FAT14], S. 270, präsentierte Vergleichsübersicht von Clusterverfahren entkräftet werden. Die Bestrebungen auf dem Feld der MCIC stützen sich zwar auf die Domäne der Artikelgruppierung, die zuletzt genannten Defizite treten bei diesen jedoch weitaus verstärkt auf. So werden z. B. in [JMB13], S. 1 ff., drei Verfahren für die Gruppierung innerhalb einer Anwendung zentralisiert,

jedoch ist vorgesehen, dass bei einer neuen Gruppierungsaufgabe jedes Verfahren separat angewendet wird. Nicht die Ableitung allgemeiner Entscheidungsregeln steht im Fokus, anhand derer ein Vorzugsverfahren ohne die Anwendung konkurrierender Verfahren ermöglicht wird.

Durch die aufgezeigten Einschränkungen wird die zielgerichtete Überführung von weiterentwickelten Verfahren in die betriebliche Praxis behindert, mit der Konsequenz, dass auch wirtschaftliche Potentiale in Hinsicht auf den Aufbau von und den Ablauf in Materialflusssystemen anteilig ungenutzt bleiben. Dieser erkannte Forschungsbedarf, die Auswahl eines geeigneten Gruppierungsverfahrens, wird als primärer Forschungsbedarf im Rahmen dieser Arbeit erachtet. Die Wahl eines geeigneten Verfahrens, mittels dessen ein Sortiment partitioniert werden soll, ist bei jeder Gruppierungsaufgabe zu treffen. Daraus resultierende Forschungsfragen bzw. -ziele sind Betrachtungsgegenstand des nachfolgenden Abschnittes.

Neben die Verfahrensauswahl treten die Fragestellungen, welche die konkrete logistische Parametrisierung der Artikelgruppierung reflektieren. Zu vermerken ist, dass Artikelmerkmale, Gruppierungsmaßnahmen und Bewertungsgrößen ebenfalls Bestandteile der Verfahrensauswahl bilden. Gerade in Bezug auf die erste differenzierte Grundform der Artikelgruppierung wird jedoch deutlich, dass diverse in diesem Kontext anwendbare Gruppierungsverfahren nicht die semantische Komponente der Artikelgruppierung bzw. die inhaltliche Bedeutung von Gruppierungsparametern in logistischer Hinsicht priorisieren. So verarbeiten etwa die Clusterverfahren diejenigen Artikelmerkmale, die ihnen übergeben werden – unabhängig davon, ob die übergebenen Artikelmerkmale in semantischer Hinsicht überhaupt zielführend sind. So kann eine in semantischer Hinsicht ungeeignete Merkmalskombination, z. B. die Kombination von Artikelumsatz und -absatz auf Grund des redundanten Informationsgehaltes, zu einem akzeptablen Gruppierungsergebnis in syntaktischer Hinsicht führen. Für Clusterverfahren und vergleichbare andere Verfahren, bei denen konkrete, inhaltlich sinnvolle Artikelmerkmale keine inhärenten Bestandteile der Gruppierungsmethodik bilden, ist in erster Linie die Beschaffenheit der gewählten Artikelmerkmale in Form der Merkmalsausprägungen für das Gruppierungsergebnis maßgeblich. Eine vergleichbare Einschränkung gilt für die Zuordnung konkreter logistischer Maßnahmen zu den Artikelgruppen oder die Bewertung der Gruppierung in logistischer Hinsicht und damit vor allem aus einem monetären Blickwinkel. Diese Facetten der Artikelgruppierung werden durch diese Verfahren in ihrer originären Form nicht berücksichtigt. Damit setzen sie eine entkoppelte, semantisch geeignete Konfiguration einer Gruppierungsaufgabe voraus. Dazu zählt insbesondere die Wahl geeigneter Artikelmerkmale, die sich zudem für die Zuordnung zu spezifischen Gruppierungsmaßnahmen eignen. Als einfaches Beispiel dient die Gängigkeit der Artikel für die Zuordnung von Artikelgruppen zu Lagerzonen mit dem Ziel der Wegzeitminimierung für die Kommissionierer bei optimaler Nutzung der Lagerkapazitäten. Zwar existieren im Stand der Wissenschaft vielfältige Veröffentlichungen, in denen unterschiedliche Merkmale gewählt werden, und in Ausnahmefällen existieren auch erweiterte Übersichten, in denen mögliche Artikelmerkmale gesammelt und spezifiziert werden (vgl. [Gud10], S. 136 f.; [KAD12], S. 857 ff.). Es existiert jedoch keine differenzierte Übersicht über bevorzugt zu nutzende Artikelmerkmale oder über Gruppierungsmaßnahmen für unterschiedliche Anwendungsszenarien – vor allem in Abhängigkeit von unterschiedlichen Branchen und Materialflusssystemtypen. Umso mehr fehlt die Eigenschaftsspezifikation konkurrierender Gruppierungsverfahren in Abhängigkeit von konkreten logistischen Anwendungsszenarien. Der resultierende Zielzustand aus logistischer Perspektive

kann allein durch diese Arbeit nicht erschlossen werden. Das vielschichtige Konfigurationspotential von Gruppierungsaufgaben im logistischen Kontext soll aus Gründen der Kompaktheit nicht den dominierenden Anlass für die folgenden Arbeiten bilden. Für den zuvor priorisierten Forschungsbedarf, die Verfahrensauswahl, folgt daher, dass sich die Kriterien für die Verfahrensauswahl auf weitgehend universelle und zugleich für die Artikelgruppierung uneingeschränkt relevante Kriterien stützen sollen.

Den prinzipiell universell einsetzbaren Gruppierungsverfahren stehen die Optimierungsmodelle gegenüber, die konkret für den Kontext der Artikelgruppierung konzipiert sind. Sie integrieren die praxisbezogene Komponente unmittelbar, indem sie konkrete geeignete Parameter bzw. eine konkrete logistische Bewertung integrieren. Ihre zentrale Einschränkung ist die zuvor skizzierte, eingeschränkte Anwendungsuniversalität. Die Analyse etablierter Modelle – etwa des Joint Replenishment Problem (JRP), durch das ein gruppeneinheitlicher Nachschub identifiziert werden soll – und auch jüngerer Modelle – etwa des MILP-Modells nach MILLSTEIN et al., durch das ein gruppeneinheitlicher Bestand identifiziert werden soll – zeigt jedoch, dass gerade dem im vorangegangenen Abschnitt motivierten Anspruch an eine ganzheitlich ausgerichtete Artikelgruppierung nicht oder nur unzureichend entsprochen wird. Der motivierten ganzheitlichen Integration von Lagernachschub, Lagerhaltung und Kommissionierung wird in wissenschaftlicher und auch praktischer Hinsicht eine nur unzureichende Aufmerksamkeit zuteil. So werden im Rahmen des JRP und seiner Modifikationen sowie auch im adressierten MILP-Modell in einer zusammenfassenden Sicht ausschließlich die Komponenten des Lagernachschubs und der Lagerhaltung berücksichtigt. Diese Sichtweise greift aus intralogistischer Sicht jedoch zu kurz. Aus der Artikelgruppierung resultieren Artikelbestände, die nicht abgestimmt sind auf die intralogistischen Abläufe. Es resultieren erhöhte Kommissionieraufwände und damit insbesondere Kommissionierwege infolge tendenziell zu großer Bestände, die für die Kommissionierung bereitzustellen sind und günstige Plätze nahe der Kommissionierbasis übermäßig beanspruchen. Eine analoge Sichtweise folgt für Systeme mit dynamischer Artikelbereitstellung. Auch der Split der Bestände in Kommissionier- und Reservebestände kann diese Problematik nur anteilig entkräften, da mit dem Split zusätzliche Aufwände für die Umlagerung bzw. die Bereitstellung von Beständen für die Kommissionierung verbunden sind. An diesen Forschungsbedarf knüpft diese Arbeit in Ergänzung zur zuvor priorisierten Verfahrensauswahl an.

### **1.3 Forschungsfragen und -ziele**

Auf Basis des erkannten und priorisierten Forschungsbedarfes werden die Forschungsfragen abgeleitet, welche die folgenden Arbeiten leiten und durch deren Beantwortung der angestrebte Beitrag zu einer verbesserten Artikelgruppierung geleistet werden soll. Die Forschungsfragen werden darüber hinaus in eine operationale Zielsetzung überführt, sodass die in Abhängigkeit von den Forschungsfragen gewonnenen Erkenntnisse in einen anwendungsorientierten Zusammenhang übertragen werden.

Die ersten beiden Forschungsfragen nehmen Bezug auf die Verfahrensauswahl und damit den Kern der vorliegenden Arbeit. Sie sind der nachstehenden tabellarischen Übersicht zu entnehmen.

**Tabelle 1: Forschungsfragen**

Themenfeld	Nr.	Frage
Verfahrens- auswahl	1	Welche Kriterien dienen der möglichst universellen Abgrenzung der Anwendungsbereiche konkurrierender Verfahren?
	2	Welche Eignung resultiert für die Verfahren in Abhängigkeit von den identifizierten Kriterien?

Anhand der ersten Forschungsfrage werden die Kriterien identifiziert, durch welche die Anwendungsbereiche der konkurrierenden Verfahren für die Artikelgruppierung charakterisiert werden. Diese Kriterien und die in diesem Zusammenhang zu konkretisierenden Ausprägungen werden die Entscheidungsregeln für die systematische Auswahl von Vorzugsverfahren repräsentieren. Eine damit ebenfalls verbundene Teilfragestellung betrifft die Spezifikation der Relevanz der zu identifizierenden Kriterien für die Verfahrensauswahl. Die Kriterien werden erwartungsgemäß ein jeweils unterschiedlich großes Diskriminanzpotential vorweisen. Erstrebenswert ist die Ermittlung von Kriterien mit möglichst großem Diskriminanzpotential und die Integration in die Kriterienhierarchie bzw. in die Entscheidungsregeln gemäß diesem Potential.

Die Arbeiten zur zweiten Forschungsfrage stehen in enger Relation zur ersten Frage und sind erforderlich, um Frage Nr. 1 final beantworten zu können. Durch Frage Nr. 1 wird die Grundlage für die Charakterisierung der Anwendungsbereiche hergeleitet. Durch Frage Nr. 2 wird hingegen die Eignung der Verfahren in Abhängigkeit von diesen Anwendungsbereichen spezifiziert, sodass das oder aber die Vorzugsverfahren für unterschiedlich gelagerte Gruppierungsaufgaben abgeleitet werden können. Ohne die Arbeiten zu dieser zweiten Forschungsfrage können keine abschließenden Aussagen zum Diskriminanzpotential der zu identifizierenden Kriterien getroffen werden. Neben die zu spezifizierende Verfahrenseignung tritt die zentrale und einleitende Teilfragestellung, auf welche Weise bzw. anhand welcher Bewertungsgrößen die Eignung zu ermitteln ist.

Auf Basis dieser beiden Forschungsfragen resultiert das operationale Ziel, ein Entscheidungsmodell für die Verfahrensauswahl im Kontext der (multikriteriellen) Artikelgruppierung zu konzeptionieren. Dieses Entscheidungsmodell soll die Entscheidungsregeln für die Auswahl besonders geeigneter Gruppierungsverfahren für unterschiedlich gelagerte Gruppierungsaufgaben in einer für den Anwender des Modells nachvollziehbaren Repräsentation abbilden. Die Eignung der konkurrierenden Verfahren soll zudem in Form von Verfahrensranks präsentiert werden, sodass eine schnelle bzw. anwenderfreundliche Ableitung von Vorzugsverfahren gewährleistet wird.

Gemäß dem vorangegangenen Abschnitt tritt neben den als primär deklarierten Forschungsbedarf – die Verfahrensauswahl – die spezifische logistische Parametrisierung der Artikelgruppierung. Diese gleichermaßen bedeutende Facette der Gruppierung kann aus Gründen der Kompaktheit nur ausschnittsweise im Rahmen dieser Arbeit behandelt werden. Besondere Potentiale sind in diesem Zusammenhang für die spezifischen Optimierungsmodelle erkannt worden, die für den Kontext der Artikelgruppierung konzipiert sind, einer ganzheitlichen Sichtweise gerade unter intralogistischen Gesichtspunkten jedoch nicht gerecht werden. So folgt für die dritte und abschließende Forschungsfrage:

**Tabelle 2: Forschungsfragen (Fortsetzung)**

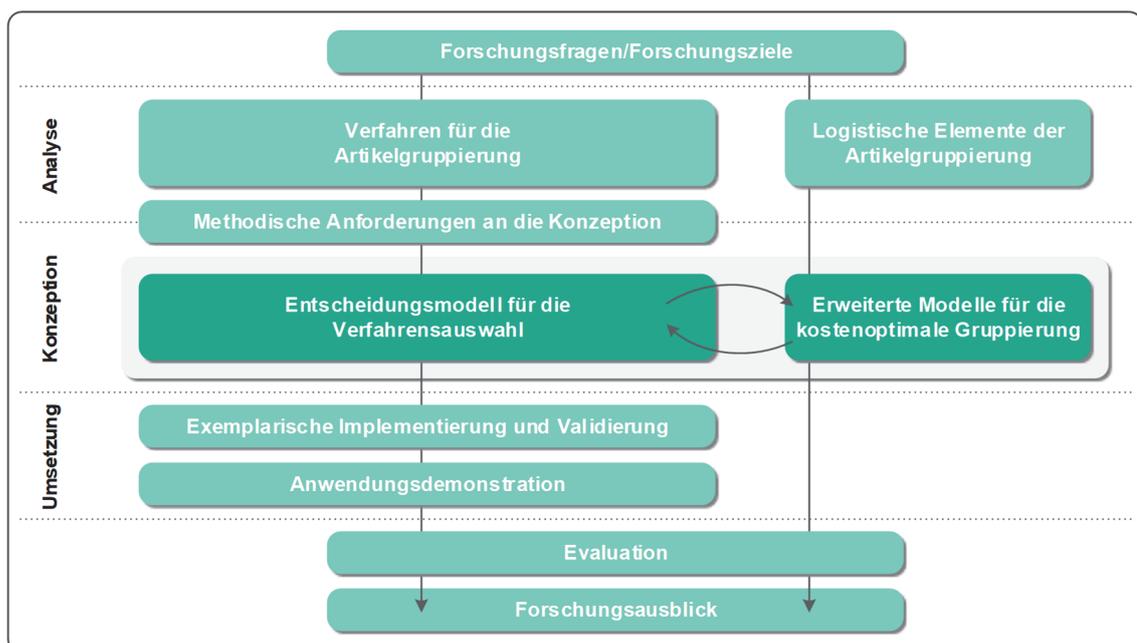
Themenfeld	Nr.	Frage
Logistische Parametrisierung	3	Inwiefern sind die Ansätze für die logistische Bewertung/Operationalisierung weiterzuentwickeln, sodass auch intralogistische Anforderungen ganzheitlich mitberücksichtigt werden?

Im Zentrum der Arbeiten zu dieser dritten Forschungsfrage steht vor allem der Trade-off von Lagernachschub, Lagerhaltung und Kommissionierung. Als Grundlage dienen die im Stand der Wissenschaft präsentierten Optimierungsmodelle, deren integrierte Bestandteile in logistischer Hinsicht analysiert werden.

Die zuletzt genannten Analyseergebnisse und daraus resultierenden Weiterentwicklungspotentiale bilden das Fundament für die spezifische Zielsetzung, erweiterte Modelle für die Artikelgruppierung zu entwickeln, durch welche verbesserte Gruppierungsergebnisse in logistischer Hinsicht gewonnen werden. Die Verbesserung resultiert insbesondere aus der geforderten ganzheitlicheren Sichtweise. Als Maßstab für die Bewertung der Gruppierungsergebnisse sollen konkrete Kostenfunktionen eingeführt und in die Zielfunktionen der Modelle integriert werden.

## 1.4 Vorgehensweise

Die Arbeiten hinsichtlich der zuvor eingeführten Fragen und Ziele orientieren sich an der in der folgenden Abbildung veranschaulichten Vorgehensweise. Die wesentlichen Bestandteile der eingeführten Vorgehensweise werden im Rahmen dieses Abschnittes kompakt ausgeführt und in den jeweiligen Kapiteln bzw. Abschnitten spezifiziert. Ausgangspunkt der Betrachtung sind die im vorangegangenen Abschnitt präzisierten Forschungsfragen und -ziele. Sie bilden die Basis für die Arbeitsfelder der Analyse, Konzeption und Umsetzung und zugleich die Grundlage für die finalen Phasen der Evaluation der Forschungsarbeiten wie auch die Ableitung potentieller Folgearbeiten.

**Abbildung 1: Vorgehensweise**

## Verfahrensauswahl

Das erste, sich der Definition von Forschungsfragen und -zielen anschließende Arbeitsfeld, „Verfahren für die Artikelgruppierung“, wird mit einer Kategorisierung der durch den Stand der Wissenschaft gebotenen Verfahren für die Artikelgruppierung eingeleitet. Diese Kategorien werden anforderungskonform auf Vorzugsbereiche konzentriert, sodass eine handhabbare Verfahrensvielfalt hergeleitet wird. Innerhalb dieser Bereiche werden geeignete Vertreter analysiert, die in das Entscheidungsmodell überführt werden sollen. So werden die Verfahren hinsichtlich ihrer Algorithmik abgegrenzt und bezüglich ihres bevorzugten Einsatzes spezifiziert. Eine Gegenüberstellung der zentralen Vor- und Nachteile rundet die Verfahrensanalyse ab. Durch die weiterführende Analyse geeigneter Bewertungsgrößen für die Gruppierung aus einer statistischen Perspektive entsteht eine differenzierte Abprungbasis für die im konzeptionellen Teil vorzunehmende Herleitung des Entscheidungsmodells.

Das Bindeglied zwischen der Verfahrensanalyse und der Konzeption des Entscheidungsmodells für die Verfahrensauswahl wird durch ein separates Anforderungsprofil repräsentiert. Dieses Anforderungsprofil dient dazu, über die zentralen Forschungsziele hinaus die methodischen Anforderungen an die betrachtungsrelevanten, konzeptionellen Einzelbestandteile des zu bildenden Modells zu präzisieren. Als Grundlage wird die Struktur des sog. Algorithm Selection Problem (ASP) dienen. Zu diesem Arbeitsfeld zählt auch die Identifizierung eines geeigneten Metaalgorithmus, anhand dessen das Entscheidungsmodell final abgeleitet wird.

Der zentrale Bestandteil der Arbeit wird durch die Konzeption des Entscheidungsmodells für die Verfahrensauswahl gebildet. Auf Basis der Analyseergebnisse und des zuvor formulierten Anforderungsprofils, das die in Kapitel 4 noch aufzubereitenden Grundbestandteile des ASP integriert, werden im Rahmen der Konzeption insbesondere die nachfolgenden Teilaufgaben geleistet:

- Spezifikation des Gesamtmodells bzw. der Interdependenzen der konzeptionellen Einzelbestandteile,
- Spezifikation der Kriterien, die einer möglichst universellen Abgrenzung der Anwendungsbereiche der konkurrierenden Verfahren dienen,
- Spezifikation der Ableitung von Gruppierungsaufgaben, die anhand der zuvor eingeführten Kriterien charakterisiert werden und für welche die Eignung der Verfahren verglichen werden soll,
- Spezifikation der Ermittlung von Verfahrenseignung und Ableitung der Verfahrensranks in Abhängigkeit von den abgeleiteten Anwendungsbereichen (Idealrankings).

Die o. g. Teilaufgaben werden detailliert ausgeführt und bilden zusammen mit dem zu identifizierenden Metaalgorithmus eine differenzierte Grundlage für die Implementierung des Entscheidungsmodells.

Die Implementierung des Entscheidungsmodells fordert die Anwendung des zu identifizierenden Metaalgorithmus, sodass Vorhersagerankings für neue Gruppierungsaufgaben ermittelt werden können. Durch den Metaalgorithmus werden die angestrebten konkreten Entscheidungsregeln hergeleitet. Die voranstehende Abbildung verdeutlicht, dass der Fokus dieser Arbeit vor

allem auf der Konzeption des Entscheidungsmodells liegt. Eine exemplarische, anteilige Implementierung wird dennoch geleistet, sodass das Modell und das darin integrierte Regelwerk entsprechend konkretisiert werden. Für diese Implementierung erfolgt eine differenzierte Validierung in syntaktischer und semantischer Hinsicht. Durch die exemplarische Anwendungsdemonstration wird die Praxistauglichkeit des Entscheidungsmodells bekräftigt.

Die Evaluation der Arbeiten und die Aufbereitung von in anschließenden Forschungsarbeiten zu erschließenden Potentialen runden den in dieser Arbeit zu leistenden Beitrag zu einer zielgerichteten Verfahrensauswahl und dadurch verbesserten Artikelgruppierung ab.

### **Logistische Parametrisierung**

Innerhalb des Arbeitsfeldes der logistischen Parametrisierung werden die im Stand der Wissenschaft präsentierten logistischen Elemente der Artikelgruppierung analysiert und bewertet. Der Fokus wird auf die Bestandteile der Bewertungsfunktionen gelegt, die in den Optimierungsmodellen für die Artikelgruppierung eingebettet sind. Diesem schließt sich die Detailbetrachtung der Gruppierungsmaßnahmen im Kontext der Bestands- und Nachschubdisposition an, die mit den zu bildenden Gruppen verknüpft werden. Für die sonstigen, universell anwendbaren Gruppierungsmerkmale werden Übersichten hergeleitet, welche die im Stand der Wissenschaft vorgeschlagenen Artikelmerkmale bündeln und verdichten.

Auf Basis der zuvor gewonnenen Erkenntnisse werden die angestrebten erweiterten Modelle für eine kostenoptimale Gruppierung hergeleitet. Diese Modelle stützen sich auf ausgewählte, als besonders relevant erachtete Anwendungsszenarien. Die skizzierte Verknüpfung dieser Modelle mit dem in dieser Arbeit zu entwickelnden Entscheidungsmodell für die Verfahrensauswahl verdeutlicht, dass zudem darauf eingegangen wird, inwieweit die Modelle für die Gruppierung in das Entscheidungsmodell integriert werden können.

Neben einer kompakten Evaluation der erweiterten Modelle wird – analog zu den Arbeiten für das Entscheidungsmodell – hervorgehoben, auf welche Weise weiterführende Beiträge für eine verbesserte Artikelgruppierung im Rahmen von Folgearbeiten erzielt werden können.