

Leistungsorientierte Bewertung und Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien mittels Fuzzy Axiomatic Design

Performance-based assessment and selection of assembly feeding strategies using fuzzy axiomatic design

Nina Vojdani
Mathias Knop

Lehrstuhl Produktionsorganisation und Logistik
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
Universität Rostock

Eine effiziente Gestaltung von Materialbereitstellungsprozessen ist eine entscheidende Voraussetzung für die Sicherstellung einer hohen Verfügbarkeit von Materialien in der Montage. Die Auswahl adäquater Bereitstellungsstrategien muss sich stets an den Anforderungen des Materialbereitstellungsprozesses orientieren. Die Leistungsanforderungen an eine effektive Materialbereitstellung werden maßgeblich durch den Montageprozess determiniert. Diesen Leistungsanforderungen ist eine passgenaue Materialbereitstellungsstrategie gegenüberzustellen. Die Formulierung der Leistungsanforderungen kann dabei in qualitativer oder quantitativer Form erfolgen. Allein die Berücksichtigung quantitativer Daten ist unzureichend, denn häufig liegen zum Zeitpunkt der Planung weder belastbare quantitative Daten vor, noch erscheint der Aufwand zu deren Ermittlung angemessen. Zudem weisen die herkömmlichen Methoden, die im Rahmen der Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien häufig eingesetzt werden, den Nachteil auf, dass eine Nichterfüllung einer bestimmten Leistungsanforderung durch eine besonders gute Erfüllung einer anderen Leistungsanforderung kompensiert werden kann (Zeit vs. Qualität). Um die Auswahl einer Materialbereitstellungsstrategie unter Berücksichtigung qualitativer und quantitativer Anforderungen durchführen zu können, eignet sich in besonderer Weise die Methode des Fuzzy Axiomatic Designs. Diese Methode erlaubt einen Abgleich von Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess und der Eignung unterschiedlicher Materialbereitstellungsstrategien.

[Schlüsselwörter: Materialbereitstellung, Fuzzy Axiomatic Design]

An efficient design of assembly feeding processes is an essential prerequisite to ensure high availability of components in assembly systems. Adequate assembly

feeding strategies should be selected according to requirements of the feeding process. The assembly process predominantly determines performance requirements of material feeding strategies. Assembly feeding strategies have to match to performance requirements which may be formulated qualitatively or quantitatively. Solely considering quantitative criteria does not ensure adequate decisions as quantitative data is usually not reliable in early planning phases, besides, generating quantitative data usually needs a lot of time and is accompanied by high cost. Furthermore, in conventional methods used for the selection of assembly feeding strategies the non-fulfillment of an assessment criterion is often concealed by good performance of other criteria (time vs. quality). To select assembly feeding strategies considering qualitative and quantitative requirements fuzzy axiomatic design seems to be an appropriate approach. This method ensures a comparison of requirements in terms of assembly feeding processes and suitability of assembly feeding strategies.

[Keywords: assembly feeding strategies, fuzzy axiomatic design]

1 EINFÜHRUNG

Die Materialbereitstellung ist ein intralogischer Prozess, der für eine adäquate Versorgung von Montagearbeitsplätzen mit erforderlichen Ressourcen verantwortlich ist. Zentrale Aufgabe der Materialbereitstellung ist die Sicherung der Verfügbarkeit von Materialien und Informationen an Verbauorten der Montage. Zur Sicherstellung dieses Ziels wurden verschiedene Strategien entwickelt, die als Materialbereitstellungsstrategien bezeichnet werden. Eine Materialbereitstellungsstrategie umfasst sämtliche materialbezogenen Festlegungen zur Gestaltung intralogischer Prozesse zwischen dem Wareneingang und dem Abgriff des Materials am Verbauort [VK14a]. Dies umfasst

materialspezifische Festlegungen hinsichtlich Lager-, Kommissionier- und Transportprozess.

Durch die Auswahl einer Materialbereitstellungsstrategie werden wesentliche logistische Ziele der Montage beeinflusst. Durch die Art und Weise der Ausrichtung von Materialbereitstellungsprozessen wird beispielsweise die Flächeninanspruchnahme in der Produktion, die zeitliche und mengenmäßige Verfügbarkeit am Verbauort oder die qualitative Flexibilität der Montageprozessgestaltung beeinflusst. Damit besitzt die Festlegung einer Materialbereitstellungsstrategie unmittelbar leistungsbezogene Konsequenzen für den Montageprozess. Es ist deshalb notwendig, die Auswahl einer Materialbereitstellungsstrategie maßgeblich an Leistungsindikatoren der Materialbereitstellung auszurichten.

Eine leistungsbezogene Bewertung und Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien erfordert neben einer Definition anforderungsgerechter Auswahlkriterien den Einsatz eines Bewertungsverfahrens, das allen Leistungsdimensionen in erforderlichem Umfang simultan gerecht wird. Einzelne Leistungsdimensionen sollten dabei nicht durch andere Leistungsdimensionen kompensiert werden können. Insbesondere eine Verwendung additiv gewichteter Verfahren kann die Nichterfüllung einzelner Leistungsanforderungen durch eine besonders gute Erfüllung anderer Leistungsanforderungen kompensieren. Dieser Aggregationsansatz im Rahmen der Bewertung einer Materialbereitstellungsstrategie kann daher zur Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien führen, die nicht allen Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess in notwendigem Umfang gerecht werden. Zahlreiche Bewertungsverfahren berücksichtigen diese Anforderung nicht (Nutzwertanalyse, gewichteter Paarvergleich). Des Weiteren sollte sich die Festlegung der zu berücksichtigenden Leistungsindikatoren an den Anforderungen verschiedener Anspruchsgruppen ausrichten.

Die Bewertung von Materialbereitstellungsprozessen orientiert sich häufig an quantitativen Indikatoren. Einige Autoren reduzieren die Auswahl auf die Ermittlung der erwarteten Kosten, die durch eine Materialbereitstellungsstrategie bedingt werden [CP11]. Bauteilspezifische Anforderungen werden häufig vernachlässigt, sind jedoch von großer Bedeutung im Rahmen der Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien [VLK10]. Lediglich der Wert der zu verbauenden Komponenten wird häufig bei der Auswahl einer Materialbereitstellungsstrategie durch eine Klassifizierung von Komponenten im Rahmen einer ABC-Analyse berücksichtigt [CP11]. Qualitative Faktoren werden aufgrund subjektiver Einflussfaktoren, mangelnder Quantifizierbarkeit oder methodischen Schwierigkeiten bei der Einbindung solcher Faktoren in den Auswahlprozess oft vernachlässigt. Dies deutet auf eine unterschiedliche Gewichtung qualitativer und quantitativer Faktoren in der Forschungsliteratur und der Unternehmenspraxis hin.

Ziel des Beitrags ist die Vorstellung einer Methode auf Basis von Fuzzy Axiomatic Design zur leistungsorientierten Bewertung und Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien unter Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Leistungsindikatoren. Ausgehend von einer Untersuchung von Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess werden Leistungsindikatoren abgeleitet, die die Auswahl einer Materialbereitstellungsstrategie bedingen. Das verwendete Bewertungsverfahren stellt sicher, dass die Nichterfüllung einzelner Leistungsanforderungen nicht durch eine besonders gute Erfüllung anderer Leistungsanforderungen kompensiert werden kann.

2 MATERIALBEREITSTELLUNGSSTRATEGIEN

In der Literatur existieren unterschiedliche Systematisierungsansätze für Materialbereitstellungsstrategien. So leitet Johansson [Joh91] Materialbereitstellungsstrategien beispielsweise anhand folgender Kriterien ab:

- Bereitstellung einer Auswahl von Teilenummern oder aller Teilenummern an einer Montagestation und
- Sortierung der Teile nach Teilenummern oder Montageobjekten.

Entsprechend können die in Abbildung 1 veranschaulichten Materialbereitstellungsstrategien unterschieden werden.

	Auswahl an Teilenummern	alle Teilenummern
Sortierung nach Teilenummern	BATCH	CONTINUOUS
Sortierung nach Montageobjekt	KITTING	

Abbildung 1. Systematisierung von Materialbereitstellungsstrategien [Joh91]

Beim Kitting werden Materialien montageauftragspezifisch am Verbauort in vorsortierten Kits bereitgestellt [BMcG92]. In einem Kit befinden sich die Teile, die zur Verrichtung eines oder mehrerer Montagearbeitsvorgänge desselben Montageobjekts erforderlich sind. Die Teile befinden sich dabei in einem Behälter. Aufgrund der montagespezifischen Zusammenfassung von Teilen ist eine vorgelagerte Kommissionierung der Kits erforderlich. Insbesondere bei wechselnder Auftragsfolge oder Variantenfertigung sind die Kits durch den Kommissionierer individuell zusammenzustellen.

Continuous Supply bzw. Line Stocking bezeichnet die Vorbereitung erforderliche Teile am Montagearbeitsplatz. An den Verbauorten befindet sich von jeder Teileart eine größere Menge, die nicht auftragspezifisch vorkommissioniert ist. Die auftragspezifische Kommissionierung wird durch einen Montagemitarbeiter realisiert, der aus der

Menge vorhandener Teile eine für den jeweiligen Montageauftrag erforderliche Teilezusammenstellung vornimmt.

Batch Supply kann als eine Mischform von Kitting und Line Stocking verstanden werden. Dabei werden Teile, die für die Montage mehrerer Montageaufträge erforderlich sind, gleichzeitig bereitgestellt [Joh91]. Die Teile sind dabei jedoch nicht nach Montageaufträgen sortiert, sondern werden mit anderen gleichartigen Teilen zusammen angeliefert. Dieses Kommissionierprinzip ist mit dem aus dem Bereich der Kommissionierung bekannten Batch Picking vergleichbar. Beim Batch Picking werden dem Kommissionierer die Teilebedarfe mehrerer Kommissionieraufträge gleichzeitig mitgeteilt, die dann gemeinsam gepickt werden. Ein sich in einer zweiten Stufe anschließender Sortiervorgang wird bei Batch Supply durch den Montagemitarbeiter realisiert.

Sequential Supply kann als Spezialfall von Kitting oder Batch Supply aufgefasst werden. Wie beim Kitting wird ein Teil auftragspezifisch, d.h. entsprechend der Montagesequenz, an den Verbauort geliefert [Han12]. Auch die Anlieferung mehrerer Einzelteile für mehrere Aufträge, sortiert nach der Montagesequenz, ist bei diesem Materialbereitstellungsprinzip möglich [Joh06]. Sequential Supply bietet sich insbesondere dann an, wenn die Bereitstellung von Kits nicht lohnenswert ist, beispielsweise weil nur wenige Komponenten an der jeweiligen Montagestation verbaut werden [JJ06]. Die Sequenzierung der Teile kann unternehmensintern oder -extern durchgeführt werden [JJ06]. Sequential Supply zeichnet sich durch eine geringe Flächeninanspruchnahme am Verbauort aus [Han12]. Häufig wird die Materialbereitstellungsstrategie Sequential Supply als Komplement zum Line Stocking eingesetzt, d.h., während einige Teile am Arbeitsplatz bevorratet werden, werden andere, insbesondere variantenreiche Teile, sequenziert angeliefert [Han12].

Die aufgeführten grundsätzlichen Gestaltungsansätze für die Materialbereitstellung lassen sich unternehmensindividuell weiter spezifizieren. Dies sei hier am Beispiel des Kittings veranschaulicht. So können unterschiedliche Formen des Kittings differenziert werden. Beim Kitting können stationäre oder mobile Kits eingesetzt werden. Stationäre Kits werden auftrags- und verbauortspezifisch kommissioniert. Mobile Kits hingegen sind ausschließlich

auftragspezifisch zusammengestellt, die Kits begleiten den zugehörigen Montageauftrag durch die Produktion. Hinsichtlich der Kommissionierung kann zwischen Einzelvorbereitung und einem Batch Kitting differenziert werden. Die Organisation des Kitting-Bereichs (Kitting Zone) kann durch einen Dienstleister oder Zulieferer erfolgen. Es ist ebenfalls möglich, auf Kitting Zones zu verzichten. Es können zentrale oder dezentrale Kitting Zones gebildet werden. Kitting kann sowohl unter Verwendung von Zwischenpuffern als auch unter Verzicht auf Zwischenpuffer realisiert werden. Beim Einsatz von Zwischenpuffern werden Kits am Verbauort gepuffert. Hinsichtlich der verwendeten Ladungsträger können Kits ohne Ladungsträger, Kits in Behältern oder Kits in Regalen unterschieden werden. Abbildung 2 zeigt einen morphologischen Kasten für das Kitting. Die Ausprägungen der einzelnen Kriterien können in unterschiedlicher Form kombiniert werden.

Es wird ersichtlich, dass aufgrund dieser Differenzierung, wie exemplarisch anhand des Kittings veranschaulicht, eine Vielzahl möglicher Ausprägungen für die Kitting-Strategie sowie andere Strategien resultiert. Ziel der Auswahl einer Materialbereitstellungsstrategie ist es, unter der Vielzahl möglicher Ausprägungen bzw. Materialbereitstellungsstrategien eine möglichst geeignete auszuwählen.

3 FUZZY AXIOMATIC DESIGN

Im Rahmen der Auswahl einer Materialbereitstellungsstrategie ist es erforderlich, dass qualitative und quantitative Bewertungskriterien gleichzeitig berücksichtigt werden können. Die Modellierung qualitativer Bewertungskriterien kann durch den Einsatz der Fuzzy Set Theory sichergestellt werden. Die Fähigkeit, einen Abgleich von Leistungsanforderungen und Leistungsangeboten zu ermöglichen, stellt eine weitere Anforderung an eine Methode zur Bewertung und Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien dar. Die verwendete Methode sollte geeignet sein, die Überdeckung von Anforderung und Angebot zu quantifizieren. Außerdem sollte die Nichterfüllung eines Kriteriums innerhalb eines Bewertungsverfahrens nicht durch eine gute Erfüllung anderer Kriterien kompensiert werden können. Eine Kompensation ist nur dann sinnvoll, wenn auf die Erfüllung einzelner Anforderungen verzichtet werden kann. Weiterhin werden im Rahmen strategischer

Formen des Kittings	Stationäre Kits		Mobile Kits	
Kommissionierung	Einzelkitvorbereitung		Batch Kitting	
Organisation der Kitting Zone	Kitting durch Dienstleister / Lieferant	Keine Kitting Zone	Zentrale Kitting Zone	Dezentrale Kitting Zonen
Zwischenpufferung	Bereitstellung mit Zwischenpufferung		Bereitstellung ohne Zwischenpufferung	
Ladungsträger	Ohne Ladungsträger	Behälter	Regal	

Abbildung 1. Morphologischer Kasten für das Kitting

Überlegungen häufig nur Grobplanungen vorgenommen, die nur mit Unsicherheit behaftete Rückschlüsse ermöglichen. Diese Unsicherheiten sollten bei der Auswahl einer Strategieentscheidung explizit berücksichtigt werden.

Fuzzy Axiomatic Design ist eine Methode, die diesen Anforderungen gerecht wird und soll deshalb folgend näher erläutert werden. Axiomatic Design ist ein von Suh entwickeltes Designkonzept [Suh90]. Suh geht davon aus, dass es eine geringe Anzahl von Grundprinzipien (Axiome) gibt, die bei Entscheidungsfindungsprozessen heranzuziehen sind, um eine Maximierung der Produktivität von Produktionssystemen zu erzielen [TO07]. Im Mittelpunkt steht dabei ein strukturiertes Vorgehen, bei dem Kundenanforderungen an ein Design, anschließend in funktionale Anforderungen an ein Produkt schrittweise in physische Umsetzungsmöglichkeiten (Designparameter) und schließlich in Prozessparameter bei der Fertigung des Produktes übersetzt werden. Beim Axiomatic Design beschränken sich Betrachtungen häufig auf die Überführung funktionaler Anforderungen in zugehörige Designparameter. Die funktionalen Anforderungen beschreiben, welchen Anforderungen ein Produkt gerecht werden soll. Designparameter beschreiben, wie diese Anforderungen realisiert werden können. Die Überführung funktionaler Anforderungen in Designparameter ist insbesondere bei komplexen Planungsproblemen iterativ zu durchlaufen. Einem aus einer funktionalen Anforderung abgeleiteter Designparameter werden dabei anschließend erneut funktionale Anforderungen zugeordnet. Sollen beispielsweise bei der Planung eines Produktionsbereichs der Verbrauch in der Produktion und die Teileversorgung entkoppelt werden (funktionale Anforderung), kann dies durch Einrichtung eines Materiallagers (Designparameter) realisiert werden. An die Gestaltung eines Materiallagers werden wiederum verschiedenen funktionale Anforderungen gestellt, z.B. Zugänglichkeit von Lagerplätzen oder geringe Ein- und Auslagerzeiten. Diese funktionalen Anforderungen werden anschließend erneut in Designparameter überführt.

Die Dekomposition komplexer Planungsprobleme im Rahmen des Axiomatic Designs orientiert sich am Unabhängigkeits- und am Informationsaxiom. Nach dem Unabhängigkeitsaxiom ist bei der Dekomposition die Unabhängigkeit der funktionalen Anforderungen sicherzustellen. Häufig existiert eine Vielzahl von Designvarianten, die dem Unabhängigkeitsaxiom gerecht werden, aus dieser Vielzahl ist eine beste Alternative auszuwählen. Hierzu wird das sogenannte Informationsaxiom herangezogen. Danach wird eine Designvariante mit dem minimalen Informationsinhalt ausgewählt. Der Informationsinhalt steht in einfachster Form in unmittelbarem Zusammenhang zur Realisierungswahrscheinlichkeit einer gegebenen funktionalen Anforderung [CKÇE09]. Wenn p_i die Realisierungswahrscheinlichkeit einer funktionalen Anforderung FR_i bezeichnet, ergibt sich der Informationsinhalt entsprechend:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{1}{p_i} \right)$$

Wenn durch ein System mehrere funktionale Anforderungen zu erfüllen sind, werden die jeweiligen Informationsinhalte addiert [CC10]:

$$I_{system} = \log_2 \left(\frac{1}{\prod_{i=1}^m p_i} \right) = - \sum_{i=1}^m \log_2 p_i$$

Eine multiplikative Verknüpfung der Eintrittswahrscheinlichkeiten im Nenner sichert die Berücksichtigung aller Anforderungen an ein Design. Erfüllt ein Design eine Anforderung nicht, kann der Informationsinhalt nicht ermittelt werden. Das Design ist in diesem Fall auszuschließen. Durch diese Eigenschaft kann die Kompensation einer Nichterfüllung eines Kriteriums durch eine gute Erfüllung anderer Kriterien vermieden werden. Zur Ermittlung der Realisierungswahrscheinlichkeit müssen eine sogenannte Design Range und eine System Range ermittelt werden. Die Design Range stellt den Wertebereich zulässiger Zielwerte dar, die das geplante System erbringen soll (Leistungsanforderungen). Die System Range hingegen bezeichnet den durch eine Designvariante erreichbaren Wertebereich (Leistungsangebot). Im Idealfall entspricht die System Range der Design Range, d.h., das System ist in der Lage, die definierten Anforderungen zu erfüllen, vgl. Abbildung 2. Die Realisierungswahrscheinlichkeit einer funktionalen Anforderung ergibt sich aus dem Verhältnis aus der Überdeckungsbereich (Common Range) und der System Range [KK05].

Der Informationsinhalt lässt sich daher entsprechend Kulak und Kahraman [KK05] wie folgt ermitteln:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{System Range}}{\text{Common Range}} \right)$$

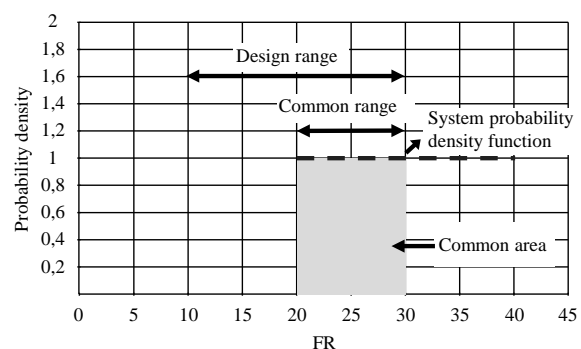


Abbildung 2. Design Range, System Range und Common Range [KK05]

Für die System Range wird in Abbildung 2 eine Gleichverteilung angesetzt, d.h., alle Werte innerhalb der System Range haben die gleiche Eintrittswahrscheinlichkeit. In Verallgemeinerung können statt einer Gleichverteilung auch Dichtefunktionen anderer Verteilungen angesetzt werden. Bei kontinuierlichen funktionalen

Anforderungen kann die Realisierungswahrscheinlichkeit p_i wie folgt ermittelt werden [KK05]:

$$p_i = \int_{dr^l}^{dr^u} p_S(FR_i) dFR_i$$

Dabei bezeichnet p_S die Systemdichtefunktion. Integrationsgrenzen sind die untere Grenze dr^l der Design Range sowie die obere Grenze dr^u der Design Range.

An dieser Stelle setzt eine Verallgemeinerung des konventionellen Axiomatic Designs an. Aufgrund unvollständiger Informationen in der Realität schlagen Kulak und Kahraman [KK05] eine Interpretation der Dichtefunktionen durch Zugehörigkeitsfunktionen unscharfer Mengen vor. Diese Erweiterung wird als Fuzzy Axiomatic Design bezeichnet. Beim Fuzzy Axiomatic Design werden der Design Range und der System Range unscharfe Mengen zugeordnet, die die Unvollkommenheit der vorliegenden Informationen widerspiegeln. Der Informationsinhalt ergibt sich wie folgt [KÇ09]:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{TFN \text{ of System Design}}{\text{Common Area}} \right)$$

Hierbei bezeichnet *TFN of System Design* die Fläche unter der dreieckigen Zugehörigkeitsfunktion (**triangular fuzzy number**) für die System Range. Die Fläche unter der Zugehörigkeitsfunktion (für symmetrische Fuzzy Sets) und die Common Area können entsprechend folgender Gleichungen ermittelt werden:

$$TFN \text{ of System Design} = \frac{1}{2}(x_4 - x_1)$$

$$\text{Common Area} = \frac{1}{2}\mu(x_2)(x_3 - x_1) + \frac{1}{2}\mu(x_3)(x_4 - x_2)$$

Die Flächen sind in Abbildung 3 veranschaulicht.

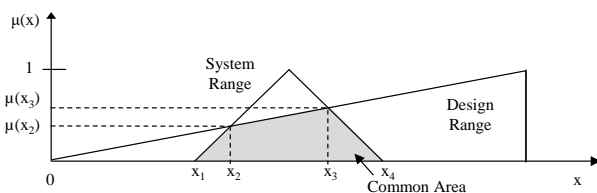


Abbildung 3. System Range, Design Range und Common Area für unscharfe Mengen [KÇ09]

Die Ermittlung des Informationsinhalts ermöglicht die Auswahl eines Designs, bei dem die Wahrscheinlichkeit, dass Leistungsanforderungen und Leistungsangebot übereinstimmen, maximal ist.

Der Anwendungsbereich des (Fuzzy) Axiomatic Design ist nicht auf Entwicklung komplexer Systeme (z.B. Produkte, Fertigungssysteme) beschränkt. Aufgrund des

Informationsaxioms findet (Fuzzy) Axiomatic Design unter anderem im Bereich der multikriteriellen Entscheidungsfindung breite Anwendung, z.B. bei der Auswahl von Logistikdienstleistern [KK05], bei der Auswahl von Lieferanten unter Berücksichtigung ökologischer Kriterien [Kan15] oder bei der Auswahl alternativer Formen erneuerbarer Energien [Kah09].

4 LEISTUNGSORIENTIERTE AUSWAHL VON MATERIALBEREITSTELLUNGSSTRATEGIEN

Im Rahmen der Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien ist die grundsätzliche Eignung einer Materialbereitstellungsaufgabe, der Grad der Zielerreichung sowie der Aufwand zur Zielerreichung zu analysieren. Es zeigt sich, dass es Unternehmen gibt, die eine Auswahl einer Materialbereitstellungsstrategie ohne Kenntnis über etwaige Verbesserungen vornehmen [HJ10].

Eine leistungsorientierte Bewertung von Materialbereitstellungsstrategien erfordert die Identifikation von leistungsbezogener Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess. Nach Ermittlung dieser Anforderungen sind die Materialbereitstellungsstrategien hinsichtlich ihres Leistungsprofils (Leistungsangebots) zu analysieren und den Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess gegenüberzustellen.

4.1 ERMITTLUNG VON LEISTUNGSANFORDERUNGEN

Die zielgerichtete Planung und der Betrieb effizienter Materialbereitstellungsprozesse orientieren sich in der Regel an den Anforderungen an den Montageprozess sowie daraus abgeleiteten Zielen an den Materialbereitstellungsprozess. Die Ermittlung der Anforderungen bzw. Ziele an den Materialbereitstellungsprozess kann aus der Einbettung des Materialbereitstellungsprozesses in die Lieferkette (ablauforganisatorische Sicht) sowie aus der aufbauorganisatorischen Einbindung des Materialbereitstellungsprozesses abgeleitet werden. Darüber hinaus sind gegebenenfalls weitere Anspruchsgruppen zu berücksichtigen, die die Gestaltung und den Betrieb einer Materialbereitstellungsstrategie beeinflussen können. Bei ganzheitlichen Planungsansätzen gilt es, neben unternehmensinternen Anspruchsgruppen auch unternehmensexterne Anspruchsgruppen zu berücksichtigen. So weisen Johansson und Johansson [JJ06] auf die Bedeutung Supply Chainseitiger Ansprüche hin. Im Rahmen des Concurrent Engineering sollten bei Produktneuentwicklungen ebenfalls logistische Fragestellung Beachtung finden. Es kann daher im Rahmen der Planung von Materialbereitstellungsprozessen erforderlich sein, Anforderungen seitens der Produktentwicklung oder seitens der Entwickler zugehöriger Produktionssysteme zu berücksichtigen [JJ06]. Eine exemplarische Einteilung von Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess zeigt Abbildung 4.

Auf Basis der unternehmensspezifisch zu ermittelnder Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess werden Leistungsindikatoren abgeleitet, die zur Bewertung und Auswahl einer Materialbereitstellungsstrategie herangezogen werden.

ablauforganisatorische Einordnung des Materialbereitstellungsprozesses	aufbauorganisatorische Einbettung des Materialbereitstellungsprozesses	weitere Gruppen mit Ansprüchen an den Materialbereitstellungsprozess
<ul style="list-style-type: none"> ▪ kundenseitige Anforderungen (aus Sicht des Materialbereitstellungsprozesses ist das Montagesystem interner Kunde des Materialbereitstellungsprozesses) ▪ lieferantenseitige Anforderungen <ul style="list-style-type: none"> ▪ gewisse Autonomie bei Kognitions-lagerbewirtschaftung ▪ Organisation von Just-in-Time- oder Just-in-Sequence-Systemen ▪ Flexibilität der Wiederbeschaffung ▪ Kapazitätsplanung für Wiederbeschaffung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anforderungen des Managements, die sich in Zielvorgaben widerspiegeln ▪ funktionsbereichsbedingte Denkweisen, wenn der Materialbereitstellungsprozess schrittstellenübergreifend erfolgt ▪ Einsatz von Dienstleistern zur Sicherstellung der innerbetrieblichen Materialbereitstellung ▪ Qualifikation der Mitarbeiter ▪ Entlohnungsmodelle (Montagemitarbeiter erhalten häufig ein höheres Entgelt als Logistiker) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mitarbeiterforderungen ▪ ergonomische Fragestellungen ▪ demographische Entwicklung ▪ Betriebsrat ▪ ökologische Anforderungen (Transportkostenreduktion, Energieeinsparung usw.) ▪ Sicherheitsaspekte ▪ juristische Fragestellungen (z.B. Eigentumsübertragung an gelieferten Teilen)

Abbildung 4. Exemplarische Einteilung von Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess

Exemplarische Leistungsindikatoren, die aufgrund der ermittelten Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess abgeleitet werden, sind beispielsweise:

- kostenbezogenen Leistungsindikatoren (z.B. Kommissionierkosten, Transportkosten, Transportmittelanzahl, Transporthäufigkeit, Handlingskosten, logistischer Arbeitsanteil bei Montagemitarbeitern, Griffzeiten, Investitionskosten in Materialbereitstellungsstrategien, Kapitalbindungskosten, Anzahl Lagerstufen im System, Sicherheitsbestände, Personalkosten, Anzahl Logistiker, Flächenkosten, Flächeninanspruchnahmen am Verbauort, Flächeninanspruchnahmen durch zusätzliche Lagerstufen, Fehlmengenkosten, Verfügbarkeit von Teilen, dispositiver Aufwand, Instandhaltungskosten),
- qualitätsbezogene Leistungsindikatoren (z.B. Anzahl fehlerhafter Verbauungen, Risiko von Fehlmengen, Reaktionszeit bei Fehlern, Kommissionierfehler, Risiko fehlerhafter Anlieferungen, Risiko eines falschen Anlieferorts, Eignung einer Materialbereitstellungsstrategie für die Bereitstellung qualitätskritischer Teile),
- zeitliche Leistungsindikatoren (z.B. Pickzeiten am Montagearbeitsplatz, Kommissionieraufwand durch Logistiker, zeitlicher Vorgriffshorizont bis Verbau, Reaktionszeiten bei Fehlern, Wiederbeschaffungszeiten),
- flexibilitätsbezogene Leistungsindikatoren (z.B. Flexibilität der Transportplanung, Flexibilität der Transportwegführung, Flexibilität hinsichtlich Sortimentsveränderungen am Verbauort, Flexibilität der Transportsysteme hinsichtlich Transportmassen und -volumina, Robustheit gegenüber Störungen, Flexibilität hinsichtlich bereitzustellender Mengen).

4.2 MODELLIERUNG VON LEISTUNGSANFORDERUNGEN UND -ANGEBOTEN

Nach Ermittlung allgemeiner Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess werden diese in Form von Leistungsindikatoren konkretisiert. Dazu ist unternehmensspezifisch ein Satz entscheidungsrelevanter Leistungsindikatoren zu bilden. Neben einer Berücksichtigung kosten-, qualitäts-, flexibilitätsbezogener und zeitlicher Leistungsindikatoren können bedarfsweise zusätzlich Indikatoren, wie z.B. ökologische oder soziale Größen, herangezogen werden. Bei der Definition der Leistungsindikatoren ist nach Möglichkeit auf Unabhängigkeit der Leistungsindikatoren Wert zu legen. Da dies nicht immer möglich ist, z.B. bedingen hohe Kommissionierzeiten am Montagearbeitsplatz hohe Kommissionierkosten, sind im Rahmen der Festlegung von Gewichtungsfaktoren Interdependenzen zwischen den Gewichtungsfaktoren zu berücksichtigen. Dies ist beispielsweise durch den Einsatz von Methoden wie der Analytic Network Process oder Analytic Hierarchy Process möglich.

Obwohl Kostenangaben oder Qualitätsaussagen vermeintlich leicht quantifiziert werden können, zeigten Hua und Johnson [HJ10], dass leistungsbezogene Aussagen hinsichtlich dieser Kriterien dennoch nur sehr schwer vorgenommen werden können. So gestaltet sich eine Quantifizierung der Kosten für Kitting und Line Stocking schwer [HJ10].

Eine testweise Implementierung einer Materialbereitstellungsstrategie in einem realen Montagesystem kann in der Regel nicht gewährleistet werden. Der Einsatz von Simulation zur Ermittlung quantifizierbarer Leistungsdaten ist mit verhältnismäßig hohem Aufwand verbunden und ist außerdem auf die Ermittlung leicht quantifizierbarer Leistungsindikatoren beschränkt. Auch analytische Methoden erlauben ausschließlich die Ermittlung gut quantifizierbarer Leistungsindikatoren. Veränderungen im Modell können bei analytischen Methoden teilweise mit erheblichen Rechenaufwand verbunden sein, insbesondere wenn unsichere Daten zu berücksichtigen sind. Aus diesem Grunde werden hier für die Modellierung der Leistungsanforderungen und -angebote unscharfe Mengen eingesetzt. Die Verwendung unscharfer Mengen erlaubt sowohl die Abbildung qualitativer als auch quantitativer Daten. Außerdem können damit Unsicherheiten hinsichtlich der Daten abgebildet werden.

Die Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess und das Leistungsangebot der Materialbereitstellungsstrategien werden als linguistische Variable interpretiert. Jeder linguistischen Variablen sind mehrere linguistische Terme zugeordnet. Hierbei wird sich bei der Modellierung der Leistungsangebote auf fünf linguistische Variable beschränkt. Diese lauten im Einzelnen: sehr gering, gering,

mittel, hoch, sehr hoch, vgl. Abbildung 5. Zur Verringerung des Rechenaufwands werden dreiecksförmige unscharfe Mengen empfohlen.

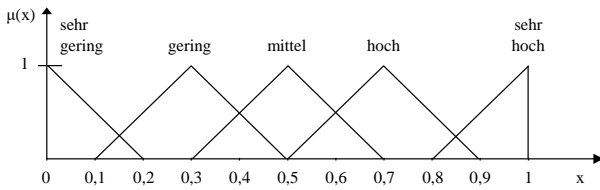


Abbildung 5. Fuzzy Sets für linguistische Terme zur Charakterisierung des Leistungsangebots

Zur Modellierung der Leistungsanforderungen werden abweichende unscharfe Mengen herangezogen. Besteht beispielsweise die Anforderung, dass eine Materialbereitstellungsstrategie eine bestimmte Anforderung in mittlerem Umfang erfüllt, z.B. bei der Kennzahl „Reaktionszeit bei Fehlern“, so würde eine Materialbereitstellungsstrategie, die eine geringere Reaktionszeit auf Fehler aufweist, ausgeschlossen werden. Um dies zu vermeiden, wird die Verwendung von unscharfen Mengen vorgeschlagen, die mit dem Zusatz „mindestens“ oder „höchstens“ ausgestattet sind [KÇ09, CKÇE09]: mindestens sehr gering, mindestens gering, mindestens mittel, mindestens hoch, mindestens sehr hoch sowie höchstens sehr gering, höchstens gering, höchstens mittel, höchstens hoch, höchstens sehr hoch. Linguistische Terme mit dem Zusatz „mindestens“ werden für Positivkriterien verwendet, z.B. bei flexibilitätsbezogenen Kriterien. Mit dem Zusatz „höchstens“ werden Negativkriterien versehen, hierzu zählen z.B. Personalkosten oder Reaktionszeit bei Fehlern, vgl. Abbildung 6.

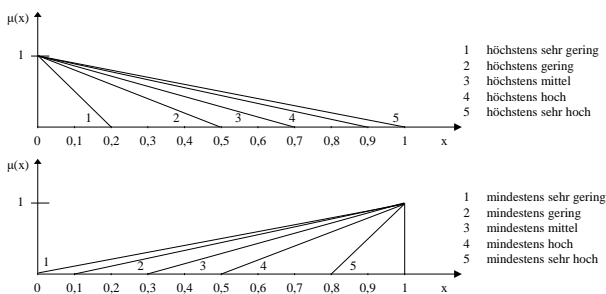


Abbildung 6. Fuzzy Sets für linguistische Terme zur Charakterisierung der Leistungsanforderungen

Durch Experten wird für jeden Leistungsindikator ein Zielwert (in Form eines linguistischen Terms) festgelegt.

4.3 ABGLEICH VON LEISTUNGSANGEBOT UND LEISTUNGSANFORDERUNGEN

Die Auswahl einer Materialbereitstellungsstrategie basiert auf einer Gegenüberstellung von Leistungsanforderungen an den Materialbereitstellungsprozess sowie dem Leistungsangebot der Materialbereitstellungsstrategien. Unter Verwendung von Fuzzy Axiomatic Design kann eine

Auswahl unter den Materialbereitstellungsstrategien vorgenommen werden.

Entsprechend der Fuzzy Axiomatic Design Methode wird für jede Materialbereitstellungsstrategie der jeweilige Informationsinhalt je Leistungsindikator ermittelt. Dieser ergibt sich durch Gegenüberstellung des Leistungsangebots einer Materialbereitstellungsstrategie und den Leistungsanforderungen aus der Materialbereitstellungsaufgabe. Durch Überlagerung der zugehörigen Fuzzy Sets kann ein Überdeckungsbereich, sofern vorhanden, ermittelt werden. Ein hoher Überdeckungsbereich (Common Area) sichert eine hohe Übereinstimmung zwischen Leistungsangebot und Leistungsanforderung. Ein kleiner Überdeckungsbereich spiegelt eine ungünstige Materialbereitstellungsstrategie wider.

Anschließend sind die Informationsinhalte der einzelnen Kriterien zusammenzuführen. Hierzu sind die Kriterien untereinander zu gewichten. Der Gewichtungsfaktor für eine Leistungsanforderung FR_i sei α_i .

Der Informationsinhalt einer Materialbereitstellungsstrategie ist die gewichtete Summe aller Informationsinhalte der innerhalb der Bewertung zugrunde gelegten funktionalen Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess.

$$I_{MB-Strategie} = \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot I_i$$

Nach Ermittlung aller Informationsinhalte für die betrachteten Materialbereitstellungsstrategien wird die Materialbereitstellungsstrategie ausgewählt, die den geringsten Informationsinhalt aufweist.

Innerhalb des Verfahrens besteht die Möglichkeit, bedarfsweise einander kompensierende Kriterien zu definieren. Gegebenenfalls bietet sich die Kompensation verschiedener kostenbezogener Kriterien an. Dies verhindert, dass Materialbereitstellungsstrategien eventuell leichtfertig ausgeschlossen werden, weil für ein bestimmtes Kriterium eine Leistungsanforderung verletzt wird. Beispielsweise könnten bei einer Materialbereitstellungsstrategie hohe Kommissionierkosten, die durch Entscheidungsträger als unzulässig erachtet werden, durch geringe Kapitalbindungskosten kompensiert werden. Wenn dies zulässig ist, bietet sich eine Gesamtkostenbewertung an. Dies eröffnet die Möglichkeit, Materialbereitstellungsstrategien miteinander zu vergleichen, die nicht hinsichtlich bestimmter Leistungsindikatoren vergleichbar sind. Ein Vergleich erfolgt in diesem Fall auf einer höher angesiedelten Aggregationsebene innerhalb des jeweils zugrundeliegenden Kennzahlensystems.

5 FALLBEISPIEL

Folgend soll das Vorgehen anhand eines Fallbeispiels veranschaulicht werden. Für ein Produktionssystem sei eine Materialbereitstellungsstrategie auszuwählen. Es stehen vereinfachend zwei Materialbereitstellungsstrategien zur Verfügung: Kitting und Line Stocking. Für den jeweiligen Anwendungsfall ist festzulegen, wie die Kriterien untereinander zu gewichten sind. Abbildung 7 zeigt exemplarische Leistungsindikatoren, die Bewertung der beiden Materialbereitstellungsstrategien sowie die Leistungsanforderungen. Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass eine allgemeine Bewertung der Materialbereitstellungsstrategien hinsichtlich bestimmter Leistungsindikatoren nicht möglich ist. Eine Bewertung ist stets anwendungsspezifisch vorzunehmen. Beispielsweise ist das Risiko fehlerhafter Verbauungen beim Line Stocking bei wenig veränderlichen Produktionsprogrammen und geringem Teilesortiment verhältnismäßig gering, bei variantenreichen Teilesortimenten und häufigen Wechseln des Produktionsprogramms jedoch hoch.

Auf Basis der jeweiligen Bewertung der Materialbereitstellungsstrategien kann die System Range ermittelt werden, vgl. Abbildung 8. Die Common Area ergibt sich als Überlagerungsbereich zwischen System Range und Design Range. Die Design Range entspricht den Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess. Damit kann der Informationsinhalt jeder Materialbereitstellungsstrategie hinsichtlich der einzelnen Leistungsindikatoren ermittelt werden. Mithilfe der Gewichtungsfaktoren resultiert der Gesamtinformationsinhalt einer Materialbereitstellungs-

strategie. Entsprechend dem Informationsaxiom ist die Materialbereitstellungsstrategie auszuwählen, die den geringsten Informationsinhalt aufweist. Dies ist im Beispiel die Materialbereitstellungsstrategie Kitting.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die vorgestellte Methode zur Bewertung und Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien ermöglicht eine leistungsorientierte Bewertung von Materialbereitstellungsstrategien unter Einsatz der Fuzzy Axiomatic Design-Methode. Nach Identifikation relevanter Anspruchsgruppen werden Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess definiert. Diese dienen als Grundlage für die Ableitung von Leistungsindikatoren. Die Leistungsindikatoren werden im Rahmen der Fuzzy Axiomatic Design-Methode – eine Methode zur multikriteriellen Entscheidungsfindung – verwendet, um Leistungsanforderungen an den Materialbereitstellungsprozess zugehörigen Leistungsangeboten unterschiedlicher Materialbereitstellungsstrategien gegenüberzustellen. Die Methode kann sowohl für qualitative als quantitative Leistungsindikatoren verwendet werden. Die Nichterfüllung eines Kriteriums wird nicht durch eine gute Erfüllung anderer Kriterien kompensiert. Außerdem ermöglicht die Methode den Umgang mit unsicheren Informationen. Insbesondere im strategischen Kontext sind Detailinformationen häufig nicht verfügbar. Damit stellt diese Methode eine Ergänzung zu vorhandenen analytischen oder simulationsbasierten Methoden zur Bewertung von Materialbereitstellungsstrategien dar.

Ziele	Leistungsindikatoren	Bewertung Line Stocking	Bewertung Kitting	Leistungsanforderungen
Kosten	Kommissionier- und Transportkosten (C ₁₁)	sehr gering	hoch	höchstens hoch
	Investitionskosten in Materialbereitstellungsstrategie (C ₁₂)	sehr gering	mittel	höchstens mittel
	Kapitalbindungskosten (C ₁₃)	sehr hoch	sehr gering	höchstens hoch
	Kosten für Inanspruchnahmen von Flächen am Verbauort (C ₁₄)	sehr hoch	sehr gering	höchstens sehr hoch
Qualität	Anzahl fehlerhafte Verbauungen (C ₂₁)	mittel	sehr gering	höchstens mittel
	Risiko von Fehlmengen (C ₂₂)	sehr gering	mittel	höchstens mittel
	Reaktionszeit bei Fehlern (C ₂₃)	sehr gering	mittel	höchstens mittel
	Risiko eines falschen Anlieferungsorts (C ₂₄)	sehr gering	hoch	höchstens hoch
	Eignung für die Bereitstellung qualitätskritischer Teile (C ₂₅)	sehr gering	hoch	mindestens sehr gering
Zeit	Pick-Zeiten am Montagearbeitsplatz (C ₃₁)	sehr hoch	gering	höchstens sehr hoch
	Kommissionieraufwand durch Logistiker (C ₃₂)	sehr gering	sehr hoch	höchstens sehr hoch
Flexibilität	Flexibilität hinsichtlich Sortimentsveränderungen (C ₄₁)	mittel	sehr hoch	mindestens mittel
	Robustheit gegenüber Störungen (C ₄₂)	sehr hoch	mittel	mindestens mittel

Abbildung 7. Exemplarischer Vergleich von Line Stocking und Kitting

Ziele (Gewicht)	Leistungs- Indikatoren (Gewicht)	TFN Line Stocking	TFN Kitting	Common Area Line Stocking	Common Area Kitting	Informations- inhalt (I _i) Line Stocking	Informations- inhalt (I _i) Kitting
Kosten (0,2)	C ₁₁ (0,25)	0,1	0,2	0,1	0,072	0	1,46
	C ₁₂ (0,25)	0,1	0,2	0,1	0,08	0	1,17
	C ₁₃ (0,25)	0,1	0,1	0,0045	0,1	4,46	0
	C ₁₄ (0,25)	0,1	0,1	0,016	0,1	2,58	0
Qualität (0,3)	C ₂₁ (0,2)	0,2	0,1	0,08	0,1	1,17	0
	C ₂₂ (0,2)	0,1	0,2	0,1	0,08	0	1,17
	C ₂₃ (0,2)	0,1	0,2	0,1	0,08	0	1,17
	C ₂₄ (0,2)	0,1	0,2	0,1	0,072	0	1,46
	C ₂₅ (0,2)	0,1	0,2	0,0083	0,18125	3,58	0,14
Zeit (0,1)	C ₃₁ (0,5)	0,1	0,2	0,016	0,18125	2,58	0,14
	C ₃₂ (0,5)	0,1	0,1	0,1	0,016	0	2,58
Flexibilität (0,4)	C ₄₁ (0,5)	0,2	0,1	0,08	0,1	1,17	0
	C ₄₂ (0,5)	0,1	0,2	0,1	0,08	0	1,17
$\sum_{i=1}^{13} \alpha_i \cdot I_i$						1	0,74

Abbildung 8. Exemplarische Ermittlung des Informationsinhalts unterschiedlicher Materialbereitstellungsstrategien

Insbesondere in turbulenten Produktionsumgebungen gewinnt die Problematik der Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien zunehmend an Bedeutung, da Prognosen über ein Eintreten und die Intensität einer Änderung immer schwerer vorhersagbar werden. Aus diesem Grunde werden eine adaptive Gestaltung von Materialbereitstellungssystemen und eine adaptive Materialbereitstellungsplanung immer bedeutsamer [VK14b, VK15]. Aufgabe zukünftiger Untersuchungen ist es, Methoden zu entwickeln, die eine multikriterielle Bewertung ebenso in dynamischen Umgebungen erlauben.

7 QUELLEN

- [BMcG92] Bozer Y A, McGinnis L F (1992) *Kitting versus line stocking: A conceptual framework and a descriptive model*, International Journal of Production Economics, Vol. 28, No. 1, pp. 1-19
- [CP11] Caputo A, Pelagagge P M (2011) *A methodology for selecting assembly system feeding policy*, Industrial Management & Data Systems, Vol. 111, No. 1, pp. 84-112
- [CKÇE09] Celik M, Kahraman C, Çebi S, Er I D (2009) *Fuzzy axiomatic design-based performance evaluation model for docking facilities in shipbuilding industry: The case of Turkish shipyards*, Expert Systems with Application, Vol. 36, No. 1, pp. 599-615
- [CC10] Cicek K, Celik M (2010) *Multiple attribute decision-making solution to material selection problem based on modified fuzzy axiomatic design-model selection interface algorithm*, Materials and Design, Vol. 31, No. 4, pp. 2129-2133
- [Han12] Hanson R (2012) *In-plant material supply: Supporting the choice between kitting and continuous supply*, Dissertation, Chalmers University of Technology, Gothenburg
- [HJ10] Hua S Y, Johnson D J (2010) *Research issues on factors influencing the choice of kitting versus line stocking*, International Journal of Production Research, Vol. 48, No. 3, pp. 779-800

- [JJ06] Johansson E, Johansson M I (2006) *Materials supply systems design in product development projects*, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 26, No. 4, pp. 371-393
- [Joh91] Johansson M I (1991) *Kitting systems for small parts in manual assembly systems*, Pridham, M and O'Brien, C (Hrsg.), Production Research – Approaching the 21st Century, Taylor & Francis, London, pp. 225-230
- [Joh06] Johansson E (2006) *Materials Supply Systems Design during Product Development*, Dissertation, Chalmers University of Technology, Gothenburg
- [KGR15] Kannan D, Govindan K, Rajendran S (2015) *Fuzzy Axiomatic Design approach based green supplier selection: a case study from Singapore*, Journal of Cleaner Production, Vol. 96, pp. 194-208
- [KÇ09] Kahraman C, Çebi S (2009) *A new multi-attribute decision making method: Hierarchical fuzzy axiomatic design*, Expert Systems with Application, Vol. 36, No. 3, Part 1, 4848-4861
- [KÇ09] Kahraman C, Kaya İ, Çebi S (2009) *A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process*, Energy, Vol. 34, No. 10, pp. 1603-1616
- [KK05] Kulak O, Kahraman C (2005) *Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process*, Information Sciences, Vol. 170, No. 2-4, pp. 191–210
- [Suh90] Suh N P (1990) *The principles of design*, Oxford University Press, New York
- [TO07] Tauhid S, Okudan G (2007) *Fuzzy information axiom approach for design concept evaluation*, Bocquet J-C (Hrsg.) Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design (ICED'07), Paris, France, 28-31 August 2007
- [VK14a] Vojdani N, Knop M (2014) *Intelligente Materialbereitstellung für selbstorganisierende Produktionsprozesse*, In: Jahrbuch Logistik 2014, free beratung GmbH, Korschenbroich, S. 58-62
- [VK14b] Vojdani N, Knop M (2014) *Adaptive Materialbereitstellung in flexiblen Produktionssystemen auf Grundlage einer agentenbasierten Transportsteuerung*, Logistics Journal: Proceedings, Vol. 2014
- [VK15] Vojdani N, Knop M (2015) *Agent-based approach for adaptive line feeding*, Proceedings: XXI Triennial International Conference MHCL 2015, Material Handling, Construction and Logistics, Vienna, Austria, 23-25 September 2015
- [VLK10] Vojdani N, Lootz F, Kirwitzke D (2010) *Lean Logistics - Innovative Bewertungsmethodik zur Auswahl schlanker Materialbereitstellungsstrategien*, Logistics Journal: Proceedings, Vol. 06

Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani ist Lehrstuhlinhaberin des Lehrstuhls für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.

Dipl.-Wirt.-Ing. Mathias Knop ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.

Adresse: Lehrstuhl Produktionsorganisation und Logistik, Universität Rostock, Richard-Wagner-Str. 31, 18119 Rostock, Deutschland, Tel: +49 381 498-9250, Fax: +49 381 498-9252, E-Mail: lpl@uni-rostock.de