

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 19373 N

## Thema

Entwicklung einer Methode zur Planung und Bewertung des Lager-, Kommissionier- und Transportsystems vor dem Hintergrund der Wandlungsfähigkeit und der Automatisierung

## Berichtszeitraum

01.03.2017 – 31.12.2019

## Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik e.V. – BVL

## Forschungseinrichtung(en)

Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

Hannover, 01.03.2020

---

Ort, Datum

Maren Müller



---

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der  
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:

## Inhalt

Thema.....	1
Berichtszeitraum.....	1
Forschungsvereinigung .....	1
Forschungseinrichtung(en).....	1
1. Zusammenfassung.....	3
2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung .....	3
3. Gegenüberstellung angestrebter Teilziele und erzielter Ergebnisse .....	4
4. Erzielte Ergebnisse .....	6
5. Verwendung der Zuwendung .....	30
6. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	30
7. Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen .....	31
8. Veröffentlichungen und Transfermaßnahmen.....	32
9. Einschätzung der Realisierbarkeit der geplanten Maßnahmen.....	35
10. Durchführende Forschungsstelle .....	36
11. Förderhinweis .....	37
12. Anhang.....	38
Anhang 1: Fragenkataloge zur Bestimmung des Mindestmaßes an Automatisierung .....	38
Anhang 2: Leistungsklassen LKT-Systeme.....	44
Anhang 3: Einordnung Lager- und Kommissioniersysteme nach ihrem Mechanisierungsgrad .....	47
Anhang 4a: Einfluss Rezeptoren.....	48
Anhang 4b: Relevanz Wandlungsbefähiger .....	50
Anhang 4c: Wandlungsfähigkeit der Elemente.....	52
Anhang 5: Bewertung der Wandlungsfähigkeit: Lager- und Kommissioniersysteme .....	54
Anhang 6: Wandlungstreiberkatalog .....	55
Anhang 7: Wandlungstreiberkatalog mit Bezug zu den Wandlungsbefähigern und Gewichtungen.....	58
13. Literaturverzeichnis .....	60

## **1. Zusammenfassung**

Die optimale Auswahl eines Lager-, Kommissionier- und Transportsystems (LKT-Systems) gewinnt aufgrund der Forderung nach erhöhter Variantenvielfalt der Kunden und den neuen Technologien der Industrie 4.0 zunehmend an Bedeutung [Lan12]. Neue Anforderungen, wie z.B. eine hohe Anpassungsfähigkeit, stellen vor allem kleine und mittlere Unternehmen (KMU) vor große Herausforderungen [Wie14]. Wandlungsfähige Technologien ermöglichen es, ein System flexibel und durch leichte Rekonfiguration an veränderte Rahmenbedingungen, wie das zu lagernde Produktportfolio sowie die Lagerorganisationsform, anzupassen [Nyh08]. Analog hierzu ist es erforderlich, die Automatisierung der Systeme im Lager zu betrachten. Dabei ist es für ein Unternehmen wichtig festzustellen, welcher Grad an Automatisierung für sie optimal ist. Die Planung und Anschaffung von LKT-Systemen besitzen einen seltenen und langfristigen Charakter, weshalb die Kapazitäten in KMU personell sowie fachlich oftmals nicht ausreichen, um eine qualifizierte Entscheidung zu treffen.

Vor dem Hintergrund der Wandlungsfähigkeit und Automatisierung wurde deshalb eine Methode zur Auswahl und Bewertung von LKT-Systemen entwickelt, welche durch einen Softwaredemonstrator individuell eingesetzt werden kann. Dafür wurde zunächst die Automatisierung betrachtet und auf der einen Seite eine Methode entwickelt, mit der der aktuelle Automatisierungsgrad von LKT-Systemen, die am Markt zur Verfügung stehen, bestimmt werden kann. Auf der anderen Seite wurde methodisch aufbereitet, wie der notwendige Grad an Automatisierung bestimmt werden kann. Dies basiert bspw. unter anderem auf dem Mindestmaß an Automatisierung, welches sich durch gesetzliche Richtlinien ergibt. Anschließend wurde auch die Wandlungsfähigkeit dementsprechend aufbereitet. Es erfolgte die Entwicklung einer Methode zur Bestimmung der aktuellen Wandlungsfähigkeit von LKT-Systemen, die auf Wandlungsmerkmalen, zugeordnet zu den Wandlungsbefähigern, basiert. Zur Bestimmung der notwendigen Wandlungsfähigkeit von LKT-Systemen wurde ein Wandlungstreiberkatalog aufgestellt, der sich ebenfalls auf die Wandlungsbefähiger zurückführen lässt, sodass anschließend ein Abgleich der Erkenntnisse und damit ein Matching erfolgen kann. Neben der Betrachtung der Wandlungsfähigkeit und Automatisierung sind auch die Wechselwirkungen der LKT-Systeme untereinander beachtet worden, da bei der Bestimmung einer passenden Lösung Inkompatibilitäten zwischen Lager-, Kommissionier- und Transportsystemen auftreten können. Dafür wurden Listen erstellt, welche die Kombinationsmöglichkeiten der Systeme aufzeigt. Die Ergebnisse wurden abschließend in einen Softwaredemonstrator überführt und mit Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses validiert.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

## **2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung**

Kürzere Produktlebenszyklen, erhöhte Variantenvielfalt und steigender Kostendruck durch Globalisierung bedingen neue Anforderungen an LKT-Systeme, wie z. B. geringe Investitionen oder eine hohe Anpassungsfähigkeit [Bic13, Hom10, Kro11, Elm09]. Die erhöhte Zugriffshäufigkeit sowie Tendenzen zum Outsourcing von Logistiktätigkeiten und zunehmender Betrieb durch Investoren führen zu neuen Herausforderungen bei der Planung und Bewertung von LKT-Systemen [Hau14]. Diese Herausforderungen bestehen insbesondere in einem ständig wechselnden Portfolio an zu lagernden, zu kommissionierenden und zu transportierenden

Gütern. Um diesen Herausforderungen zu begegnen und am Markt bestehen zu können, müssen sowohl Logistikdienstleister als auch produzierende Unternehmen, die ihre Logistikfähigkeiten selbst übernehmen, ihre LKT-Systeme optimal auswählen. Bei der Auswahl sind der Grad an Wandlungsfähigkeit und Automatisierung von großer Bedeutung. Die Wandlungsfähigkeit ermöglicht es, flexibel und durch leichte Rekonfiguration auf ein breites Spektrum an Anwendungsfällen zu reagieren [Nyh08]. Anwendungsfälle unterscheiden sich bspw. durch das gegebene Produktportfolio oder die Organisationsform des Unternehmens. Für den Anwender ist es besonders wichtig, den notwendigen Grad an Wandlungsfähigkeit zu definieren, um einerseits nicht aufgrund mangelnder Wandlungsfähigkeit Markttrends zu verpassen und andererseits keine großen Investitionen in die Erhöhung der Wandlungsfähigkeit zu tätigen, die aufgrund des speziellen Anwendungsfalls nicht notwendig sind. Bis dato gab es keine Methode, die diese Einflussfaktoren analysiert und eine Handlungsempfehlung für den Anwendungsfall ermöglicht. Analog dazu ist es wichtig den notwendigen Grad an Automatisierung genau zu definieren, um Fehlinvestitionen zu vermeiden und Vorteile einer Automatisierung eines LKT-Systems optimal nutzen zu können.

Wie sich aus durchgeführten Beratungsprojekten zur Lagerplanung der Forschungsstelle gezeigt hat, ist neben der zeitintensiven Analyse des zu lagernden Produktportfolios auch die Bewertung eines LKT-Systems hinsichtlich der Wandlungsfähigkeit und Automatisierung anspruchsvoll. Bei der Auswahl eines geeigneten Systems können KMU durch Experten unterstützt werden. Problematisch bei dieser Unterstützung durch Experten ist, dass diese zwar in einem Teilgebiet versiert sind (bspw. für eine bestimmte Art an Transportsystemen – wie Flurförderfahrzeuge), aber keine umfassende Sachkenntnis über alle am Markt verfügbaren LKT-Systeme oder deren systematisierte Auswahl hinsichtlich des Grades an Wandlungsfähigkeit oder Automatisierung besitzen.

Bisher war es insbesondere für KMU nicht aufwandsarm möglich, LKT-Systeme optimal auszuwählen. Dies ist sowohl mit der fehlenden personellen Kapazität als auch mit dem fehlenden Fachwissen zu begründen. In KMUs werden solche Planungsaufgaben meist in Projektform von Mitarbeitern parallel zu ihrer regulären Tätigkeit durchgeführt. Da diese Planungsaufgaben einen langfristigen Charakter besitzen, fallen sie nur in großen Zeitabständen an. Somit kann der Mitarbeiter weder über einen großen Erfahrungsschatz noch über einen aktuellen und umfassenden Marktüberblick verfügen.

Aus den genannten Defiziten ergab sich die Notwendigkeit der Entwicklung einer Methode zur Auswahl eines Lager-, Kommissionier- und Transportsystems vor dem Hintergrund der notwendigen Wandlungsfähigkeit und Automatisierung.

### **3. Gegenüberstellung angestrebter Teilziele und erzielter Ergebnisse**

Das Forschungsvorhaben basiert auf der Hypothese, dass es für Investitionsentscheider in KMU schwer ist, den notwendigen Grad an Wandlungsfähigkeit sowie an Automatisierung sowohl für den Anwendungsfall zu bestimmen als auch den Grad an Wandlungsfähigkeit und Automatisierung von am Markt verfügbaren LKT-Systemen präzise zu definieren.

Das Ziel des Forschungsprojekts war daher die Entwicklung einer Methode zur Bestimmung der notwendigen Ausprägungen der Wandlungsfähigkeit und Automatisierung zur Auswahl eines LKT-Systems. Dazu wurden drei Teilziele verfolgt und wie folgend dargestellt bearbeitet.

### **Teilziel 1:**

Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag: Das erste Teilziel umfasst die Entwicklung einer Methode, welche auf Basis eines definierten Anwendungsfalls eines Investitionsentscheiders den notwendigen Grad an Wandlungsfähigkeit und Automatisierung, den ein anzuschaffendes LKT-System aufweisen muss, bestimmen soll. Die Bestimmung sollte dabei mit Hilfe eines auf Künstlicher Intelligenz basierenden Algorithmus (KI-Algorithmus) erfolgen.

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens: Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden Methoden entwickelt, mit denen der notwendige Grad an Wandlungsfähigkeit und Automatisierung für die Auswahl von LKT-Systemen bestimmt werden kann. Dabei sind zwei unterschiedliche Methoden entstanden, da die Charakteristiken der Wandlungsfähigkeit und Automatisierung sehr unterschiedlich sind. Bei der Automatisierung basiert die Bestimmung bspw. auf dem gesetzlich festgelegten Mindestmaß an Automatisierung (aufgrund ergonomischer Richtlinien), welche durch die Einbeziehung der benötigten Leistung der LKT-Systeme ergänzt wird. Bei der Betrachtung der notwendigen Wandlungsfähigkeit steht die Unternehmensstruktur bzw. -umfeld im Vordergrund. Die Methode basiert auf den Wandlungstreibern nach WIENDAHL [Wie09]. Eine Realisierung über KI-Algorithmen konnte nicht erfolgen, da die in KMU vorhandene Datenbasis nicht ausreicht, einen KI-Algorithmus anzulernen und die erfolgte Abbildung über die beiden erstellten Methoden das Teilziel vollumfänglich erfüllen konnte. Das erste Teilziel wurde erreicht.

### **Teilziel 2:**

Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag: Das zweite Teilziel besteht in der Entwicklung einer Methode zur universellen sowie systematisierten Bestimmung der Wandlungsfähigkeit und des Automatisierungsgrades von am Markt verfügbaren Lager-, Kommissionier- und Transporttechnologien sowie den aus den möglichen Kombinationen gebildeten LKT-Systemen, auf Basis von technologiespezifischen Einflussfaktoren. Mittels Experteninterviews, Workshops, Umfragen und Literaturrecherchen werden zunächst lager-, kommissionier- und transporttechnologiespezifische Einflussfaktoren identifiziert (bspw. Installationsaufwand, Einrichtungszeit und Komplexität der Tätigkeit). Die bewerteten LKT-Technologien werden in einer Wissensbasis hinterlegt. Um die Kombination von LKT-Technologien systematisch bewerten zu können, werden technologische Wechselwirkungen identifiziert. Diese Wechselwirkungen werden durch Experten hinsichtlich des Gesamtgrads an Wandlungsfähigkeit und Automatisierung bewertet.

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens: Für die Erfüllung des zweiten Teilziels wurden ebenfalls zwei Methoden entwickelt, da die Unterschiedlichkeit der Charakteristiken dies erforderte. Die Einordnung der LKT-Systeme nach ihrer Automatisierung erfolgte über die Mechanisierungs-, Computerisierungs- und Digitalisierungsstufen, die speziell für das Projekt für LKT-Systeme entwickelt wurden. Die Kombination der drei Stufen führte zu dem gesamten Automatisierungsgrad der LKT-Systeme. Die Einordnung der zugrunde liegenden Wandlungsfähigkeit eines LKT-Systems basierte auf den Wandlungsbefähigern nach WIENDAHL [Wie09]. Mögliche Einschränkungen der Kombinationen von LKT-Systemen wurden mit dem

Projektbegleitenden Ausschuss (PA) besprochen. Dabei ergab sich die Erkenntnis, dass mit der Schaffung von Schnittstellen, bspw. durch Sensoren oder Barcodes, viele Systeme kombinierbar werden, solange die Systeme das gleiche Produktportfolio bedienen können. Zusätzlich wurden alle Kombinationsmöglichkeiten betrachtet und entsprechende Kombinationsverbote bestimmt. Damit ist auch die Betrachtung der Wechselwirkungen einhergegangen. Der Gesamtgrad an Automatisierung ergab sich durch die Verrechnung der einzelnen Automatisierungsgrade. Bei der Wandlungsfähigkeit bildete die geringste Wandlungsfähigkeit eines gewählten Systems die gesamte Wandlungsfähigkeit der Systemkombinationen ab, da eine höhere Wandlungsfähigkeit eines einzelnen Systems nicht das gesamte Lager wandlungsfähiger darstellen kann. Das zweite Teilziel wurde erreicht.

### **Teilziel 3:**

Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag: Gegenstand des dritten Teilziels ist die Zusammenführung der Ergebnisse in einer Methode zur integrierten sowie systematisierten Planung und Bewertung für ein LKT-System sowie die Validierung anhand eines Softwaredemonstrators. Die Methode soll den Anwender einerseits dabei unterstützen, den notwendigen Grad an Wandlungsfähigkeit und Automatisierung für einen spezifischen Anwendungsfall zu bestimmen und andererseits ein geeignetes LKT-System auswählen. Die Implementierung des Softwaredemonstrators wird durch Funktionstests mithilfe von Use-Cases unterstützt. Die Validierung der Methode findet mittels des Softwaredemonstrators durch Praxisanwender statt.

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens: Nachdem die vier Methoden für die ersten beiden Teilziele entwickelt wurden, wurden diese anschließend zu einer integrierten Methode zusammengefasst. Dabei erfolgte ein Abgleich zwischen dem notwendigen Grad an Wandlungsfähigkeit und den Systemen, die diesem entsprechen sowie der Abgleich der notwendigen Automatisierung mit den Automatisierungsgraden der Systeme. Zusätzlich erfolgte ein funktionaler Abgleich der Systeme mit dem Produktportfolio des Anwenders. So wurden alle Systeme ausgeschlossen, die das zu lagernde Produktportfolio in Größe, Gewicht, Menge und Leistung nicht abbilden können. Anschließend wurden die Ergebnisse in einen Softwaredemonstrator übertragen, sodass es dem Anwender möglich ist, leicht und aufwandsarm die Ergebnisse für den eigenen Anwendungsfall zu nutzen. Anschließend wurde der Softwaredemonstrator durch den PA getestet und an entsprechenden Stellen angepasst bzw. verbessert. Das dritte Teilziel und damit das Gesamtziel des Projektes wurden erreicht.

## **4. Erzielte Ergebnisse**

Zur Darstellung der Ergebnisse wird von der Reihenfolge der Arbeitspakete abgewichen, da die Zusammenhänge zwischen den getätigten Arbeiten so besser erläutert werden können. Bild 1 zeigt die Arbeitspakete und die Darstellung der erzielten Ergebnisse in dem Abschlussbericht auf.

Zur Beschreibung der Methodenentwicklung wird zunächst die Automatisierung dargestellt. Die Methode zur Bestimmung der Automatisierung wird im ersten Unterkapitel erläutert. Anschließend folgt die Dokumentation der Methode zur Bestimmung der notwendigen Automatisierung. Folgend wird im letzten Unterkapitel der Automatisierung das Matching der beiden Methoden beschrieben. Dies erfolgt wie dargestellt über die funktionalen Anforderungen, das Mindestmaß an Automatisierung und die Leistungskennzahlen. Im zweiten Ergebniskapitel wird der gleiche Aufbau für die Wandlungsfähigkeit angewandt. Das Matching erfolgt dabei über

die prozentualen Ausprägungen der Wandlungsbefähiger. In den folgenden Kapiteln wird nicht mehr von der Darstellung bzgl. des Arbeitsplans abgewichen. Folgend werden die Wechselwirkungen erläutert, die Zusammenführung der Gesamtmethode dargestellt und die Validierung sowie die Ergebnisdokumentation beschrieben.



Bild 1: Aufbau der Ergebnisdarstellung

## 4.1 Automatisierung

### 4.1.1 Methode zur Bestimmung der Automatisierung von LKT-Systemen

Folgend wird die Bestimmung der Automatisierung von LKT-Systemen vorgestellt. Der Automatisierungsgrad kann als „Anteil selbstständiger Funktionen an der Gesamtheit der Funktionen eines Systems oder einer technischen Anlage“ definiert werden [DIN14]. Der Automatisierungsgrad wird in der Literatur oftmals in den **Computerisierungs-** und **Mechanisierungsgrad** unterteilt, da Tätigkeiten aus dem physischen (Ersatz menschlicher Muskelkraft) und kognitiven Bereich (Kontrolle, Speicherung, Analyse) bestehen [Fro05, Chi82]. Aufgrund der neuen Möglichkeiten der Industrie 4.0 bzw. der zunehmenden **Digitalisierung**, wurde bei der Betrachtung des Automatisierungsgrads auch dieser Bereich berücksichtigt

[Vog17]. Der Automatisierungsgrad von LKT-Systemen wird folgend über die drei Bereiche Mechanisierung, Computerisierung und Digitalisierung dargestellt.

### **Mechanisierungsgrad**

Für die Bestimmung der Mechanisierung, wurden zunächst Aufgaben identifiziert, die in der Intralogistik bzgl. der Lagerung physisch auftreten:

- „Transport (durch Transportsystem)
- Ein- und Auslagerung (durch Lager- und Transportsystem)
- Kennzeichnung bzw. Identifikation der Produkte (durch Kommissioniersystem, bzw. Übergabe zu Lager- und Transportsystem)“ [Mül18]

Zunächst wird der Transport (durch Transportsystem) betrachtet. Nach FROHM wird die Mechanisierung in die nachfolgenden Tätigkeitsausprägungen unterteilt [Fro08]: „Manuelle Arbeit“, „Einsatz von Hilfsmitteln“ (Unterstützung durch menschliche Muskelkraft) und „Einsatz von Maschinen“. Der „Einsatz von Maschinen“ kann weiter in die nachfolgenden Mechanisierungsstufen: „Bedienung der Maschine mit einem Pedal oder Hebel“ oder „mittels Tasten oder Gesten“, wobei der Mensch keine physische Arbeit mehr zuführen muss, unterteilt werden. Um den höchsten Mechanisierungsgrad abzubilden, wird eine weitere Stufe hinzugefügt: „Autonome Funktionen“. Tabelle 1 bildet die Mechanisierungsstufen mit jeweils einem Bsp. ab:

*Tabelle 1: Abstufung Mechanisierung – Transport und Ein- und Auslagerung*

Mechanisierung Transport	Beschreibung
0	Manuelle Arbeit, Bsp.: Laufen
1	Verwendung von Hilfsmitteln, Bsp.: Hubwagen
2	Bedienung Maschine Stufe 1, Bsp.: Gabelstapler
3	Bedienung Maschine Stufe 2, Bsp.: Power-and-Free
4	Autonome Funktionen, Bsp.: Fahrerlose Transportsysteme

Die zweite Aufgabe, das Ein- und Auslagern (durch Lager- und Transportsystem), stellt das Materialhandling auf das Transportsystem oder in das Lager dar. DUNCHEON beschreibt in seinem Modell der Mechanisierungsstufen das Materialhandling, weshalb dieses Modell die Basis für das Ein- und Auslagern bietet [Dun02]. Er teilt die Mechanisierung in die Stufen: „Manuelle Arbeit“, „teilautomatisiert“ und „vollautomatisiert“ ein. Da auch hier Güter bewegt werden, können die Annahmen aus der ersten Aufgabe „Transport“ übernommen werden. Somit ergeben sich dieselben Mechanisierungsstufen wie bei dem Transport, dargestellt in Tabelle 1.

Abschließend wird die dritte Aufgabe: „Kennzeichnung und Identifikation der Produkte“ betrachtet. Die aktuell am Markt zur Verfügung stehenden Kommissioniertechnologien führen zu folgenden Abstufungen: „Manuelle Eingabe“, „teilmanuelle Eingabe“, „berührungsloses Quittieren“ und die „automatische Kennzeichnung“. Schriftliche Aufzeichnungen auf Papier entsprechen der manuellen Eingabe. Die teilmanuelle Eingabe wird durch beigefügte Informationen unterstützt, sodass die Aufgabe nur noch im Quittieren besteht. Das berührungslose Quittieren wird bspw. durch die Sprache durchgeführt, sodass keine physische

Handlung mehr ausgeführt werden muss. Bei der automatischen Kennzeichnung entsteht keine Aufgabe zur Identifikation der Waren für den Menschen. Tabelle 2 zeigt die Mechanisierungsstufen für die Aufgabe: Kennzeichnung und Identifikation von Waren.

Tabelle 2: Abstufung Mechanisierung – Kennzeichnung

Mechanisierung Kennzeichnung	Beschreibung
0	Manuelle Eingabe, Bsp.: Pickliste
1	Teilmanuelle Eingabe, Bsp.: Tastenquittierung
2	Berührungsloses Quittieren, Bsp.: Pick-by-Voice
3	Automatische Kennzeichnung, Bsp.: RFID, Pick-by-Balance

### Computerisierungsgrad

Die Computerisierung fokussiert die kognitiven Aufgaben, welche durch eine maschinelle Unterstützung durchgeführt werden können. Folgende Arbeitsschritte wurden in der Intralogistik für die Bestimmung der Computerisierung identifiziert:

- „Leistungen vor dem Transport (Bestimmung der Reihenfolge des Gütertransports)
- Leistungen während des Transports (Lokalisierung und Navigation)
- Leistungen nach dem Transport (Kennzeichnung bzw. Identifikation)“ [Mül18]

Die Zusammenstellung der Transporteinheiten bzw. -aufträge ist entscheidend für die Aufgabe: Leistung vor dem Transport [Sch17]. Dabei dienen die Modelle von Endsley und Shridan als Grundlage, da sie sich mit der kognitiven Aufgabenübernahme durch Maschinen beschäftigen. Die am Markt zur Verfügung stehenden LKT-Systeme können oftmals im Bereich der Routenplanung auf eine computerisierte Aktionsauswahl oder sogar eine vollautomatisierte Steuerung zurückgreifen [End99]. Im Gegensatz dazu gibt es auch die Möglichkeit der manuellen Entscheidung und die Dokumentation auf Papier. Diese kann zusätzlich mit geordneten Informationen (bspw. nach Lagerplätzen geordnet) ausgestattet sein, welches die erste Computerisierungsstufe darstellt. Vorgefertigte Regeln bzgl. der Routen entsprechen der nächst höheren Computerisierungsstufe: „Aktionsauswahl“. Die höchste Stufe der Computerisierung bei der „Leistung vor dem Transport“ wird durch die „autonome Entscheidung“ dargestellt. Die identifizierten Computerisierungsstufen sind in Tabelle 3 abgebildet.

Tabelle 3: Computerisierung – Vor dem Transport

Computerisierung Vor Transport	Beschreibung
0	Keine Entscheidungsunterstützung vorhanden
1	Entscheidung anhand geordneter Informationen
2	Aktionsauswahl
3	Autonome Entscheidung

Die Einstufung der „Leistungen während des Transports“ (Navigationsaufgabe sowie Lokalisierung) basiert auf den Computerisierungsstufen nach FROHM [Fro08]. Die unterste Stufe repräsentiert die „manuelle Navigation“. In der ersten Computerisierungsstufe wird der Mensch durch Basisinformationen unterstützt. Die „Navigationsfunktion“ selbst entspricht der zweiten Stufe. Zusätzliche Funktionen wie Sicherheitsmaßnahmen führen zu der dritten Computerisierungsstufe. Die „autonome Navigation“ entspricht der maximalen Computerisierung im Bereich Navigation. Dargestellt sind die Ergebnisse in Tabelle 4.

Tabelle 4: Computerisierung - Navigation

Computerisierung Navigation	Beschreibung
0	Manuelle Navigation
1	Unterstützung durch Basisinformationen, Bsp.: Karte
2	Kontextabhängige Informationsbereitstellung, Navigationsfunktion
3	Zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen, Bsp.: Stoppen bei Gefahr
4	Autonome Navigation, Bsp.: Fahrerlose Transportsysteme

Die „Leistungen nach dem Transport“ (Kennzeichnung bzw. Identifikation) präsentieren die nächste Aufgabe. Die unterste Stufe entspricht wie zuvor der manuellen Eingabe von Informationen. Die Übernahme der Informationsdokumentation stellt die erste Stufe dar. Die zusätzliche automatische Speicherung von Ort oder Zeit führt zur zweiten Stufe. Eine „automatische Identifikation“ entspricht der höchsten Ausprägungsstufe. In Tabelle 5 sind die beschriebenen Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 5: Computerisierung – Kennzeichnung/Identifikation

Computerisierung Kennzeichnung	Beschreibung
0	Manuelle Eingabe der Informationen
1	Dokumentationsübernahme der Information durch Software
2	Dokumentation der Information mit zusätzlichen Kennzahlen
3	Automatische Identifikation

### Digitalisierungsgrad

Der Digitalisierungsgrad basiert in diesem Forschungsprojekt auf den Anwendungen von Big Data-Ansätzen (Datenmenge, Datenvielfalt, Datenverarbeitungsgeschwindigkeit,

Datenanalyse) und wurde entsprechend der vorliegenden Anforderungen an die Bestimmung des Automatisierungsgrads angepasst.

Die Datenmenge spielt in den Big Data-Ansätzen eine große Rolle. Im vorliegenden Anwendungsfall ist die Datenmenge nur im Bereich der Datenanalyse entscheidend, weshalb das Kriterium an sich nicht weiter betrachtet wird. Die Datenvielfalt wird bei LKT-Systemen relevant, wenn es um die Vernetzung der Datenquellen geht. Dabei können zum einen Güter/Objekte (Produktebene) vernetzt werden oder die Vernetzung von Prozessen/Maschinen (Prozessebene) betrachtet werden. Die Bewertung der Digitalisierung der Vernetzung von Objekten ist nach der Identifikation und damit Abbildung des digitalen Schattens der Produkte auszurichten [Bou17] (Tabelle 6).

Tabelle 6: Digitalisierung – Vernetzung auf Produktebene

Digitalisierung Vernetzung auf Produktebene	Beschreibung
0	Manuelle Identifikation, es liegt kein digitales Abbild vor
1	Stationäre Datenintegration, Bsp.: Stationäre Scanner
2	Dezentrale Lokalisierung, Bsp.: RFID-Code
3	Automatisch Lokalisierung, Bsp.: GPS-Signal

Die „manuelle Identifikation“ entspricht der untersten Digitalisierungsebene, da kein digitales Abbild der Informationen vorhanden ist. Die LKT-Systeme können mit einer Software ausgestattet werden, wodurch eine stationäre Datenintegration möglich wird, welches der ersten Stufe entspricht. Die „dezentrale Lokalisierung“ von Objekten bspw. durch RFID-Codes, entspricht der zweiten Stufe. Die „automatische Lokalisierung“, bspw. mittels GPS-Signalen, stellt die höchste Digitalisierungsstufe in diesem Bereich dar. Die „Vernetzung von Prozessen und Maschinen“ wird folgend dargestellt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Digitalisierung - Vernetzung der Systeme

Digitalisierung Vernetzung der Systeme	Beschreibung
0	Systeme kommunizieren nicht miteinander
1	Kommunikation wird durch den Menschen verursacht
2	Systeme kommunizieren selbstständig miteinander

Das nächste Kriterium ist die „Datenverarbeitungsgeschwindigkeit“, welche auch für die Betrachtung von LKT-Systemen relevant ist. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Digitalisierung – Datenverarbeitungsgeschwindigkeit

Digitalisierung Datenverarbeitungsgeschw.	Beschreibung
0	Keine digitale Verarbeitung der Daten vorhanden
1	Manuelle Eingabe nach Beendigung, Bsp.: Pickliste
2	Verarbeitung in Minutenbereichen, Bsp.: Pick-by-Light
3	Echtzeitverarbeitung, Bsp.: Fahrerlose Transportsysteme

Die möglichen Datenanalysen basieren auf den bereits dargestellten Kriterien. Ziel ist es dabei aus Datensätzen mögliche Zusammenhänge zu erkennen bzw. Prognosen aufzustellen, um aus den aufgenommenen Daten Wissen zu generieren [Bou17]. Im Data Mining-Bereich wird zwischen vier Stufen der Ergebnisverwertung unterschieden, welche auch für den vorliegenden Fall adaptiert werden können. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Digitalisierung - Datenanalyse

Digitalisierung Datenanalyse	Beschreibung
0	Keine Datenverarbeitung oder -analyse vorhanden
1	Informationsgenerierung, Bsp.: Wer? Was? Wann?
2	Mustererkennung, Bsp.: Was auch? Gleichzeitig?
3	Prognosefähigkeit, Bsp.: Was könnte wann passieren?
4	Entscheidungsfähigkeit, Bsp.: Was würde bei der Alternative passieren?

Wenn keine Daten vorhanden sind, ist eine Datenanalyse nicht möglich, weshalb die Stufe 0 angesetzt wurde. Die erste Stufe entspricht der reinen „Informationsgenerierung“ durch die Analyse der Daten. Werden dabei bestimmte Muster erkannt entspricht dies der zweiten Digitalisierungsstufe in diesem Bereich. Die „Prognosefähigkeit“ entspricht der zweithöchsten Stufe und die autonome „Entscheidungsfähigkeit“ entspricht der maximalen Digitalisierung [Gar17].

Um den gesamten Automatisierungsgrad einer Systemkombination zu ermitteln, können die unterschiedlichen Stufen zu einer Formel zusammengeführt werden. Da für den vorliegenden Fall jedoch die LKT-Systeme in die einzelnen Stufen einzuordnen sind, um den späteren Abgleich Bereichsspezifisch durchführen zu können, ist dies nicht notwendig. Die Bestimmung der Automatisierung von LKT-Systemen (Kapitel 4.1.1) wurde in einer Veröffentlichung dargestellt [Mül18].

## 4.1.2 Methode zur Bestimmung der notwendigen Automatisierung

Die Methode zur Bestimmung der notwendigen Automatisierung von LKT-Systemen basiert auf dem vorliegenden Produktportfolio im Lager, den Mitarbeitern sowie der benötigten Leistung der Systeme. Bei den funktionalen Anforderungen (erster Prozessschritt) wird das vorliegende Produktportfolio betrachtet. Der zweite Prozessschritt repräsentiert das Mindestmaß an Automatisierung, welches auf Grundlage von gesetzlichen Richtlinien erarbeitet wurde. Bei dem Mindestmaß kommt es einzig auf die physische Unterstützung der Systeme an, weshalb hier ein Abgleich zu den Mechanisierungsstufen stattfindet (Vergleich 4.1.1). Die benötigte Leistung stellt den letzten Prozessschritt dar, wo auch die Computerisierungs- und Digitalisierungsstufen Anwendung finden (Vergleich 4.1.1).

### Funktionale Anforderungen

Der Anwender muss für die funktionalen Anforderungen (erster Prozessschritt) Informationen zu seinem Produktportfolio bereitstellen. Damit sollen später Systeme ausgeschlossen werden können, die den funktionalen Anforderungen nicht entsprechen. Dabei wurden folgende Kennzahlen als relevant identifiziert:

- Gewicht der Lagereinheit
- Abmessungen der Lagereinheit

### Mindestmaß an Automatisierung

Im zweiten Prozessschritt wurde das Mindestmaß an Automatisierung bestimmt. Dabei wurde das Ziel verfolgt, alle Systeme auszuschließen, die nach vorliegendem Lagerverhalten eine Gefährdung für die Mitarbeiter (bspw. zu hohe Belastung durch Produktgewicht) bedeuten würden. Die Bestimmung basiert auf der Lastenhandhabungsverordnung sowie der Leitmerkmalmethode der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [Bun19a, Bun19b]. Dafür wurden die gesetzlichen Richtlinien der vorliegenden Fragestellung angepasst und ein Fragenkatalog entwickelt, welcher von dem Anwender auszufüllen ist, um eine Gefährdungsbeurteilung durchführen zu können. Der Fragenkatalog besteht aus folgenden Parametern, welche in Bild 2 dargestellt sind.

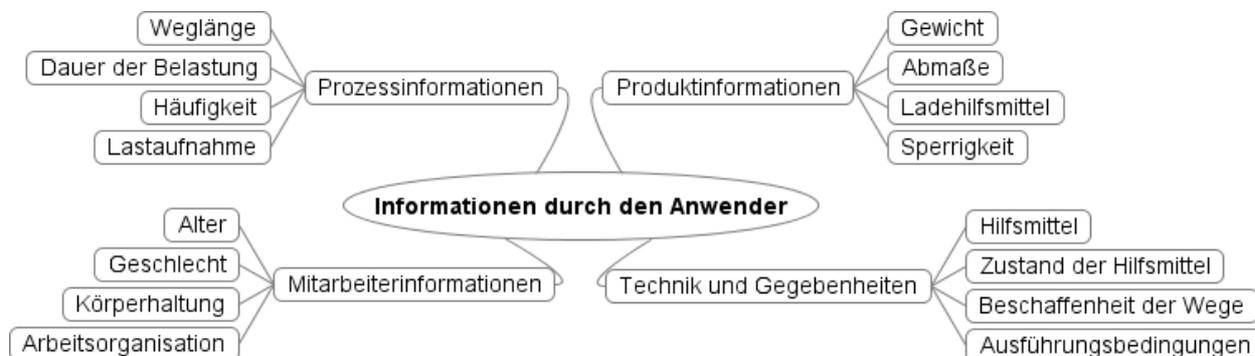


Bild 2: Anwenderinformationen zur Bestimmung des Mindestmaßes an Automatisierung [Mül20]

Zu jedem Parameter wurden entsprechend Fragen gebildet und Antwortmöglichkeiten bereitgestellt. Die Parameter und Antwortmöglichkeiten des Fragenkatalogs sind mit einer bestimmten Gewichtung bzw. Punktzahl versehen. Dabei spricht eine höhere Punktzahl für eine

höhere Gefährdung. Für jedes LKT-System kann die Gesamtpunktzahl für die unterschiedlichen Mechanisierungsstufen (Kapitel 4.1.1) berechnet werden. Die gesamten Kataloge an Fragen bzgl. des Mindestmaßes für die jeweiligen Systeme: Lager Kommissionierung und Transport sind im Anhang 1 zu finden.

Mit der Teilmethode „Bestimmung des Mindestmaßes an Automatisierung“ ist es auch möglich die eigene Unternehmenssituation zu bewerten. Dafür wird der Fragenkatalog ausgefüllt und zusätzlich angegeben, welche Systeme aktuell im Lager verwendet werden. Im Ergebnis erhält der Anwender Informationen zu der aktuellen Gefährdungssituation.

### **Leistungskennzahlen**

Im dritten Prozessschritt wurde die benötigte Leistung der Lagerprozesse abgefragt. Der Anwender gibt dazu Leistungsinformationen der eigenen Prozesse an. Für die LKT-Systeme wurden jeweils drei Leistungskennzahlen identifiziert:

- Lagersysteme: Ein- bzw. Auslagerungen pro Stunde, Lagerauslastungsgrad, Raumnutzungsgrad [Hom11, Bil15, Pul19].
- Kommissioniersysteme: Picks pro Stunde, Fehlerquote, Verfügbarkeit [Pul19]
- Transportsysteme: Transporte pro Stunde, Auslastungsgrad, Eignung zur Ausführung von Eilaufträgen [Pul19]

Auf Grundlage von Experteninterviews mit Systemherstellern, Logistikdienstleistern und weiteren Mitgliedern des PA wurden die Systeme in ihre Leistungsklassen eingeteilt, um die Einordnung für Unternehmen zu erleichtern. Im Anhang 2 sind die zugehörigen Ergebnisse dargestellt. Durch diesen Abgleich können später alle Systeme ausgeschlossen werden, die den geforderten Leistungen nicht entsprechen. Zusätzlich werden in dieser Prozessstufe die Computerisierung und Digitalisierung berücksichtigt. Dabei werden erneut Informationen des Anwenders benötigt, welche Stufen in Zukunft erreicht werden sollen. Da die Systeme auch nach diesen Stufen eingeordnet wurden (Vergleich 4.1.1), können nicht passende Systeme später ausgeschlossen werden [Mül18].

Die Bestimmung der notwendigen Automatisierung von LKT-Systemen (Kapitel 4.1) wurde in einer Veröffentlichung dargestellt [Mül20].

### **4.1.3 Matching Automatisierung**

Die Zusammenführung der notwendigen Automatisierung zu dem Automatisierungsgrad der LKT-Systeme wird über eine Filterstruktur realisiert, wobei immer mehr Systeme nach ihren Eigenschaften ausgeschlossen werden. Die drei entstandenen Prozessstufen aus Kapitel 4.1.2 sind in folgendem Bild 3 dargestellt.

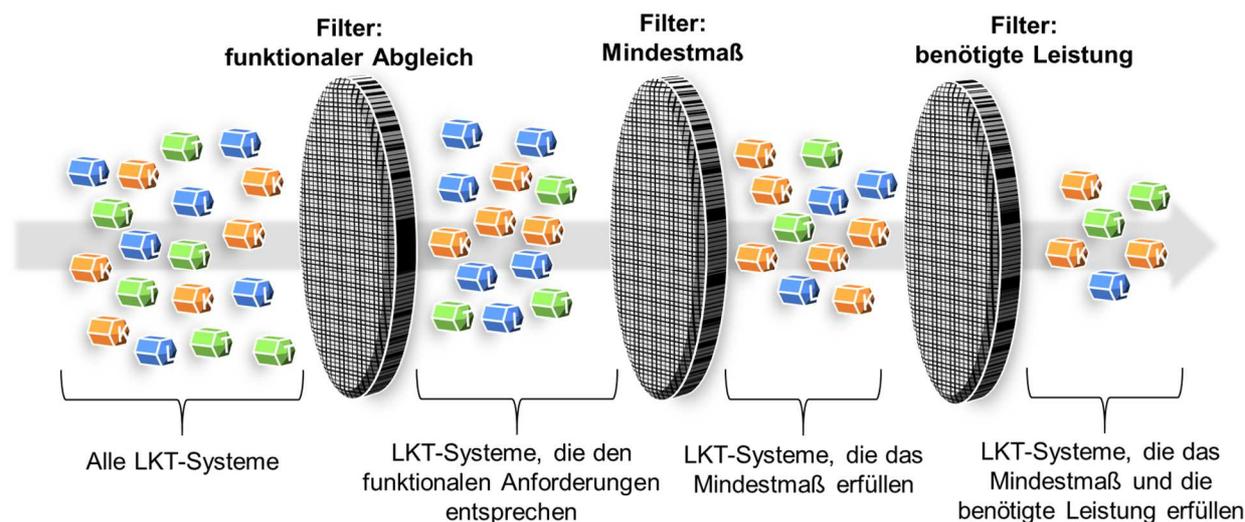


Bild 3: Methode zur Bestimmung der notwendigen Automatisierung

Der funktionale Abgleich geschieht unabhängig von den Automatisierungsstufen aus Kapitel 4.1.1. Dabei wurde einzig das Produktportfolio abgefragt und den Eigenschaften der Systeme gegenübergestellt. Bei der Bestimmung des Mindestmaßes wurden die Mechanisierungsstufen genutzt. Je nach Punktzahl (siehe Kapitel 4.1.2) wurde festgestellt, welche Mechanisierungsstufe mindestens erreicht werden muss, um die Mitarbeiter nicht zu gefährden. Da es sich bei dieser Betrachtung ausschließlich um physische Arbeiten handelt, war an dieser Stelle ausschließlich ein Abgleich mit den Mechanisierungsstufen erforderlich. Dazu wurden alle LKT-Systeme in die entwickelten Mechanisierungsstufen eingeordnet [Mül18]. Tabelle 10 zeigt beispielhaft die Einordnung der Transportsysteme. Die Einordnung der Lager- und Kommissioniersysteme sind im Anhang 3 aufgezeigt.

Tabelle 10: Einordnung der Transportsysteme nach den Mechanisierungsstufen [Mül20]

0. Manuelles transportieren	1. Hilfsmittel	2. Mechanisiert Bereich 1	3. Mechanisiert Bereich 2	4. Automatisiert
tragen	Handwagen mit Bockrollen	Schlepper	Regalbediengerät	FTS
	Handwagen ohne Bockrollen	Kommissionierstapler	Gleiswagen	Regalbediengerät
	Handgabelhub	Hochregalstapler	Stapelkran	Elektrohängebahn
	Handkarren	Gabelstapler	Kran	Stapelkran
	Elektrogabelhub	Elektrogabelhub	Bandförderer	Shuttlesystem
		Stapelkran	Kreisförderer	
		Kran	Rollenförderer mit Antrieb	
			Power & Free – Förderer	

Welche LKT-Systeme im Rahmen dieses Projekts relevant sind und somit betrachtet werden sollen, wurde mit dem PA diskutiert.

Bei dem Abgleich der benötigten Leistung wurden zum einen die Leistungskennzahlen und zum anderen die Computerisierungs- und Digitalisierungsstufen (Kapitel 4.1.1) abgefragt, die ein Unternehmen erreichen möchte. So konnten alle Systeme ausgeschlossen werden, die nicht zu der benötigten Leistung passen. Bild 4 bildet dazu die Kennzahlen mit den verschiedenen Ausprägungen in einem morphologischen Kasten ab.

		Parameter	Ausprägungen								
Lagersysteme	Kennzahlen	Ein-/ Auslagerungen je Stunde	<= 25	bis 35	bis 40	bis 45	bis 50	bis 55	bis 65	> 65	
		Lagerauslastungsgrad (%)	<= 70 %	bis 80 %	bis 85 %	> 85 %					
		Raumnutzungsgrad (%)	<= 60 %	bis 65 %	bis 70 %	bis 75 %	bis 80 %	> 80 %			
		Produktportfolio	KLT	Karton	Kiste	Kästen	Stückgut	Paletten	Langgut	Tablaren	
	CG	Vor dem Transport	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Zusatz				
		Navigation	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Zusatz			
		Kennzeichnung/ Identifikation	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Zusatz				
		DG	Vernetzung auf Produktebene	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Zusatz			
			Vernetzung auf Systemebene	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Zusatz				
			Datenverarbeitungsgeschwindigkeit	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Zusatz			
Datenanalyse	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Zusatz					
Kommissioniersysteme	Kennzahlen	Picks pro Stunde	<= 30	bis 100	bis 200	bis 250	bis 300	bis 350	bis 700	> 700	
		Fehlerquote (%)	>= 0,5 %	bis 0,3 %	bis 0,2 %	bis 0,1 %	bis 0,02 %	< 0,02 %			
		Verfügbarkeit (%)	<= 90 %	bis 95 %	bis 98 %	bis 99 %	> 99 %				
		Produktportfolio	klein	groß	leicht	schwer	gleichförmig	unförmig	Mechanik		
	CG	Vor dem Transport	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3					
		Navigation	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4				
		Kennzeichnung/ Identifikation	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3					
		DG	Vernetzung auf Produktebene	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3				
			Vernetzung auf Systemebene	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2					
			Datenverarbeitungsgeschwindigkeit	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3				
Datenanalyse	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Zusatz					
Transportsysteme	Kennzahlen	Transporte je Stunde	<= 15	bis 20	bis 30	bis 40	bis 50	bis 60	> 60		
		Auslastungsgrad (%)	<= 60 %	bis 65 %	bis 70 %	bis 75 %	bis 80 %	> 80 %			
		Eilaufträge	Ja	Nein							
		Produktportfolio	KLT	Karton	Kiste	Kästen	Stückgut	Paletten	Langgut	Tablaren	
	CG	Vor dem Transport	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Zusatz				
		Navigation	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Zusatz			
		Kennzeichnung/ Identifikation	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Zusatz				
		DG	Vernetzung auf Produktebene	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Zusatz			
			Vernetzung auf Systemebene	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Zusatz				
			Datenverarbeitungsgeschwindigkeit	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Zusatz			
Datenanalyse	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Zusatz					

Bild 4: Morphologischer Kasten zur Bestimmung der benötigten Leistung

Abschließend werden alle Filterschritte zu einer Methode kombiniert. Im Ergebnis erhält der Anwender einen Pool an Systemen, die den funktionalen Anforderungen, dem Mindestmaß an Automatisierung, der benötigten Leistung und der geforderten Computerisierung und Digitalisierung entsprechen. Das optimale System ist dann das mit dem niedrigsten Automatisierungsgrad, welches noch im Pool möglicher Systeme ist. Dennoch werden dem Anwender alle Systeme vorgeschlagen, sodass aufgrund weiterer Einflüsse entschieden werden kann.

## **4.2 Wandlungsfähigkeit**

### **4.2.1 Methode zur Bestimmung der Wandlungsfähigkeit von LKT-Systemen**

Die Bewertung der Wandlungsfähigkeit der Lager-, Kommissionier- und Transportsysteme wurde mit Hilfe unterschiedlicher Wandlungsbefähiger (auch Wandlungspotentialarten genannt) durchgeführt. Als Grundlage dient die Dissertationsschrift von HEGER mit dem Thema „Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Fabrikobjekten“ sowie das Bewertungsverfahren der Wandlungsfähigkeit von Kommissioniersystemen von HEINE [Heg06, Hei15]. Betrachtet werden die Wandlungsbefähiger:

- Mobilität
- Skalierbarkeit
- Universalität
- objektspezifisches Wandlungspotential
- Modularität
- Kompatibilität [Wie09]

HEGER beschreibt die Mobilität als „örtlich uneingeschränkte Bewegbarkeit von Objekten“, bei der Skalierbarkeit handelt es sich um „die Erweiterung und Reduzierung“. Diese beiden Wandlungspotentialarten gehören somit zur räumlichen Veränderbarkeit. In Bezug auf die Einsetzbarkeit eines Objekts spricht Heger von der Universalität, „die aktive Fähigkeit eines Fabrikobjekts, für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt zu werden“. Das objektspezifische Wandlungspotential tritt „nur spezifisch bei einem Fabrikobjekt oder einer kleinen Gruppe ähnlicher Objekte“ auf. In Bezug auf den Aufbau eines Objekts lässt sich zwischen der Modularität, dem inneren Aufbau, und der Kompatibilität, dem äußeren Aufbau unterscheiden [Heg06]. Jeder dieser Wandlungsbefähiger beinhaltet zur Spezifizierung Wandlungsmerkmale, die identifiziert wurden. Für die vorliegende Betrachtung von LKT-Systemen, tritt das objektspezifische Wandlungspotential bspw. mit dem Wandlungsmerkmal der Inbetriebnahme auf.

Für die Bestimmung der Wandlungsfähigkeit von LKT-Systemen wurden die beiden Methoden nach HEGER und HEINE auf die vorliegende Problemstellung angepasst und durchgeführt. Dabei war bei beiden Ansätzen das Ziel, die relevanten Wandlungsmerkmale für jeden Wandlungsbefähiger zu identifizieren.

#### **Vorgehen Bewertungsansatz (Orientierung an HEINE)**

Die vorgestellten Wandlungsbefähiger wurden bei HEINE über die Rezeptoren Produkt, Kosten, Zeit, Stückzahl, Qualität und Systemelement bewertet, welche die Veränderung am Markt und die wirkenden Turbulenzen widerspiegeln [Nyh08b, S. 22]. Dazu wurden im ersten Schritt die LKT-Systeme nach HEINRICH in Subsysteme aufgeteilt, um im weiteren Verlauf die Relevanz der Wandlungsbefähiger nach den Subsystemen zu bestimmen. Das Lagersystem wurde unterteilt in die Lagerorganisation, Lagereinheit und Lagertechnik. Die Lagerorganisation besteht aus zwei untergeordneten Elementen: Lagerplatzverwaltung und Lagersteuerung. Die technische Perspektive ergibt sich aus der Lagerart und der Lagerbedienart. Die Lagerhilfsmittel und das Lagergut gehören zur Ebene Lagereinheit. Die Elemente haben unterschiedliche Ausprägungen, die die Wandlungsfähigkeit beeinflussen. So ist bspw. eine chaotische Lagerplatzverwaltung

wandlungsfähiger als eine feste. Die Systematisierung ist in Bild 5 dargestellt. Bei der Systematisierung von Kommissioniersystemen wurden das Materialflusssystem, die Kommissionierstrategien und das Informationssystem identifiziert. Die Teilprozesse von der Bereitstellung und Fortbewegung über Entnahme, Abgabe, Abwicklung und Sammlung werden unter dem Begriff Materialfluss zusammengefasst. Die Unterebenen der Kommissionierstrategien bestehen aus Zonenbildung, Lagerplatzvergabe und räumlicher Anordnung. In dem Informationssystem wurde hauptsächlich zwischen dem beleglosen Kommissionieren und Picklisten unterschieden. Das Transportsystem wurde in Transportorganisation, -technik und -einheit unterteilt. Organisatorisch relevante Objekte sind der Transportablauf und die Transportsteuerung. Die Unterscheidung zwischen Stetig- und Unstetigförderern bestimmte die technische Ebene. Bezogen auf die Transporteinheit wurden die Transporthilfsmittel und das Transportgut identifiziert.

Für die Methodik musste zunächst festgestellt werden, welche Rezeptoren einen Einfluss auf die beschriebenen Ausprägungen der Subsystemelemente haben. Wie in Bild 5 für Lagersysteme dargestellt, konnten die Experten zu jeder Ausprägung bewerten, welcher Einfluss zu den Rezeptoren besteht. Im Anhang 4a sind die Darstellungen für das Kommissionier- und Transportsystem aufgezeigt.

Subsysteme	Elemente		Ausprägungen	Rezeptoren					
				P	Sz	Z	K	Q	Se
Lagerorganisation	Lagerplatzverwaltung		fest						
			frei (chaotisch)						
			Zonenlagerung						
	Lagersteuerung		Offline-Betrieb						
			Online-Betrieb						
Lagertechnik	Lagerbedienart	manuell	Krane						
			Schienefahrzeuge (RGB)						
			Flurförderzeuge (Stapler)						
	Regalart	automatisch	RGB						
		linien	Fachbodenregale						
			Palettenregale						
			Langgutregale						
		kompakt	Verschieberegale						
			Doppeltiefe Palettenregale						
			Einfahrregal, Durchfahrregale						
			Durchlaufregale						
Lagereinheit	Lagerhilfsmittel		Behälter						
			Kasten						
			Palette						
			Ladegestell						
	Lagergut		Stückgut						
			Schüttgut						
			Flüssigkeit						
			Gas						

In welchem Maße wirken sich die Rezeptoren Produkt (P), Stückzahl (Sz), Zeit (Z), Kosten (K), Qualität (Q) und Systemelement (Se) auf die Elemente aus?

- 0 - kein Einfluss
- 1 - indirekter Einfluss
- 2 - direkter Einfluss

Bild 5: Fragebogen: Einfluss Rezeptoren auf die Subsystemelemente der Lagersysteme

Es wurde abgefragt, ob eine Handlung bezüglich der Rezeptoren auf die jeweiligen Ausprägungen der Subsystemelemente keinen, einen indirekten oder einen direkten Einfluss hat. Aus der Angabe pro Rezeptor wurde eine Summe gebildet. Die betrachteten Lager-, Kommissionier- und Transportausprägungen, die an dieser Stelle hoch bewertet wurden, beziehungsweise mehr als 50 % der maximalen Bewertung erhielten, wurden in der Analyse weiterhin berücksichtigt. Die anderen wurden aufgrund der nicht vorgewiesenen Relevanz (über die Rezeptoren) zur Wandlungsfähigkeit ausgeschlossen.

Im zweiten Schritt galt es die Frage zu beantworten, welcher Wandlungsbefähiger auf welche Ausprägungen der Subsystemelemente der Systematisierungen einwirkt. Dafür wurde ein zweiter Fragebogen bereitgestellt und von Experten beantwortet. Bild 6 zeigt den Fragebogen für die Lagersysteme. Im Anhang 4b sind die Darstellungen für das Kommissionier- und Transportsystem aufgezeigt.

Subsysteme	Elemente		Ausprägungen	Wandlungsbefähiger					
				K	Mb	S	U	Md	
Lagerorganisation	Lagerplatzverwaltung		fest						
			frei (chaotisch)						
			Zonenlagerung						
	Lagersteuerung		Offline-Betrieb						
			Online-Betrieb						
			Lagerverwaltungssystem						
Lagertechnik	Lagerbedienart	manuell	Krane						
			Schienenfahrzeuge (RGB)						
			Flurförderzeuge (Stapler)						
		automatisch	RGB						
	Regalart	linien	Fachbodenregale						
			Palettenregale						
			Langgutregale						
			kompakt	Verschieberegale					
				Doppeltiefe Palettenregale					
				Einfahrregal, Durchfahrregale					
		Durchlaufregale							
		Lagereinheit	Lagerhilfsmittel		Behälter				
Kasten									
Palette									
Ladegestell									
Lagergut			Stückgut						
			Schüttgut						
			Flüssigkeit						
			Gas						

Bitte bewerten Sie die Relevanz der Wandlungsbefähiger Kompatibilität (K), Mobilität (Mb), Skalierbarkeit (S), Universalität (U) und Modularität (Md) bezüglich der Ausprägungen der Subsystemelemente.

- 0 - gar nicht relevant
- 1 - eher nicht relevant
- 2 - teils teils
- 3 - relevant
- 4 - sehr relevant

Bild 6: Fragebogen: Relevanz Wandlungsbefähiger auf die Subsystemelemente der Lagersysteme

Nach der Datenverarbeitung der eingegangenen Expertenbewertung wurden die LKT-Systeme erneut auf die relevanten Subsysteme reduziert. Das Lagersystem wurde durch die Lagerorganisation, Lagerbedienart, die Regalart und die Lagerhilfsmittel zusammengefasst. Bei Kommissioniersystemen wurden die Prozesse: Bereitstellen, Fortbewegen, Entnehmen sowie die Lagerplatzvergabe und die räumliche Anordnung weiter berücksichtigt. Bei den Transportsystemen flossen die Subsysteme Transporttechniken (Stetig- und Unstetigförderer) und die Transportmittel weiter in die Bewertung ein.

Im letzten Schritt wurde die Wandlungsfähigkeit der einzelnen Ausprägungen für jeden Wandlungsbefähiger bestimmt. Die resultierende Frage lautet: „Wie wandlungsfähig sind die Ausprägungen der Subsystemelemente?“. Die Experten gaben eine Bewertung anhand einer Skala von 1 (0 %) bis 5 (100 %) über die Wandlungsbefähiger ab. Bild 7 zeigt den Fragebogen für die Lagersysteme. Im Anhang 4c sind erneut die Darstellungen für das Kommissionier- und Transportsystem aufgezeigt.

Subsysteme	Elemente		Ausprägungen	Wandlungsbefähiger					
				K	Mb	S	U	Md	
Lager-organisation	Lagerplatzverwaltung		fest						
			frei (chaotisch)						
			Zonenlagerung						
	Lagersteuerung		Offline-Betrieb						
			Online-Betrieb						
			Lagerverwaltungssystem						
Lager-technik	Lagerbedienart	manuell	Krane						
			Schienenfahrzeuge (RGB)						
			Flurförderzeuge (Stapler)						
			automatisch	RGB					
	Regalart	linien	Fachbodenregale						
			Palettenregale						
			Langgutregale						
		kompakt	Verschieberegale						
			Doppeltiefe Palettenregale						
			Einfahrregal, Durchfahrregale						
			Durchlaufregale						
	Lager-einheit	Lagerhilfsmittel		Behälter					
Kasten									
Palette									
Ladegestell									

Wie wandlungsfähig ist die Ausprägungen der Subsystemelemente?

- 0 - gar nicht wandlungsfähig
- 1 - eher nicht wandlungsfähig
- 2 - teils teils
- 3 - wandlungsfähig
- 4 - sehr wandlungsfähig

Bild 7: Fragebogen: Relevanz Wandlungsbefähiger auf die Subsystemelemente der Lagersysteme

Aus diesem Bewertungsansatz wurden relevante Subsystemelemente mit ihren Ausprägungen identifiziert und anhand der Wandlungsfähigkeit über die Wandlungsbefähiger bewertet.

### Vorgehen Bewertungsansatz (Orientierung an HEGER)

Im zweiten Bewertungsansatz wurde die Wandlungsfähigkeit über die Fabrikebene bewertet. Im ersten Schritt hat HEGER ein Verfahren entwickelt, in dem das Wandlungspotenzial von nicht-monetären Wandlungsprozessmerkmalen betrachtet wird. Der zweite Schritt bezieht sich auf die Wandlungswirtschaftlichkeitsanalyse. Das dritte Verfahren zeigt eine nicht-monetäre

Wandlungsnutzwertanalyse. Somit bilden alle drei Schritte eine integrative Wandlungsfähigkeitsbewertung [Heg07, S. 69]. Für die Systematisierung der Fabrik hat HEGER Objekte in die Gestaltungsfelder Technik, Organisation, Raum, Mensch und Führung aufgeteilt. Laut HEGER ist die Wandlungsfähigkeit nur im Bereich Technik, Organisation und Raum relevant, weswegen die Objekte Mensch und Führung nicht weiter betrachtet wurden. Außerdem wurde die Fabrik auf die Ebenen Werk, Fabrik, (Unter)-Bereich und Arbeitsstation aufgeteilt. Die Wandlungsmerkmale wurden umfangreich nach Fabrikfeldern, Fabrikobjekten und primären Wandlungspotenzialen aufgelistet. Die Merkmale sind den Wandlungsbefähigern zugeordnet worden. Dabei hat HEGER auch die Fabrikobjekte „Lagermittel“ und „sonstige Mittel“ bearbeitet, welche als Grundlage für die Betrachtung der LKT-Systeme dienen.

Im ersten Schritt wurden die Ausarbeitungen der beiden Fabrikobjekte „Lagermittel“ und „sonstige Mittel“ an die vorliegende Fragestellung bzgl. der LKT-Systeme angepasst. Dabei ergaben sich bspw. für die Lagersysteme folgende Wandlungsmerkmale bei dem Wandlungsbefähiger „Mobilität“:

- Verbindungsgrad
- Montier- und Demontierbarkeit
- Stapelhöhe
- Örtliche Beweglichkeit

Nach der Auswahl der zu bewertenden Fabrikobjekte wurden im zweiten Schritt die Bewertungsobjekte genauer festgelegt, wenn die Fabrikobjekte unterschiedliche Ausführungen aufzeigen. Ein Beispiel dafür sind die Transportmittel, wie z. B. eine Elektrohängebahn (EHB) und ein Gabelstapler. Die Wandlungsmerkmale wurden unterschiedlich bewertet. Beim Merkmal Verbindungsgrad ist die Ausprägung bei einer EHB hoch, da sie am Tragwerk verschraubt ist, während ein Gabelstapler keine starre Verbindung besitzt und somit mit 0 % Verbindungsgrad bewertet wurde [Heg07, S.104]. Die unterschiedlichen Ausführungen wurden bzgl. der Wandlungsfähigkeit für alle Wandlungsmerkmale bewertet. Bspw. sind nachfolgend (Bild 8) einige Wandlungsbefähiger der Mobilität aufgezeigt:

Wandlungsbefähiger	Wandlungsmerkmal	Ausführungen	Punktwertung
Mobilität	Verbindungsgrad	Verbindung vorhanden	1
		keine Verbindung	0
	Montier- und Demontierbarkeit	nicht erfüllt	0
		vereinzelt erfüllt	0,25
		teilweise erfüllt	0,5
		größtenteils erfüllt	0,75
		erfüllt	1
...			

Bild 8: Beispiel Punktwertung Wandlungsbefähiger: Mobilität

Die Bewertung erfolgte über die erreichte Punktwertung pro Wandlungsbefähiger im Verhältnis zur maximalen Punktzahl in Prozent. Aus dem zweiten Bewertungsansatz erfolgte ebenfalls eine Auflistung an Merkmalen mit Ausprägungen für die einzelnen Wandlungspotenzialarten.

## Zusammenführung

Für die Bewertung der Wandlungsfähigkeit von LKT-Systemen wurden die beiden Bewertungsansätze nach HEINE und HEGER zusammengeführt. Bei beiden Ansätzen resultierte ein Merkmalskatalog mit Ausprägungen/Ausführungen für jeden Wandlungsbefähiger. Diese beiden Kataloge wurden verglichen und zusammengefügt. Folgend sind beispielhaft die Merkmale der Wandlungsbefähiger für die Lagersysteme aufgelistet.

- Universalität: Produkt- und Variantenflexibilität, Nenntagfähigkeit, Automatisierbarkeit, Standardisierung Transportmittel, Standardisierung Transporthilfsmittel
- Mobilität: Verbindungsgrad, räumliche Bewegbarkeit
- Skalierbarkeit: Erweiterbarkeit
- Modularität: Systemarchitektur
- Kompatibilität: Bedienbarkeit, Dokumentation, Elektroversorgung, Pneumatik- und Hydraulikversorgung, Versorgung weitere Medien, Art der Anschlüsse, Anzahl der Anschlüsse, Softwareschnittstellen, Anschlussflexibilität
- Objektspezifisches Wandlungspotenzial: Inbetriebnahme

Für jedes Merkmal wurden die Ausprägungen/Ausführungen aufgelistet und für jedes System bewertet. Somit konnte für alle relevanten LKT-Systeme die prozentuale Wandlungsfähigkeit der einzelnen Wandlungsbefähiger bestimmt werden. Im Bild 9 ist die Berechnung des Prozentsatzes für das Lagersystem „Fachbodenregal“ aufgezeigt.

Wandlungsbefähiger	Wandlungsmerkmale	Ausprägungen/Ausführungen														Bewertung								
		nicht erfüllt	0kg-100kg	>250 kW	externe Stromversorgung	Verbindung vorhanden	vereinzelnt erfüllt	100kg-400kg	125 kW-250 kW	teilweise erfüllt	400kg-700kg	50 kW-125kW	externe Versorgung (Standardanforderung)	größtenteils erfüllt	700kg-1000kg	0 kW - 50 kW	erfüllt	> 1000kg	0 kW (interne Versorgung)	keine externe Versorgung	keine Verbindung	Punkte	Prozentuale Wandlungsfähigkeit	
Universalität	Produkt- und Variantenflexibilität																							0,75
	Nenntagfähigkeit							x																0,25
	Standardisierung Lagermittel																							0,75
	Standardisierung Lagerhilfsmittel																							0,75
	Automatisierbarkeit									x														0,5
Mobilität	Verbindungsgrad					x																		0
	Montier- und Demontierbarkeit																							0,75
	Stapelhöhe									x														0,5
	Mobilität/ örtliche Bewegbarkeit										x													0,5
Skalierbarkeit	Lagerreserve																						0,75	
Modularität	Systemarchitektur									x														0,5
	Bedienbarkeit																							1
Kompatibilität	Dokumentation																							0,75
	Elektroversorgung																							1
	Versorgung weitere Medien																							1
	Art der Anschlüsse																							1
	Anzahl der Anschlüsse																							1
	Softwareschnittstellen																							0,25
	Anschlussflexibilität																							1
Objekts. Wandlungs.	Inbetriebnahme																							1

Bild 9: Beispiel Berechnung des Prozentsatzes für das Lagersystem: Fachbodenregal

Tabelle 10 zeigt für alle Transportsysteme die prozentuale Bewertung der Wandlungsfähigkeit über die Wandlungsbefähiger auf.

Tabelle 10: Bewertung der Wandlungsfähigkeit: Transportsysteme

	Universalität	Mobilität	Skalierbarkeit	Modularität	Kompatibilität	Objektspez. Wandlungspot.
Bandförderer	0,46	0,00	0,25	0,00	0,94	0,50
Rollenförderer mit Antrieb	0,67	0,00	0,25	0,00	0,94	0,50
Kreisförderer	0,67	0,00	0,25	0,00	0,89	0,50
Umlaufförderer	0,67	0,00	0,25	0,00	0,89	0,75
(Trag-) Kettenförderer	0,67	0,00	0,25	0,00	0,89	0,50
Rollenbahn	0,50	0,00	0,75	0,25	0,89	1,00
Röllchenbahn	0,25	0,00	0,75	0,25	0,89	1,00
Kugelbahn	0,25	0,00	0,75	0,25	0,89	1,00
Handgabelhubwagen	0,75	1,00	0,25	0,00	0,89	1,00
Elektrohubwagen	0,79	1,00	0,25	0,00	0,81	0,75
Gabelstapler	0,88	1,00	0,75	0,50	0,67	0,75
Hubmaststapler	0,88	1,00	0,75	0,50	0,67	0,75
Schubmaststapler	0,88	1,00	0,75	0,50	0,67	0,75
Hochregalstapler	0,92	1,00	0,75	0,50	0,67	0,75
Kommissionierstapler	0,92	1,00	0,75	0,50	0,67	0,75
Schlepper	0,88	1,00	1,00	0,75	0,69	0,75
Handkarren	0,63	1,00	0,00	0,75	0,89	1,00
Fahrerlose Transportsysteme	0,71	1,00	0,75	1,00	0,86	1,00
Regalbediengerät	0,71	0,13	0,75	0,00	0,83	0,50
Verschiebewagen	0,63	0,00	0,25	0,00	0,83	0,75
Gleiswagen	0,67	0,00	0,25	0,00	0,83	0,75
Trolleybahn	0,33	0,00	0,25	0,25	0,64	0,50
Brückenkran	0,29	0,00	0,00	0,25	0,61	0,50
Hängekran	0,46	0,13	0,25	0,25	0,61	0,50
Elektrohängebahn	0,50	0,38	0,50	0,25	0,56	0,50
Stapelkran	0,46	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25
FTS Hochregalstapler	0,75	0,38	0,75	0,25	0,89	0,00
FTS Schlepper	0,75	0,38	0,75	0,25	0,89	0,00
FTS Vertikalkommissionierstapler	0,75	0,38	0,75	0,25	0,89	0,00

Die Ergebnisse der Kommissionier- und Transportsysteme sind im Anhang 5 zu finden. Die Bestimmung der Wandlungsfähigkeit von LKT-Systemen wurde somit abgeschlossen.

#### 4.2.2 Methode zur Bestimmung der notwendigen Wandlungsfähigkeit

Die notwendige Wandlungsfähigkeit wurde anhand eines Wandlungstreiberkatalogs bestimmt. Jedes Unternehmen ist bestimmten Einflüssen ausgesetzt, die die notwendige Wandlungsfähigkeit bedingen. Das Vorkommen dieser Einflüsse ist jedoch bei jedem Unternehmen unterschiedlich, sodass manche Einflüsse irrelevant und manche besonders wichtig sein können. Für die Bestimmung der notwendigen Wandlungsfähigkeit wurde deshalb ein Wandlungstreiberkatalog entwickelt. In diesem sind alle Treiber gelistet, die Einfluss auf den Einsatz von LKT-Systemen haben. Jedes Unternehmen kann anschließend individuell die Ausprägungen der Einflüsse angeben.

Für die Erstellung des Wandlungstreiberkatalogs wurde sich an den Forschungsarbeiten des Forschungsprojekts: WaProTek – Wandlungsförderliche Prozessarchitekturen orientiert [Nyh13].

Dabei wurden zunächst Treibercluster identifiziert. In Bezug auf die LKT-Systeme ergaben sich folgende Treibercluster: Gesetzgeber und Verbände, Lieferanten, Wettbewerber, Unternehmen und Netzwerk, Globalisierung, Digitalisierung, Mitarbeiter und Technologie. Jedem Treibercluster sind verschiedene Treiber zugeordnet. Der Globalisierung sind bspw. die Treiber „veränderte Anforderungen an die Produkteigenschaften“, „veränderte Bestellmengen“ oder „veränderte Marktpreise“ zugeordnet. Neben den Definitionen der Treiber wurden zugehörige Fragen formuliert, die die Unternehmen einfach durch die Antwortmöglichkeiten „kommt nicht vor“, „kommt gelegentlich vor“ oder „kommt häufig vor“ bewerten können. Der gesamte Wandlungstreiberkatalog ist im Anhang 6 zu finden, einen Ausschnitt zeigt Bild 10.

Treibercluster	Treiber	Frage	Treiberdefinition	Dimensionen
Gesetzgeber und Verbände	Neue/veränderte arbeitsrechtliche Bestimmungen	Gab es in der Vergangenheit neue/veränderte arbeitsrechtliche Bestimmungen?	Arbeitsrechtliche Bestimmungen sind vom Staat festgelegte Gesetze, die alle Fragen des Arbeitsverhältnisses zwischen Arbeitsgebern und Arbeitnehmern regeln	1. Kommt nicht vor 2. Kommt gelegentlich vor 3. Kommt häufig vor
Lieferanten	Langfristige Lieferengpässe/-ausfälle	Ist Ihr Unternehmen von langfristigen Lieferengpässen oder -ausfällen betroffen?	Langfristige Lieferengpässe/-ausfälle sind Situationen, in denen ein oder mehrere Zulieferer die vereinbarten Mengen an Rohstoffen oder Zwischenprodukten nicht oder nur beschränkt bereitstellen können	1. Kommt nicht vor 2. Kommt gelegentlich vor 3. Kommt häufig vor
	Veränderte Bestellmengen	Kommt es in Ihrem Unternehmen zu veränderten Bestellmengen durch den Lieferanten?	Die Bestellmenge beschreibt die Anzahl der Teile, die in einer Bestellung vom Abnehmer definiert oder vom Lieferanten festgelegt und dementsprechend geliefert wird	1. Kommt nicht vor 2. Kommt gelegentlich vor 3. Kommt häufig vor
	Veränderte Liefertreue	Ist Ihr Unternehmen von einer immer wiederkehrend veränderten Liefertreue betroffen?	Die Liefertreue beschreibt "in welchem Maße bei der Auftragserteilung zugesagten Termine realisiert werden können"	1. Kommt nicht vor 2. Kommt gelegentlich vor 3. Kommt häufig vor
	Veränderte Lieferzeit vom Lieferanten	Hat Ihr Unternehmen Schwierigkeiten mit sich veränderten Lieferzeiten vom Lieferanten?	Als Lieferzeit vom Lieferanten wird die Zeit vom Auftragseingang beim Lieferanten bis zur Lieferung des Produkts an den Besteller verstanden	1. Kommt nicht vor 2. Kommt gelegentlich vor 3. Kommt häufig vor
	Veränderte Teileigenschaften/-qualität	Kommt es auf Grund Ihres Lieferanten zu grundlegenden Veränderungen der Teileigenschaften/-qualität?	Teileigenschaften beschreiben die Gestalt, die Zusammensetzung und die Umweltbeziehungen eines Teils	1. Kommt nicht vor 2. Kommt gelegentlich vor 3. Kommt häufig vor
Wettbewerber	Auftreten/Wegfall von Konkurrenten	Kommt es von der Seite Ihres zugehörigen Marktes aus zu Auftreten/Wegfall von Konkurrenten?	Auftreten oder Wegfall von Konkurrenten bedeutet, dass andere Unternehmen, die ähnliche oder die gleichen Produkte anbieten, in den eigenen Markt eintreten oder diesen verlassen	1. Kommt nicht vor 2. Kommt gelegentlich vor 3. Kommt häufig vor
	Neue Produkte von Konkurrenten	Hat Ihr Unternehmen Probleme mit neuen Produkten von Konkurrenten?	Produkte von Konkurrenten sind Leistungen, die diese am Markt anbieten	1. Kommt nicht vor 2. Kommt gelegentlich vor 3. Kommt häufig vor
	Neue/Veränderte Beziehungen bzw. Zusammenschlüsse von Konkurrenten	Kam es in der Vergangenheit häufig zu neuen/veränderten Beziehungen oder Zusammenschlüssen von Konkurrenten?	Beziehungen bzw. Zusammenschlüsse von Konkurrenten ist die vereinbarte Zusammenarbeit von Unternehmen oder deren Zusammenführung in einem Unternehmen	1. Kommt nicht vor 2. Kommt gelegentlich vor 3. Kommt häufig vor

Bild 10: Ausschnitt Wandlungstreiberkatalog

Zur Bewertung der notwendigen Wandlungsfähigkeit wurden im nächsten Schritt die verschiedenen Treiber den Wandlungsbefähigern (Universalität, Mobilität, Skalierbarkeit, Modularität, Kompatibilität, Objektspezifisches Wandlungspotenzial) zugeordnet, die dem Treiber entgegenwirken könnten. So würde zu dem Treiber „veränderte Anforderungen an die Produkteigenschaften“ ein System mit einer hohen Universalität passen. Die Treiber können auch mehrere Wandlungsbefähiger bedingen, sodass mehrere zugeordnet werden konnten. So

konnten die Treiber nicht nur ihren Treiberclustern zugeordnet werden, sondern auch den Wandlungsbefähigern, die diesem Treiber entgegenwirken können.

Ziel des folgenden Arbeitsschrittes war es, die notwendigen Ausprägungen der Wandlungsbefähiger zu ermitteln. Es ist bspw. vorstellbar, dass ein Unternehmen ein System benötigt, welches eine sehr hohe Universalität benötigt, aber nicht modular aufgebaut sein muss. Zur Bewertung der notwendigen Wandlungsfähigkeit durch die einzelnen Wandlungsbefähiger wurden die Antwortmöglichkeiten der Treiberfragen prozentual in folgende Dimensionen gewichtet:

- „kommt nicht vor“ = 0 %
- „kommt gelegentlich vor“ = 50 %
- „kommt häufig vor“ = 100 %

Die verschiedenen Treiber sind jedoch unterschiedlich wichtig für die Bestimmung der notwendigen Wandlungsfähigkeit, ebenso wie die Treibercluster selbst. Deswegen wurde im nächsten Arbeitsschritt ein paarweiser Vergleich mit Experten durchgeführt. Zunächst wurden die Treibercluster gegeneinander gewichtet und anschließend auch die einzelnen Treiber untereinander in einem Treibercluster. Die Ergebnisse sind im Anhang 7 dargestellt. Die notwendige Wandlungsfähigkeit, durch die Ermittlung der notwendigen Ausprägungen eines Wandlungsbefähigers (Wb), ergibt sich demnach durch folgende Formel:

$$Wb_{\text{Universalität}} = g_{\text{Treiber 1}} * \text{Dimension}_{\text{Treiber 1}} + g_{\text{Treiber 2}} * \text{Dimension}_{\text{Treiber 2}} + g_{\text{Treiber n}} * \text{Dimension}_{\text{Treiber n}}$$

Mit  $g$  sind die Gewichtungen aus dem paarweisen Vergleich einbezogen, die für die jeweiligen Wandlungsbefähiger berechnet wurden. Die Dimensionen entsprechen, wie oben dargestellt, den prozentualen Ausprägungen, die durch den Anwender angegeben werden. Somit ergibt sich für jeden Wandlungsbefähiger die notwendige prozentuale Ausprägung.

### **4.2.3 Matching Wandlungsfähigkeit**

Für das Matching der notwendigen Wandlungsfähigkeit zu der Wandlungsfähigkeit von LKT-Systemen konnten die Ergebnisse direkt zusammengeführt und abgeglichen werden. In beiden Methoden ergab sich das Ergebnis zu einer Prozentzahl der Wandlungsbefähiger. Auf der einen Seite wurde festgestellt, welche Ausprägungen der Wandlungsbefähiger benötigt werden und auf der anderen Seite wurden die Ausprägungen aller LKT-Systeme über die Wandlungsbefähiger festgestellt. Dadurch kann ein direktes Matching stattfinden.

## **4.3 Wechselwirkungen der LKT-Systeme in Bezug auf die Wandlungsfähigkeit und Automatisierung**

Das Ziel des Arbeitspakets war es herauszufinden, welche Wechselwirkungen zwischen LKT-Systemen entstehen können, die es verhindern, dass Systeme miteinander kombinierbar sind. Dabei lag der besondere Fokus auf den unterschiedlichen Graden der Wandlungsfähigkeit und Automatisierung.

Wechselwirkungen zwischen Systemen können physisch oder kognitiv sein. Vorstellbar sind im physischen Bereich bspw. Übergabepunkte zwischen den Transport- und Lagersystemen. Der

Mensch als Transportsystem oder in Kombination mit einer Handkarre kann bspw. keine Produkte in ein Hochregallager einlagern. Aufgrund der physischen Betrachtung von Übergabepunkten konnten einige Kombinationsmöglichkeiten im ersten Schritt ausgeschlossen werden. Des Weiteren bestehen auch kognitive Übergabepunkte zwischen den Systemen, das heißt in der informationstechnologischen Verarbeitung. Nach Rücksprachen mit Experten ist jedoch das Ergebnis entstanden, dass durch die Implementierung von Schnittstellen alle Systeme kognitiv miteinander verbunden werden können, weshalb dieser Bereich nicht weiterverfolgt wurde.

Im nächsten Schritt wurden Wechselwirkungen bzgl. der Automatisierung und Wandlungsfähigkeit betrachtet. Die LKT-Systeme werden bei der Betrachtung der notwendigen Automatisierung einzeln bewertet. Es kann somit eine Systemkombination als Ergebnis entstehen, bei der die Systeme einen unterschiedlichen Grad an Automatisierung haben. Dass Systeme ausschließlich auf Grund ihrer unterschiedlichen Automatisierungsgrade nicht zusammenpassen, ist anhand der Filterfunktion und des Ausschlusses von funktional nicht kombinierbaren Systemen (physische Betrachtung) nicht mehr möglich. Bei der Bestimmung der notwendigen Wandlungsfähigkeit wird auf allgemeine Strukturen und Bedingungen eines Unternehmens bezogen auf das Lager eingegangen. Somit ergibt sich für alle Systeme der gleiche notwendige Grad an Wandlungsfähigkeit, welcher über die notwendigen Ausprägungen der Wandlungsbefähiger dargestellt wird.

#### **4.4 Zusammenführung zu einer Methode und Implementierung in einen Softwaredemonstrator**

Für die Zusammenführung der Methode mussten, wie bereits in Kapitel 4.1.3 und 4.2.3, zum einen der notwendige Grad an Wandlungsfähigkeit/Automatisierung mit dem Grad an Wandlungsfähigkeit/Automatisierung der Systeme zusammengeführt werden. Zum anderen musste eine Reihenfolge der Ausschlusskriterien festgelegt werden, um darauf aufbauend den Softwaredemonstrator zu programmieren.

Bei der Bestimmung der notwendigen **Wandlungsfähigkeit** wurden die Wandlungsbefähiger als Unterstützung für die Darstellung des Wandlungsfähigkeitsausmaßes herangezogen. Jedes Unternehmen kann somit ihre individuell notwendige Wandlungsfähigkeit bestimmen. Bei der Bestimmung der Wandlungsfähigkeit von Systemen wurden ebenfalls die Wandlungsbefähiger als Grundlage genutzt. Somit sind auch in diesem Ergebnis Ausprägungen der Wandlungsbefähiger für jedes LKT-System entstanden. Durch die Methode können somit, nach der Beantwortung des Wandlungstreiberkatalogs, alle Systeme ausgeschlossen werden, die den notwendigen Ausprägungen der Wandlungsbefähiger nicht entsprechen.

Die Zusammenführung der notwendigen **Automatisierung** zum Grad der Automatisierung der LKT-Systeme erfolgte ebenfalls über einen Abgleich. Die Mechanisierungsstufen finden sich in der Betrachtung des Mindestmaßes an Automatisierung wieder. So werden die Systeme ausgeschlossen, die dem Mindestmaß bzw. der mindestens zu erreichenden Mechanisierungsstufe nicht entsprechen. Die Computerisierungs- und Digitalisierungsstufen werden bei der Bestimmung der notwendigen Automatisierung bzgl. der benötigten Leistung mit abgefragt, sodass ein direktes Matching mit der Einteilung der Systeme nach diesen Stufen erfolgen kann. Da einige Stufen auch mit einer Kombination aus System und/oder Zusatzprodukt (bspw. IoT-Software) erreicht werden können, wurde auch dies hinterlegt, sodass die Systeme nicht ausgeschlossen werden, sondern entsprechend eine Anmerkung erfolgt, dass für gewisse

Leistungen ein Zusatzprodukt benötigt wird. Für die **Zusammenführung zu einer Gesamtmethode** wurde eine Filterstruktur entwickelt, wonach das Matching erfolgen soll. Bild 11 stellt dies grafisch dar.

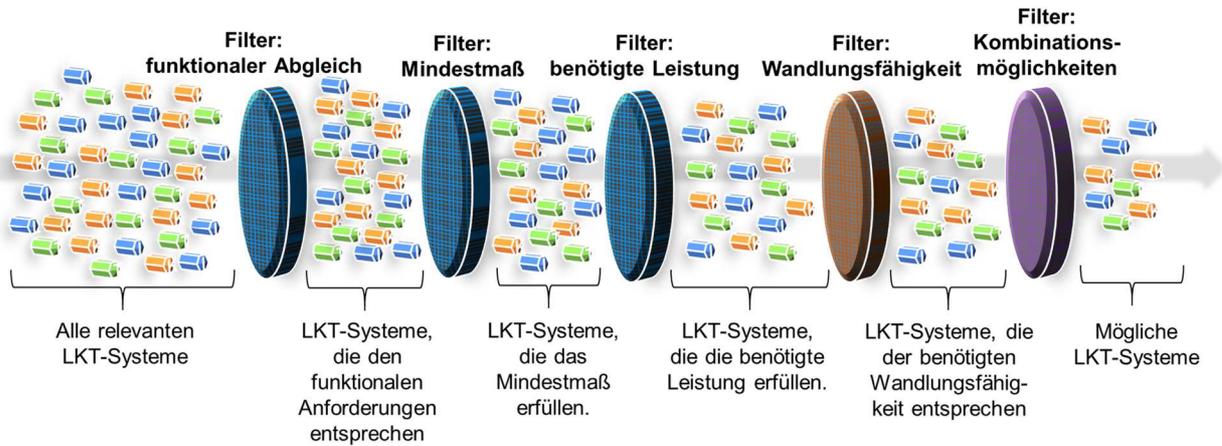


Bild 11: Filterstruktur Gesamtmethode

Diese Abfolge entspricht auch der Abfrage in dem Softwaredemonstrator. Begonnen wird mit den Fragen zu der Automatisierung, genauer dem funktionalen Abgleich. Dort werden Fragen zum Produktportfolio gestellt. Im Bereich der Automatisierung folgt die Feststellung des Mindestmaßes (bspw. Häufigkeit der Lagertätigkeiten) und der Abfrage der Leistungskennzahlen, dies inkludiert auch Fragen zu den Computerisierungs- und Digitalisierungsanforderungen. Anschließend erfolgt die Betrachtung der Wandlungsfähigkeit. Die Nutzer müssen Fragen aus den verschiedenen Treiberclustern beantworten. Im Hintergrund wird die Berechnung der notwendigen Ausprägungen der Wandlungsbefähiger in Prozent durchgeführt und ein Abgleich mit den vorliegenden Ausprägungen der LKT-Systeme vorgenommen. Die passenden Systeme werden anschließend nach den Kombinationsmöglichkeiten überprüft. Dies wurde mittels VBA in Excel programmiert. Über ein User-Interface wird der Nutzer durch die Fragen geleitet und erhält währenddessen immer wieder zusätzliche Informationen zur Beantwortung der Fragestellungen. Die Startseite sieht bspw. folgendermaßen aus:

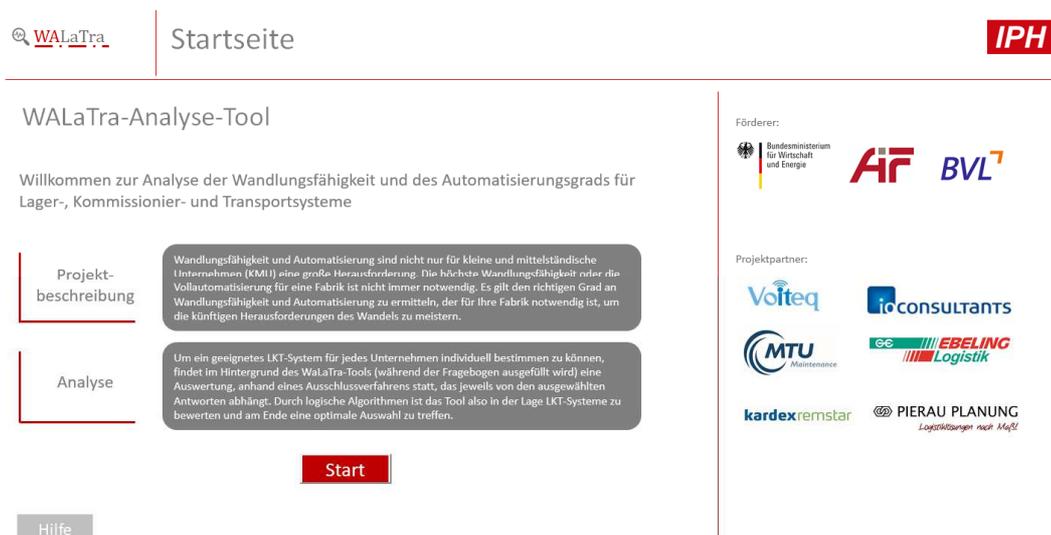


Bild 12: Startseite WALaTra-Softwaredemonstrator

Bei der Ergebnisdarstellung wurde darauf geachtet, dass alle Systeme mit ihren Eigenschaften einsehbar bleiben. Der Nutzer bekommt demnach zwar die optimalen Systeme vorgeschlagen, kann sich jedoch alle ausgeschlossenen Systeme weiterhin ansehen und nachvollziehen, warum welche Systeme von dem Softwaredemonstrator ausgeschlossen wurden. Zusätzlich werden dem Nutzer Steckbriefe aller LKT-Systeme bereitgestellt. Da die Auswahl einzig auf der Betrachtung der Wandlungsfähigkeit und Automatisierung erfolgt, werden anschließend weitere Informationen, bspw. zu den Betriebskosten, gegeben. Ein Steckbrief sieht dabei bspw. für das Transportsystem Handgabelhubwagen folgendermaßen aus:

<b>Kosten</b>	
Investitionskosten	gering
Laufende Kosten	gering

<b>Transportprodukteigenschaften</b>	
Gewicht der Transporteinheit	86 kg
Abmessung der Transporteinheit	1.2 x 0.16 x 0.045 m

<b>Systemeigenschaften</b>	
Größe des Systems	gering
Geschwindigkeit	gering
Aufnahmelast	3000 kg

<b>Prozessqualität</b>	
Störungsanfälligkeit	gering
Fehlerquote	gering

<b>Ökonomische Aspekte</b>	
Wartungsaufwand	gering
Energieverbrauch	gering
Aufwand für Schulungen der Mitarbeiter	gering

<b>Ausführung und Bedienung</b>	
Transportleistung	gering
Personalbedarf	ja

Bild 13: Steckbrief Transportsystem: Handgabelhubwagen

Der Softwaredemonstrator kann von allen interessierten Unternehmen oder Personen über die IPH-Homepage angefragt werden.

### 4.5 Validierung der Methode

Für die Validierung der Methode bzw. des Softwaredemonstrators wurden zunächst relevante Daten zur Auswahl von LKT-Systemen bei Projektpartnern aufgenommen und anschließend in der Diskussion besprochen, welche Systeme anhand dieser Daten ausgewählt werden würden. Dabei ist aufgefallen, dass jedes befragte Unternehmen unterschiedliche Daten als relevant für diese Auswahl gehalten hat. Die Auswahl basierte auf Erfahrungswissen und dauerte je nach Diskussionspartner mehrere Stunden. Anschließend wurde der entwickelte Softwaredemonstrator herangezogen und die Auswahl erneut durchgeführt. Für die Beantwortung der Fragen war ebenfalls eine gewisse Zeit einzuplanen, da die abgefragten Daten nicht immer direkt vorhanden waren. Dennoch ging die Anwendung des Softwaredemonstrators

schneller als die Auswahl über die Diskussionen. Nach Rückmeldungen der Projektpartner sind die Fragebögen auch von Personal ausfüllbar, die keinen großen Erfahrungsschatz haben, wodurch sich ein weiterer Vorteil ergab. Die Güte der Entscheidung ist schwer zu bewerten, da vor allem die bereitgestellte Wandlungsfähigkeit erst in Zukunft ihren Nutzen zeigen würde. Dennoch lagen die Ergebnisse aus herkömmlicher Auswahl und Auswahl über den Softwaredemonstrator in den durchgeführten Beispielen nah beieinander, welches die Funktionalität unterstreicht. Einige Schwächen des Softwaredemonstrators wurden ebenfalls identifiziert. Mögliche Lösungsansätze konnten anschließend erarbeitet und programmiert werden. Bspw. wurden mehr zusätzliche Informationen zu den Fragestellungen angefragt, da einige Fragen von den Projektpartnern falsch interpretiert wurden. Der Umfang der Fragen konnte bspw. hingegen nicht reduziert werden, da dies die Ergebnisse verschlechtern würde.

#### **4.6 Ergebnisdokumentation und Veröffentlichung**

Die erzielten Ergebnisse wurden während der Projektlaufzeit dokumentiert und veröffentlicht. Die Veröffentlichungen erfolgten durch Artikel in Fachzeitschriften sowie bei der Vorstellung auf unterschiedlichen Veranstaltungen. Die Dokumentation unterstützt die Anwendung des Softwaredemonstrators und hilft damit bei der Verbreitung der Ergebnisse über den projektbegleitenden Ausschuss hinaus. Eine Auflistung der Veröffentlichungen sowie der Transfermaßnahmen ist in Kapitel 8 zu finden.

### **5. Verwendung der Zuwendung**

- wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans)
  - 1 wissenschaftliche Mitarbeiterin (TV-L 13) mit besonderen Kenntnissen im Bereich Logistik/Automatisierung für 37 Monate
- Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans)
  - Keine Geräte angeschafft
- Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans)
  - Keine Leistungen Dritter in Anspruch genommen

### **6. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die *Notwendigkeit* der geleisteten Arbeit begründet sich durch eine große Praxisrelevanz. Nach Gesprächen mit Unternehmen wurde deutlich, dass speziell KMU mit einer Investitionsentscheidung bei LKT-Systemen überfordert sind und auf externe Berater zugehen oder die Entscheidung subjektiv treffen. Diese Forschungslücke schließt sich mit der erarbeiteten Methode. Da speziell bei der Festlegung des notwendigen Grads an Wandlungsfähigkeit und Automatisierung ein neuer Forschungsbereich betreten wurde, waren eine detaillierte Bearbeitung und eine Vielzahl von Diskussionen mit Experten unabdingbar. Auch die Einordnung der LKT-Systeme nach ihrer Automatisierung und Wandlungsfähigkeit erfolgte über eine Vielzahl von Diskussionen mit unterschiedlichen Unternehmen, da bspw. die Auffassung der Leistungskennzahlen sehr unterschiedlich war bzw. anwendungsfallspezifisch ausfiel. Die *Angemessenheit* der einzelnen Arbeitsschritte ergibt sich aus der sachgemäßen Bearbeitung der Teilziele. Da als Ergebnis ein Softwaredemonstrator bereitgestellt wurde, welches Unternehmen bei der Auswahl eines passenden LKT-Systems unterstützt und damit direkt in der Industrie

angewandt wird, war die gründliche Bearbeitung und das Verwenden von wissenschaftlichen Methoden wichtig und für den Softwaredemonstrator ein grundlegender Faktor. Die Ergebnisse mussten somit auch in entsprechender Programmierform vorliegen. Die geleistete Arbeit entspricht dem begutachteten sowie bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen.

## **7. Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen**

Die Forschungsergebnisse liefern praxisorientierte Lösungen für die Unternehmen. Mit Hilfe der entwickelten Methode können produzierende KMU, Logistikdienstleister sowie Investoren systematisch den notwendigen Grad an Wandlungsfähigkeit und den notwendigen Grad an Automatisierung für ein LKT-System aufwandsarm bestimmen. Darüber hinaus können geeignete Lager-, Kommissionier- und Transporttechnologien hinsichtlich der Wandlungsfähigkeit und der Automatisierung bewertet werden. Somit bekommen produzierende KMU sowie Logistikdienstleister Planungssicherheit bzgl. der Investitionen in die LKT-Systeme. Investoren können ihren langfristigen Erfolg sichern, in dem sie lediglich Projekte finanzieren, die einen angemessenen, d. h. weder einen zu niedrigen noch einen zu hohen Grad an Wandlungsfähigkeit und Automatisierung aufweisen. Der im Forschungsvorhaben entwickelte Softwaredemonstrator operationalisiert die Ergebnisse und gewährleistet eine aufwandsarme Nutzung, ohne die Notwendigkeit zusätzlicher Entwicklungstätigkeiten oder Investitionen. Des Weiteren ist eine Weiterentwicklung der Methode für andere Bereiche (z. B. Produktionsbereiche) möglich. Die Transfermaßnahmen fördern hierbei die Verbreitung und Nutzung der Ergebnisse. Dabei wurden insbesondere durch die Publikation der Ergebnisse in Fachzeitschriften sowie die Darstellung der Ergebnisse auf Informationsveranstaltungen, ein großer Nutzerkreis adressiert. Dieser besteht aus produzierenden Unternehmen verschiedener Branchen, die aufgrund von sich ändernden Bedingungen LKT-Systeme neu planen müssen. Auch Logistikdienstleister und Investoren, die LKT-Systeme beschaffen bzw. Investitionen bewerten müssen, zählen zum potenziellen Nutzerkreis.

Durch die Zusammenarbeit mit dem Projektbegleitenden Ausschuss wurden erste Anwendungsmöglichkeiten direkt geschaffen und validiert. Für KMU entsteht unmittelbarer und mittelbarer Nutzen aus dem Forschungsvorhaben. Folgender **unmittelbarer Nutzen** ergibt sich durch die Umsetzung der Projektergebnisse:

- Produzierende KMU sowie Logistikdienstleister können mit Hilfe der entwickelten Methode eine höhere Planungssicherheit in Bezug auf die Investitionen in neue Lager-, Kommissionier- und Transporttechnologien erzielen. Dabei werden zukünftige Marktentwicklungen antizipiert und ein abgestimmtes Konzept ausgewählt. Somit wird langfristig die Wettbewerbsfähigkeit der in Deutschland ansässigen Unternehmen gesichert, indem das Anlagekapital optimal eingesetzt wird.
- Planer von LKT-Systemen können die Ergebnisse des Forschungsvorhabens durch die Systematisierung der Lagerplanung in Bezug auf die Wandlungsfähigkeit sowie den Automatisierungsgrad nutzen. Durch die Bewertung werden Planungsergebnisse besser vergleichbar und die Objektivität steigt. Darüber hinaus ist die Qualität der Planungsergebnisse nicht mehr ausschließlich vom Erfahrungswissen eines Planers abhängig. Somit profitieren vor allem KMU von den Forschungsergebnissen, für die

eine teure Fremdvergabe der Planung aufgrund fehlenden Kapitals nicht in Frage kommt.

Folgender **mittelbarer Nutzen** ergibt sich durch die Umsetzung der Ergebnisse:

- Für Hersteller von LKT-Technologien kann eine schnellere Verbreitung von neuen Technologien, bei Nutzung des Softwaredemonstrators, von Vorteil sein. Durch die Bereitstellung einer Wissensbasis mit spezifischen Technologien haben KMU unmittelbaren Zugang zu neuartigen Systemen und können deren Vorteile aufwandsarm erkennen. Somit profitieren langfristig ebenfalls Hersteller von LKT-Technologien von den Forschungsergebnissen.

## 8. Veröffentlichungen und Transfermaßnahmen

Erste Schritte zum Ergebnistransfer sind während der Projektlaufzeit durchgeführt worden. Weitere Maßnahmen zur Verwertung und Verbreitung der Projektergebnisse sind im Anschluss an das Projekt vorgesehen. Über den Austausch zwischen Forschungsstelle und den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses sowie weiteren interessierten Unternehmen hat bereits ein erster Wissenstransfer stattgefunden. Dieser ist die Basis für die praktische Umsetzbarkeit der Ergebnisse. Die Mitglieder des PA bestanden aus produzierenden Unternehmen, Logistikdienstleistern und Logistikberatungsunternehmen.

Die bereits durchgeführten und noch geplanten Transfermaßnahmen sind dem Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft in Tabelle 13 und 14 zu entnehmen.

Tabelle 13: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft (spezifisch durchgeführte Transfermaßnahmen)

Maßnahme	Ziele	Rahmen	Zeitraum
Veröffentlichungen, Information der interessierten Öffentlichkeit	Information der interessierten Öffentlichkeit und Wissenstransfer in die Wirtschaft	Einrichtung einer Projekthomepage <a href="http://walatra.iph-hannover.de">walatra.iph-hannover.de</a>	08/2017
		Pressemitteilung zum Projektstart („Lager, Kommissionierung, Transport: Welche Technologie ist die Richtige?“)	30.08.2017
		Veröffentlichung: Müller, M.; Westbomke, M.; Stonis, M.: Wandlungsfähigkeit und Automatisierung von Lager-, Kommissionier- und Transportsystemen. In: ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Carl Hanser Verlag, 112. Jg. (2017), H. 12, S. 881-884. ISSN 0947-0085.	12/2017
		Beitrag BVL Magazin: „Hilfe im Systemdschungel“, Ausgabe 2 / 2018	02/2018
		Vortrag bei dem Kundentag der Voiteq GmbH über das Forschungsprojekt	08.11.2018
		Veröffentlichung: Müller M.; Lebbing S. P.; Stonis M.: Methode zur Bestimmung des Automatisierungsgrads von Lager-, Kommissionier- und Transportsystemen. In: Logistics Journal: nicht referierte	12/2018

		Veröffentlichungen, Vol. 2019. (urn:nbn:de:0009-14-47959)	
		Vorstellung des Projekts bei dem Kundentag der Voiteq GmbH	07.11.2019
		Pressemitteilung zum Projektende	Nach der Projektlaufzeit
		Veröffentlichung: Müller, M.; Behrend, A.M.; Stonis, M.: Methode zur Bestimmung der notwendigen Automatisierung von LKT-Systemen. In: wt-online 3-2020, S. 141-145.	03/2020
Akademische Lehre und berufliche Weiterbildung	Qualifizierung von Studenten	Betreuung der Bachelorarbeit: „Einflussanalyse der Wandlungsfähigkeit und Automatisierung von Lager-, Kommissionier- und Transportsystemen“; A. Begopoulos, Leibniz Universität Hannover	11/2017-04/2018
		Betreuung der Bachelorarbeit: „Entwicklung einer Methode zur Bestimmung des Automatisierungsgrads von Lager-, Kommissionier- und Transportsystemen“; S. P. Lebbing, Leibniz Universität Hannover	04/2018-07/2018
		Betreuung der Bachelorarbeit: „Entwicklung einer Methode zur Bestimmung des notwendigen Grads an Automatisierung für Lager-, Kommissionier- und Transportsysteme“; A. Namneck, Leibniz Universität Hannover	04/2018-07/2018
		Betreuung der Bachelorarbeit: „Entwicklung eines Technologiesteckbriefs zur Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl eines Lager-, Kommissionier- und Transportsystems“; E. Schnieders, Leibniz Universität Hannover	04/2018-07/2018
		Betreuung der Bachelorarbeit: „Automatisierung in der Intralogistik – Entwicklung einer Methode zur notwendigen Automatisierung eines Lagers anhand eines Beispiels“; E. Baykus, Leibniz Universität Hannover	05/2018-10/2018
		Betreuung der Masterarbeit: „Wechselwirkungen zwischen Lager-, Kommissionier- und Transportsystemen in KMU unter Berücksichtigung der Wandlungsfähigkeit und Automatisierung“; R. Jakisch, TU Dortmund	06/2018-12/2018
		Betreuung der Masterarbeit: „Entwicklung einer Methode zur Bestimmung des notwendigen Grads an Wandlungsfähigkeit für Lager-, Kommissionier- und Transportsysteme“; J. von Fintel, Leibniz Universität Hannover	10/2018-03/2019
		Betreuung der Studienarbeit: „Entwicklung und Validierung einer Methode zur Identifikation von Kombinationsmöglichkeiten von Lager-, Kommissionier- und Transportsystemen“; Y. Holtgreve, Leibniz Universität Hannover	11/2018-04/2019

		Betreuung der Studienarbeit: „Entwicklung einer Methode zur Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Lager-, Kommissionier- und Transportsystemen“; M. Rosic, Leibniz Universität Hannover	12/2018-05/2019
		Betreuung der Bachelorarbeit: „Entwicklung einer Methode zur Bestimmung der notwendigen Wandlungsfähigkeit von Lager-, Kommissionier- und Transportsystemen auf Grundlage der historischen Lagerdaten des Unternehmens“, J. Singer, Leibniz Universität Hannover	04/2019-10/2019
		Betreuung der Masterarbeit: „Entwicklung einer Methode zur Bestimmung des notwendigen Automatisierungsgrades für Lager-, Kommissionier- und Transportsysteme“, A. Behrend, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften	07/2019-01/2020
		Betreuung der Bachelorarbeit: „Entwicklung einer Methode zur Bestimmung des notwendigen Grads an Wandlungsfähigkeit von Transportsystemen für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)“, C. Feder, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften	12/2019-03/2020
		Anstellung von studentischen Hilfskräften	Während der gesamten Projektlaufzeit
Projektbegleitender Ausschuss	Auswahl Lager-, Kommissionier- und Transportsysteme, Erfahrungsaustausch	1. gemeinsames Abstimmungstreffen: Vorstellung erster Ergebnisse, Diskussion und Austausch	09.11.2017
		2. gemeinsames Abstimmungstreffen: Vorstellung aktueller Ergebnisse, Diskussion und Austausch	11.06.2018
		3. gemeinsames Abstimmungstreffen: Vorstellung aktueller Ergebnisse, Diskussion und Austausch	26.02.2019
		Datenaufnahme, Diskussionen zu logistischen Fragestellungen	Während der gesamten Projektlaufzeit
Ansprache potenziell interessierter Unternehmen außerhalb des PA	Gewinnung für die Teilnahme am PA und unmittelbarer Ergebnistransfer in die Wirtschaft	Vorstellung der Projektziele und erzielter Ergebnisse bei interessierten Unternehmen vor Ort	Während der gesamten Projektlaufzeit

Tabelle 14:: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft (spezifisch geplante Transfermaßnahmen)

Maßnahme	Ziele	Rahmen	Zeitraum
Veröffentlichungen, Information der interessierten Öffentlichkeit	Information der interessierten Öffentlichkeit und Wissenstransfer in die Wirtschaft	Veröffentlichung zu den gesamten Projektergebnissen	05/2020
		Präsentation der Ergebnisse Kundentag von Mitglied des PA	09/2020
Akademische Lehre und berufliche Weiterbildung	Qualifizierung von Studenten	Integration der Ergebnisse in Lehrveranstaltungen des IPH	05/2020 ff.
		Dissertationsschrift durch wissenschaftlichen Mitarbeiter	05/2020 ff.
Weiterentwicklung und stetige Aktualisierung des Softwaredemonstrators	Bereitstellung eines stets aktuellen Softwaredemonstrators	IPH, regelmäßige Kontrolle der Daten bzgl. des LKT-Systemangebots auf dem Markt	05/2020 ff.
Nutzung des Software-Demonstrators in eigenen Fabrikplanungsprojekten	Effizienzsteigerung der eigenen Fabrikplanung	IPH, Fabrikplanungsprojekte	05/2020 ff.

## 9. Einschätzung der Realisierbarkeit der geplanten

### Maßnahmen

Die Methode zur Bestimmung der notwendigen Wandlungsfähigkeit und Automatisierung zur Auswahl geeigneter LKT-Systeme bietet KMU die Möglichkeit aufwandsarm eine Investitionsentscheidung zu treffen bzw. die aktuell verwendeten Systeme zu hinterfragen. Die Anwendung der entwickelten Methode ist für KMU einfach. Für die Nutzung sind keine zusätzlichen Investitionen (z. B. Gerätebeschaffungen, Beratungsleistungen) nötig. Der in diesem Vorhaben entwickelte Softwaredemonstrator ermöglicht durch die Nutzung von Standardsoftware (Excel) eine aufwandsarme Anwendung der Ergebnisse. Dies ist insbesondere für KMU mit begrenzten Ressourcen relevant.

## **10. Durchführende Forschungsstelle**

Das IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung, die eng mit der Universität Hannover kooperiert. Die Gesellschafter des IPH, Prof. Behrens, Prof. Overmeyer und Prof. Nyhuis, sind gleichermaßen Inhaber produktionstechnischer Lehrstühle an der Universität Hannover. Die Gliederung des IPH in die drei Abteilungen „Prozesstechnik“, „Produktionsautomatisierung“ und „Logistik“ spiegelt die Ausrichtung dieser Lehrstühle wider.

Während die universitären Mutterinstitute des IPH hauptsächlich den Bereich der Grundlagenforschung abdecken, widmet sich das IPH hauptsächlich der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung. Das IPH wurde 1988 mit Unterstützung des niedersächsischen Wirtschaftsministeriums gegründet und ist besonders der technologischen Förderung mittelständischer Industriebetriebe verpflichtet. Der Technologietransfer von der Universität in die Industrie erfolgt dabei hauptsächlich über gemeinsam mit der Industrie durchgeführte, öffentlich geförderte Verbundforschungsprojekte sowie über Fortbildungsseminare und Arbeitskreise für spezielle Zielgruppen aus Industrie und Handel. Darüber hinaus stellt das IPH laufend in einer Vielzahl ausschließlich industriefinanzierter Beratungsprojekte seine Praxisorientierung und Wettbewerbsfähigkeit unter Beweis.

### **Leiter der Forschungsstelle**

#### **IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH**

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

Geschäftsführender Gesellschafter des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Tel.: 0511/27976-119

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer

Geschäftsführender Gesellschafter des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Tel.: 0511/27976-119

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

Geschäftsführender Gesellschafter des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Tel.: 0511/27976-119

Dr.-Ing. Malte Stonis

Koordinierender Geschäftsführer des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Tel.: 0511/27976-111

### **Projektleiter**

M.Sc. Maren Müller

Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Abteilung Logistik des IPH

## **11.Förderhinweis**

Das IGF-Vorhaben 19373N der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e. V. wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Für die Förderung sei an dieser Stelle gedankt.

## 12. Anhang

### Anhang 1: Fragenkataloge zur Bestimmung des Mindestmaßes an Automatisierung

#### Lagersysteme

##### Bewertung Lagervorgänge

###### Lagervorgänge

- Manuelle Ein-/Auslagerung
- Mechanische Unterstützung
- Teilautomatisiert
- Automatisiert

###### Information:

Bitte füllen Sie die folgende Tabelle aus, um die mögliche Gesundheitsgefährdung zu bewerten.

##### 1. Bestimmung der Zeitwichtung

###### Information

<input checked="" type="radio"/> Manuelle Ein-/ Auslagerung		<input type="radio"/> Mechanische Unterstützung		<input type="radio"/> Teilautomatisiert	
Anzahl der Vorgänge am Arbeitstag	Wichtung	Anzahl der Vorgänge am Arbeitstag	Wichtung	Anzahl der Vorgänge am Arbeitstag	Wichtung
≤ 20	<input type="radio"/> 1,5	≤ 100	<input type="radio"/> 1	≤ 100	<input checked="" type="radio"/> 2
21 bis ≤ 50	<input type="radio"/> 2	101 bis ≤ 500	<input type="radio"/> 1,5	101 bis ≤ 200	<input type="radio"/> 3
51 bis ≤ 100	<input type="radio"/> 2,5	501 bis ≤ 1000	<input type="radio"/> 2	201 bis ≤ 500	<input type="radio"/> 4
101 bis ≤ 300	<input checked="" type="radio"/> 4	> 1000	<input checked="" type="radio"/> 3	501 bis ≤ 1000	<input type="radio"/> 6
301 bis ≤ 500	<input type="radio"/> 5			1001 bis ≤ 2000	<input type="radio"/> 8
501 bis ≤ 1000	<input type="radio"/> 7			> 2000	<input type="radio"/> 9
1001 bis ≤ 2000	<input type="radio"/> 9				
> 2000	<input type="radio"/> 10				

##### 2. Bestimmung der Lastwichtung

###### Information

Wirksames Lastgewicht	Wichtung Männer	Wichtung Frauen
< 3 kg	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
3 bis 5 kg	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 6
> 5 bis 10 kg	<input checked="" type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 9
> 10 bis 15 kg	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 12
> 15 bis 20 kg	<input type="radio"/> 11	<input type="radio"/> 25
> 20 bis 25 kg	<input type="radio"/> 15	<input type="radio"/> 75
> 25 bis 30 kg	<input type="radio"/> 25	<input type="radio"/> 85
> 30 bis 35 kg	<input type="radio"/> 35	<input type="radio"/> 100
> 35 bis 40 kg	<input type="radio"/> 75	<input type="radio"/> 100
> 40 kg	<input type="radio"/> 100	<input type="radio"/> 100
Mechanische Unterstützung	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3

Abfrage: Wird die Tätigkeit von Frauen ausgeführt?

Ja  
 Nein

**Hinweis:** Bei "Teilautomatisiert" wählen Sie das Lastgewicht, wenn händisch ein- bzw. ausgelagert wird. "Mechanische Unterstützung" auswählen, falls Produkt nur mit Hilfsmittel ein- bzw. ausgelagert werden kann.

##### 3. Bestimmung der Lastaufnahmebedingungen

###### Information

Lastaufnahmebedingungen	Wichtung
Lastaufnahme ist beidhändig und symmetrisch.	<input type="radio"/> 0
Lastaufnahme ist zeitweilig einhändig und/oder unsymmetrisch, ungleiche Lastverteilung zwischen den Händen.	<input checked="" type="radio"/> 2
Lastaufnahme ist überwiegend einhändig oder instabiler Lastschwerpunkt.	<input type="radio"/> 4
Lastaufnahme wird mittels mechanischer Unterstützung durchgeführt.	<input type="radio"/> 0

##### 4. Bestimmung der Haltungswichtung

###### Information

Start / Ziel	Start / Ziel	Wichtung	Start / Ziel	Start / Ziel	Wichtung	Start / Ziel	Start / Ziel	Wichtung	Start / Ziel	Start / Ziel	Wichtung
		<input type="radio"/> 0			<input checked="" type="radio"/> 3			<input type="radio"/> 5			<input type="radio"/> 7
		<input type="radio"/> 9			<input type="radio"/> 10			<input type="radio"/> 13			<input type="radio"/> 15
		<input type="radio"/> 18			<input type="radio"/> 20			<input type="radio"/> 0			

**Information**

Zusatzpunkte zur Körperhaltung (max.6)	Punkte
Gelegentliche Rumpferdrehung bzw. -seitenneigung erkennbar.	<input checked="" type="checkbox"/> +1
Häufige / ständige Rumpferdrehung bzw. -seitenneigung erkennbar.	<input type="checkbox"/> +3
Lastschwerpunkt bzw. Hände gelegentlich körperfern.	<input type="checkbox"/> +1
Lastschwerpunkt bzw. Hände häufig / ständig körperfern.	<input type="checkbox"/> +3
Arme gelegentlich angehoben, Hände zwischen Ellenbogen- und Schulterhöhe.	<input checked="" type="checkbox"/> +0,5
Arme häufig / ständig angehoben, Hände zwischen Ellenbogen- und Schulterhöhe.	<input type="checkbox"/> +1
Hände gelegentlich über Schulterhöhe.	<input checked="" type="checkbox"/> +1
Hände häufig / ständig über Schulterhöhe.	<input type="checkbox"/> +2

**5. Bestimmung von ungünstigen Ausführungsbedingungen**

**Information**

Ausführungsbedingungen	Wichtung
Es liegen keine ungünstigen Ausführungsbedingungen vor. Gute ergonomische Bedingungen, z.B. ausreichend Platz und Beleuchtung, keine Hindernisse im Arbeitsbereich, ebener rutschfester Boden, gute Griffbedingungen.	<input type="checkbox"/> 0
Hand-/Armstellung oder -bewegung gelegentlich am Ende der Beweglichkeitsbereiche.	<input type="checkbox"/> 1
Hand-/Armstellung oder -bewegung häufig / ständig am Ende der Beweglichkeitsbereiche.	<input type="checkbox"/> 2
Lasten schlecht greifbar / erhöhte Haltekraft nötig / keine gestalteten Griffe / Arbeitshandschuhe.	<input checked="" type="checkbox"/> 1
Lasten kaum greifbar / weich, scharfkantig / keine oder ungeeignete Griffe / Arbeitshandschuhe.	<input type="checkbox"/> 2
Umgebungsbedingungen eingeschränkt durch Belastungen, z.B. Hitze, Zugluft, Kälte usw.	<input type="checkbox"/> 1
Räumliche Bedingungen eingeschränkt durch: kleine Arbeitsfläche, unebener, leicht verschmutzter oder geneigter Boden, leicht eingeschränkte Standsicherheit, Last ist genau zu positionieren.	<input checked="" type="checkbox"/> 1
Räumliche Bedingungen ungünstig durch: stark eingeschränkte Bewegungsfreiheit oder Bewegungsraum hat zu geringe Höhe, Arbeiten auf engem Raum, Boden stark verschmutzt, uneben, grob gepflastert, Schlaglöcher, stärkere Neigung, eingeschränkte Standsicherheit, Last ist sehr genau zu positionieren.	<input type="checkbox"/> 2
Erschwernis beim Halten: Die Last ist zwischen > 5 und 10 Sekunden zu halten.	<input type="checkbox"/> 2
Deutliche Erschwernis beim Halten: Die Last ist > 10 Sekunden zu halten.	<input type="checkbox"/> 5

**6. Bestimmung der Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung**

**Information**

Arbeitsorganisation und zeitliche Verteilung	Wichtung
Gut: Häufiger Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / ohne enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.	<input type="radio"/> 0
Eingeschränkt: Seltener Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / gelegentlich enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.	<input checked="" type="radio"/> 2
Ungünstig: Kein/kaum Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / häufig enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.	<input type="radio"/> 4

**7. Bewertung und Beurteilung des Lagervorgangs**

**Bewertungsergebnis:**

82

**Information:**

50 bis < 100 Punkte: Gestaltungsmaßnahmen empfohlen; individuelle Belastbarkeit beurteilen.

## Kommissioniersysteme

### Bewertung Kommissioniervorgänge

#### Kommissionierverfahren

- Manuelles Kommissionieren
- Mann zur Ware mit Unterstützung
- Ware zum Mann teilautomatisiert
- Automatisiert

#### Information:

Bitte füllen Sie die folgende Tabelle aus, um die mögliche Gesundheitsgefährdung zu bewerten.

#### 1. Bestimmung der Zeitwichtung

#### Information

<input checked="" type="radio"/> Manuelles Kommissionieren						<input type="radio"/> Mann zur Ware Kommissionierung						<input type="radio"/> Ware zum Mann Kommissionierung					
Anzahl der Vorgänge am Arbeitstag		Wichtung	Anzahl der Vorgänge am Arbeitstag		Wichtung	Anzahl der Vorgänge am Arbeitstag		Wichtung	Anzahl der Vorgänge am Arbeitstag		Wichtung						
≤ 20		<input type="radio"/> 1,5	≤ 20		<input type="radio"/> 1,5	≤ 20		<input type="radio"/> 1	21 bis ≤ 50		<input checked="" type="radio"/> 1,5						
21 bis ≤ 50		<input type="radio"/> 2	21 bis ≤ 50		<input type="radio"/> 2	21 bis ≤ 50		<input checked="" type="radio"/> 1,5	51 bis ≤ 100		<input type="radio"/> 2						
51 bis ≤ 100		<input type="radio"/> 2,5	51 bis ≤ 100		<input type="radio"/> 2,5	51 bis ≤ 100		<input type="radio"/> 2,5	101 bis ≤ 300		<input checked="" type="radio"/> 4						
101 bis ≤ 300		<input checked="" type="radio"/> 4	101 bis ≤ 300		<input checked="" type="radio"/> 3	101 bis ≤ 300		<input checked="" type="radio"/> 3	301 bis ≤ 500		<input type="radio"/> 2,5						
301 bis ≤ 500		<input type="radio"/> 5	301 bis ≤ 500		<input type="radio"/> 4	301 bis ≤ 500		<input type="radio"/> 4	501 bis ≤ 1000		<input type="radio"/> 3						
501 bis ≤ 1000		<input type="radio"/> 7	501 bis ≤ 1000		<input type="radio"/> 6	501 bis ≤ 1000		<input type="radio"/> 6	1001 bis ≤ 2000		<input type="radio"/> 4,5						
1001 bis ≤ 2000		<input type="radio"/> 9	1001 bis ≤ 2000		<input type="radio"/> 8	1001 bis ≤ 2000		<input type="radio"/> 8	> 2000		<input type="radio"/> 6						
> 2000		<input type="radio"/> 10	> 2000		<input type="radio"/> 9	> 2000		<input type="radio"/> 9			<input type="radio"/> 7						

#### 2. Bestimmung der Lastwichtung

#### Information

Wirksames Lastgewicht	Wichtung Männer	Wichtung Frauen
< 3 kg	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
3 bis 5 kg	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 6
> 5 bis 10 kg	<input checked="" type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 9
> 10 bis 15 kg	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 12
> 15 bis 20 kg	<input type="radio"/> 11	<input type="radio"/> 25
> 20 bis 25 kg	<input type="radio"/> 15	<input type="radio"/> 75
> 25 bis 30 kg	<input type="radio"/> 25	<input type="radio"/> 85
> 30 bis 35 kg	<input type="radio"/> 35	<input type="radio"/> 100
> 35 bis 40 kg	<input type="radio"/> 75	<input type="radio"/> 100
> 40 kg	<input type="radio"/> 100	<input type="radio"/> 100
Mechanische Unterstützung	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3

Abfrage: Wird die Tätigkeit von Frauen ausgeführt?

Ja  
 Nein

**Hinweis:** Es werden Stückgüter kommissioniert und keine Paletten. Schwere oder sehr große Produkte können mittels Mechanik (z.B. Handhubwagen, Stapler usw.) entnommen werden. In diesem Fall trifft die "Mechanische Unterstützung" zu.

#### 3. Bestimmung der Lastaufnahmebedingungen

#### Information

Lastaufnahmebedingungen	Wichtung
Lastaufnahme ist beidhändig und symmetrisch.	<input type="radio"/> 0
Lastaufnahme ist zeitweilig einhändig und/oder unsymmetrisch, ungleiche Lastverteilung zwischen den Händen.	<input checked="" type="radio"/> 2
Lastaufnahme ist überwiegend einhändig oder instabiler Lastschwerpunkt.	<input type="radio"/> 4
Lastaufnahme wird mittels mechanischer Unterstützung durchgeführt.	<input type="radio"/> 0

#### 4. Bestimmung der Haltungswichtung

#### Information

Start / Ziel	Start / Ziel	Wichtung	Start / Ziel	Start / Ziel	Wichtung	Start / Ziel	Start / Ziel	Wichtung	Start / Ziel	Start / Ziel	Wichtung
		<input type="radio"/> 0			<input type="radio"/> 3			<input checked="" type="radio"/> 5			<input type="radio"/> 7
		<input type="radio"/> 9			<input type="radio"/> 10			<input type="radio"/> 13			<input type="radio"/> 15
		<input type="radio"/> 18			<input type="radio"/> 20			<input type="radio"/> 0			

<b>Zusatzpunkte zur Körperhaltung</b> (max. 6)	<b>Information</b>	<b>Punkte</b>
Gelegentliche Rumpferdrehung bzw. -seiteneigung erkennbar.	<input checked="" type="checkbox"/>	+1
Häufige / ständige Rumpferdrehung bzw. -seiteneigung erkennbar.	<input type="checkbox"/>	+3
Lastschwerpunkt bzw. Hände gelegentlich körperfern.	<input checked="" type="checkbox"/>	+1
Lastschwerpunkt bzw. Hände häufig / ständig körperfern.	<input type="checkbox"/>	+3
Arme gelegentlich angehoben, Hände zwischen Ellenbogen- und Schulterhöhe.	<input checked="" type="checkbox"/>	+0,5
Arme häufig / ständig angehoben, Hände zwischen Ellenbogen- und Schulterhöhe.	<input type="checkbox"/>	+1
Hände gelegentlich über Schulterhöhe.	<input checked="" type="checkbox"/>	+1
Hände häufig / ständig über Schulterhöhe.	<input type="checkbox"/>	+2

**5. Bestimmung von ungünstigen Ausführungsbedingungen**

**Information**

<b>Ausführungsbedingungen</b>	<b>Wichtung</b>
Es liegen keine ungünstigen Ausführungsbedingungen vor. Gute ergonomische Bedingungen, z.B. ausreichend Platz und Beleuchtung, keine Hindernisse im Arbeitsbereich, ebener rutschfester Boden, gute Griffbedingungen.	<input type="checkbox"/> 0
Hand-/Armstellung oder -bewegung gelegentlich am Ende der Beweglichkeitsbereiche.	<input type="checkbox"/> 1
Hand-/Armstellung oder -bewegung häufig / ständig am Ende der Beweglichkeitsbereiche.	<input type="checkbox"/> 2
Lasten schlecht greifbar / erhöhte Haltekräfte nötig / keine gestalteten Griffe / Arbeitshandschuhe.	<input checked="" type="checkbox"/> 1
Lasten kaum greifbar / weich, scharfkantig / keine oder ungeeignete Griffe / Arbeitshandschuhe.	<input type="checkbox"/> 2
Umgebungsbedingungen eingeschränkt durch Belastungen, z.B. Hitze, Zugluft, Kälte usw.	<input type="checkbox"/> 1
Räumliche Bedingungen eingeschränkt durch: kleine Arbeitsfläche, unebener, leicht verschmutzter oder geneigter Boden, leicht eingeschränkte Standsicherheit, Last ist genau zu positionieren.	<input checked="" type="checkbox"/> 1
Räumliche Bedingungen ungünstig durch: stark eingeschränkte Bewegungsfreiheit oder Bewegungsraum hat zu geringe Höhe, Arbeiten auf engem Raum, Boden stark verschmutzt, uneben, grob gepflastert, Schlaglöcher, stärkere Neigung, eingeschränkte Standsicherheit, Last ist sehr genau zu positionieren.	<input type="checkbox"/> 2
Erschwernis beim Halten: Die Last ist zwischen > 5 und 10 Sekunden zu halten.	<input checked="" type="checkbox"/> 2
Deutliche Erschwernis beim Halten: Die Last ist > 10 Sekunden zu halten.	<input type="checkbox"/> 5

**6. Bestimmung der Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung**

**Information**

<b>Arbeitsorganisation und zeitliche Verteilung</b>	<b>Wichtung</b>
Gut: Häufiger Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / ohne enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.	<input type="radio"/> 0
Eingeschränkt: Seltener Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / gelegentlich enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.	<input checked="" type="radio"/> 2
Ungünstig: Kein/kaum Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / häufig enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.	<input type="radio"/> 4

**7. Bewertung und Beurteilung des Kommissioniervorgangs**

**Bewertungsergebnis:**

102

**Information:**

≥ 100 Punkte: Gestaltungsmaßnahmen erforderlich! Körperliche Überlastung wahrscheinlich.

# Transportsysteme

## Bewertung Transportvorgänge

### Transportvorgänge

Manuelles Transportieren  
 Hilfsmittel  
 Mechanisiert Bereich 1  
 Mechanisiert Bereich 2  
 Automatisiert

### Information:

Bitte füllen Sie die folgende Tabelle aus, um die mögliche Gesundheitsgefährdung zu bewerten.

### 1. Bestimmung der Zeitwichtung

#### Information

<input checked="" type="radio"/> Manuelles Transportieren oder Hilfsmittel Gilt für Weglänge		<input type="radio"/> Manuelles Transportieren oder Hilfsmittel Gilt für Zeitdauer		<input type="radio"/> Mechanisiert Bereich 1		<input type="radio"/> Mechanisiert Bereich 2	
Weglänge am Arbeitstag	Wichtung	Dauer am Arbeitstag	Wichtung	Anzahl Vorgänge am Arbeitstag	Wichtung	Anzahl Vorgänge am Arbeitstag	Wichtung
≤ 500 m	<input type="radio"/> 2,5	≤ 10 min	<input type="radio"/> 2	≤ 100	<input type="radio"/> 1,5	≤ 100	<input type="radio"/> 1
501 bis ≤ 1.000 m	<input type="radio"/> 3	11 bis ≤ 30 min	<input type="radio"/> 3	101 bis ≤ 300	<input type="radio"/> 2	101 bis ≤ 300	<input type="radio"/> 1,5
1.001 bis ≤ 2.500 m	<input type="radio"/> 4	31 bis ≤ 60 min	<input type="radio"/> 4	301 bis ≤ 500	<input checked="" type="radio"/> 2,5	301 bis ≤ 500	<input type="radio"/> 2
2.501 bis ≤ 5.000 m	<input checked="" type="radio"/> 5	61 bis ≤ 100 min	<input checked="" type="radio"/> 5	501 bis ≤ 750	<input type="radio"/> 3	501 bis ≤ 750	<input type="radio"/> 2,5
5.001 bis ≤ 8.000 m	<input type="radio"/> 7	101 bis ≤ 150 min	<input type="radio"/> 6	751 bis ≤ 1000	<input type="radio"/> 4	751 bis ≤ 1000	<input type="radio"/> 3
8.001 bis ≤ 10.000m	<input type="radio"/> 8	151 bis ≤ 200 min	<input type="radio"/> 7	> 1000	<input type="radio"/> 5	> 1000	<input checked="" type="radio"/> 3,5
10.001 bis ≤ 15.000 m	<input type="radio"/> 9	201 bis ≤ 360 min	<input type="radio"/> 9				
> 15.000 m	<input type="radio"/> 10	> 360 min	<input type="radio"/> 10				

### 2. Bestimmung der Lastwichtung

#### Information

<input type="radio"/> Manuelles Transportieren		<input type="radio"/> Handkarre		<input checked="" type="radio"/> Wagen ohne Bockrollen		<input type="radio"/> Wagen mit Bockrollen		<input type="radio"/> Mechanisiert Bereich 1		<input type="radio"/> Mechanisiert Bereich 2	
3											
Lastgewicht	Wichtung	Lastgewicht	Wichtung	Wichtung	Wichtung	Lastgewicht	Wichtung	Wichtung	Wichtung	Wichtung	Wichtung
< 3 kg	<input type="radio"/> 8	≤ 50 kg	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 2,5	<input checked="" type="radio"/> 1	≤ 1000 kg	<input checked="" type="radio"/> 0,5	<input checked="" type="radio"/> 0,5			
3 bis 10 kg	<input type="radio"/> 10	> 50 bis 100 kg	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 1	> 1000 bis 1500 kg	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0,5			
> 10 bis 15 kg	<input type="radio"/> 12	> 100 bis 200 kg	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1,5	> 1500 kg	<input type="radio"/> 1,5	<input type="radio"/> 0,5			
> 15 bis 20 kg	<input type="radio"/> 14	> 200 bis 300 kg	<input type="radio"/> 12	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 2						
> 20 bis 25 kg	<input type="radio"/> 16	> 300 bis 400 kg	<input type="radio"/> 50	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 3						
> 25 bis 30 kg	<input type="radio"/> 18	> 400 bis 600 kg	<input type="radio"/> 100	<input type="radio"/> 12	<input type="radio"/> 5						
> 30 bis 35 kg	<input type="radio"/> 30	> 600 bis 800 kg	<input type="radio"/> 100	<input type="radio"/> 50	<input type="radio"/> 8						
> 35 bis 40 kg	<input checked="" type="radio"/> 40	> 800 bis 1000 kg	<input type="radio"/> 100	<input type="radio"/> 100	<input type="radio"/> 11						
> 40 kg	<input type="radio"/> 100	> 1000 bis 1300 kg	<input type="radio"/> 100	<input type="radio"/> 100	<input type="radio"/> 50						
		> 1300 kg	<input checked="" type="radio"/> 100	<input type="radio"/> 100	<input type="radio"/> 100						

### 3. Bestimmung der Beschaffenheit des Weges

#### Information

Beschaffenheit des Weges	Wichtung	Zusatzpunkte	Wichtung
Weg überall eben, glatt, fest, trocken, ohne Neigung.	<input checked="" type="radio"/> 0	Keine Zusatzpunkte	<input checked="" type="radio"/> 0
Weg meist glatt und eben, mit kleineren Schadstellen, ohne Neigung.	<input type="radio"/> 1	Neigungen < 4 %	<input type="radio"/> 1
Verschiedene Bodenbeläge, leichte Neigung (≤ 4 %), kleine Schwellen vorhanden.	<input type="radio"/> 3	Neigungen 4 bis ≤ 8 %	<input type="radio"/> 5
Weg grob gepflastert, verschmutzt, Schlaglöcher, leichte Neigung (≤ 4 %), Schwellen vorhanden.	<input type="radio"/> 6	Neigungen 9 bis ≤ 18 %	<input type="radio"/> 10
		Neigungen > 18%	<input type="radio"/> 25

### 4. Bestimmung der ungünstigen Ausführungsbedingungen

#### Information

<input type="radio"/> Manuelles Transportieren		<input checked="" type="radio"/> Transport mit Hilfsmittel oder Mechanisiert Bereich 1 oder 2	
Ausführungsbedingungen "Manuelles Transportieren"	Wichtung	Ausführungsbedingungen nicht manuell	Wichtung
Hand-/Armstellung oder -bewegung gelegentlich am Ende der Beweglichkeitsbereiche.	<input type="checkbox"/> 1	Regelmäßig stark erhöhte Anfahrkräfte nötig.	<input type="checkbox"/> 3
Hand-/Armstellung oder -bewegung häufig / ständig am Ende der Beweglichkeitsbereiche.	<input type="checkbox"/> 2	Häufige Fahrtunterbrechung mit Abbremsen.	<input checked="" type="checkbox"/> 3
Lasten schlecht greifbar / erhöhte Haltekräfte nötig / keine gestalteten Griffe / Arbeitshandschuhe.	<input type="checkbox"/> 1	Häufige Fahrtunterbrechung ohne Abbremsen.	<input type="checkbox"/> 1
Lasten kaum greifbar / weich, scharfkantig / keine oder ungeeignete Griffe / Arbeitshandschuhe.	<input type="checkbox"/> 2	Viele Richtungswechsel oder Kurven, häufiges Rangieren.	<input type="checkbox"/> 3
Umgebungsbedingungen eingeschränkt durch Belastungen, z.B. Hitze, Zugluft, Kälte usw.	<input type="checkbox"/> 1	Last ist exakt zu positionieren und anzuhalten, Fahrweg ist exakt einzuhalten.	<input checked="" type="checkbox"/> 1
Räumliche Bedingungen eingeschränkt durch: kleine Arbeitsfläche, leicht eingeschränkte Standsicherheit, Last ist genau zu positionieren.	<input type="checkbox"/> 1	Erhöhte Bewegungsgeschwindigkeit ( ca. 1,0 bis 1,3 m/s).	<input type="checkbox"/> 2
Räumliche Bedingungen ungünstig durch: stark eingeschränkte Bewegungsfreiheit oder Bewegungsraum hat zu geringe Höhe, Arbeiten auf engem Raum eingeschränkte Standsicherheit, Last ist sehr genau zu positionieren.	<input type="checkbox"/> 2	Es liegen keine ungünstigen Ausführungsbedingungen vor.	<input type="checkbox"/> 0
Es liegen keine ungünstigen Ausführungsbedingungen vor.	<input type="checkbox"/> 0		

5. Bestimmung der ungünstigen Eigenschaften vom Förderzeug		Information
Ungünstige Fahrzeugeigenschaften	Wichtung	
Keine geeigneten Handgriffe oder Konstruktionsteile für die Krafteinteilung.	<input type="checkbox"/>	2
keine Bremse beim Fahren auf Neigungen > 3%.	<input type="checkbox"/>	3
Unangepasste Rollen.	<input type="checkbox"/>	2
Defekte Rollen.	<input type="checkbox"/>	2
Es liegen keine ungünstigen Eigenschaften der Förderzeuge vor.	<input checked="" type="checkbox"/>	0

6. Bestimmung der Haltungswichtung		Information		
<input type="radio"/> Manuelles transportieren <input checked="" type="radio"/> Transport mit Hilfsmittel oder Mechanisiert Bereich 1 oder 2				
Körperhaltung bei Stufe "Manuelles Transportieren"		Wichtung		
Lastschwerpunkt		≤ 15 kg	> 15 - 30 kg	> 30 kg
Last < 3 kg oder Last körpermah im Tragegestell.		<input checked="" type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 0
Last körpermah, mit den Händen gehalten oder auf einer Schulter getragen.		<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 12
Last ist körperfem, mit den Händen gehalten.		<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 12	<input type="radio"/> 16
Rumpfhaltung		≤ 15 kg	> 15 - 30 kg	> 30 kg
Keine negative Rumpfhaltung.		<input checked="" type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 0
Rumpf gelegentlich deutlich vorgeneigt und/oder Rumpfdrehung bzw. -seitenneigung erkennbar.		<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 6
Rumpf häufig bis ständig deutlich vorgeneigt und/oder Rumpfdrehung bzw. -seitenneigung erkennbar.		<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 8

Körperhaltung bei Stufe "Hilfsmittel" oder "Mechanisiert Bereich 1" oder "Mechanisiert Bereich 2"	Wichtung
Rumpf aufrecht oder leicht vorgeneigt, keine Verdrehung, Kraftangriffshöhe frei wählbar, keine Behinderung im Beinraum.	<input type="radio"/> 3
Neigung des Körpers in Bewegungsrichtung oder leichte Verdrehung, einseitiges Ziehen, feste Kraftangriffshöhe im Bereich von 0,9 - 1,2 m, keine oder geringfügige Behinderung im Beinraum, überwiegend Ziehen.	<input checked="" type="radio"/> 5
Erzwungene Körperhaltungen durch: feste Kraftangriffshöhe < 0,9 oder > 1,2 m, einseitig seitlichen Kraftangriff, erhebliche Sichtbehinderungen, erhebliche Behinderungen im Beinraum, häufige / ständige Rumpfdrehung bzw. -seitenneigung erkennbar.	<input type="radio"/> 8

7. Bestimmung der Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung		Information
Arbeitsorganisation und zeitliche Verteilung		Wichtung
Gut: Häufiger Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / ohne enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.		<input checked="" type="radio"/> 0
Eingeschränkt: Seltener Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / gelegentlich enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.		<input type="radio"/> 2
Ungünstig: Kein/kaum Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / häufig enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.		<input type="radio"/> 4

**8. Bewertung und Beurteilung des Transportvorgangs**

**Abfrage:** Wird die Tätigkeit von Frauen ausgeführt?

Ja  
 Nein

**Bewertungsergebnis:**  
74,75

**Information:**  
 50 bis < 100 Punkte: Gestaltungsmaßnahmen empfohlen; individuelle Belastbarkeit beurteilen.

## Anhang 2: Leistungsklassen LKT-Systeme

Lagersysteme	Variante	Leistungskennzahlen				Produktportfolio
		Ein-/Auslagerungen je Stunde	Lagerauslastungsgrad (%)	Raumnutzungsgrad (%)		
Blocklager	Manuelle Ein-/Auslagerung	35-45	75 - 85	70	KL.T, Karton, Kiste, Kästen	
Blocklager	Einsatz Stapler/Kran	17-20	75 - 85	70-75	KL.T, Karton, Kiste, Kästen, Paletten	
Reihenlager	Manuelle Ein-/Auslagerung	35-45	75 - 85	65	KL.T, Karton, Kiste, Kästen	
Reihenlager	Einsatz Stapler/Kran	17-20	75 - 85	65-70	KL.T, Karton, Kiste, Kästen, Paletten	
Fachbodenregal	Manuelle Ein-/Auslagerung	70	70	45-50	KL.T, Karton, Stückgut	
Waben/Kassettenregal	Manuelle Ein-/Auslagerung	20	70	70	Langgut	
Waben/Kassettenregal	Einsatz Stapler/Kran	10-15	70	70-75	Langgut	
Waben/Kassettenregal	Automatisch	20-25	70	70-75	Langgut	
Verschieberegale	Manuelle Ein-/Auslagerung	30-40	70-80	80	Karton, Stückgut	
Verschieberegale	Einsatz Stapler/Kran	20-25	70-80	80	Paletten	
Durchlaufregal	Manuelle Ein-/Auslagerung	40-50	60-65	85-90	KL.T, Karton, Kiste, Kästen	
Durchlaufregal	Einsatz Stapler/Kran	30-40	60-65	85-90	Paletten	
Palettenregal	Einsatz Stapler/Kran	17-20	70-80	45-50	Paletten	
Palettenregal	Automatisch	30-50	70-80	45-50	Paletten	
Einfahrregal	Einsatz Stapler/Kran	35-45	65	85-90	Paletten	
Durchfahrregal	Einsatz Stapler/Kran	40-50	65	70-75	Paletten	
Kragarmregal	Einsatz Stapler/Kran	12-15	70-80	35-40	Langgut	
Einschubregal	Einsatz Stapler/Kran	30-35	60-65	85-90	Paletten	
Hochregallager	Einsatz Stapler/Kran	17-20	70-80	55-60	Paletten	
Hochregallager	Automatisch	30-50	70-80	55-60	Paletten	
Umlaufregal	Halbautomatisch	55-65	70-80	5-10	KL.T, Karton, Kästen, Stückgut	
Paternosterregal	Halbautomatisch	55-65	70-80	5-10	KL.T, Karton, Kästen, Stückgut	
Autom. Kleinteilelager	Automatisch	200	95	70-75	KL.T, Kästen, Tablaren	
Turmregal	Automatisch	70-80	70-80	5-10	Tablaren	

Kommissioniersysteme		Leistungskennzahlen				
Variante	Picks pro Stunde	Fehlerquote (%)	Verfügbarkeit (%)	Produktportfolio		
Pick-by-Paper	Mann zur Ware	30	1 - 3	99,9	klein, leicht, gleichförmig	
Pick-by-Scan	Mann zur Ware	200	0,5 - 0,7	95-99	klein, leicht, gleichförmig	
Pick-by-Scan	Ware zum Mann	250	0,5 - 0,7	95-99	klein, leicht, gleichförmig	
Pick-by-Voice	Mann zur Ware	300	0,2 - 0,02	95-99	klein, groß, leicht, schwer, gleichförmig, unförmig	
Pick-by-Vision	Mann zur Ware	250	0,3 - 0,1	80-90	klein, groß, leicht, schwer, gleichförmig, unförmig	
Pick-by-RFID	Mann zur Ware	270	0,2 - 0,4	95-98	klein, groß, leicht, schwer, gleichförmig, unförmig	
Pick-by-RFID	Ware zum Mann	370	0,2 - 0,4	95-98	klein, groß, leicht, schwer, gleichförmig, unförmig	
Pick-by-Light	Mann zur Ware	250	0,3 - 0,5	85-95	klein, leicht, gleichförmig, unförmig	
Pick-by-Light	Ware zum Mann	350	0,3 - 0,5	85-95	klein, leicht, gleichförmig, unförmig	
Pick-by-Balance	Mann zur Ware	270	0,2 - 0,4	85-95	klein, groß, leicht, schwer, gleichförmig, unförmig	
Pick-by-Balance	Ware zum Mann	370	0,2 - 0,4	85-95	klein, groß, leicht, schwer, gleichförmig, unförmig	
Roboter stationär	-	700	0,01	95-99	klein, leicht, gleichförmig	
Roboter instationär	-	250	0,01	85-95	klein, groß, leicht, schwer, gleichförmig	
Automat	-	1200	0,01	95-99	klein, leicht, gleichförmig	

Transportsysteme		Leistungskennzahlen			
	Variante	Transporte je Stunde	Auslastungsgrad (%)	Eilaufträge (Ja/Nein)	Produktportfolio
<b>Manuelles Tragen</b>	Geschwindigkeit 1 m/s	10-20	Keine Beurteilung	ja	KLT, Karton, Kiste, Kästen, Stückgut (Bedingung: Klein, leicht, schwer, gleichförmig, unförmig)
<b>Handwagen</b>	Mit Bockrollen	15-20	60-65	Ja	KLT, Karton, Kiste, Kästen, Stückgut
<b>Handwagen</b>	Ohne Bockrollen	18-22	60-65	Ja	KLT, Karton, Kiste, Kästen, Stückgut
<b>Handgabelhub</b>	-	18-22	60-65	Ja	Paletten
<b>Handkarren</b>	-	18-22	60-65	Ja	KLT, Karton, Kiste, Kästen
<b>Elektrogabelhub</b>	Mitgeh-Variante	20-30	60-65	Ja	Paletten
<b>Elektrogabelhub</b>	Mitfahr-Variante	30-40	60-65	Ja	Paletten
<b>Schlepper</b>	-	15	60-70	Nein	KLT, Karton, Kiste, Kästen, Stückgut, Paletten
<b>Kommissionierstapler</b>	-	23-26	65-70	Ja	Paletten
<b>Hochregalstapler</b>	-	23-26	65-70	Ja	Paletten
<b>Gabelstapler</b>	-	30-40	60-65	Ja	Paletten
<b>Stapelkran</b>	Steuerung Knöpfe + mitgehen	7-12	60-65	Nein	Kiste, Kästen, Palette, Langgut
<b>Stapelkran</b>	Steuerung aus Kabine	10-15	60-65	Nein	Kiste, Kästen, Palette, Langgut
<b>Stapelkran</b>	Steuerung automatisch	15-20	60-65	Nein	Kiste, Kästen, Palette, Langgut
<b>Kran (Brücken-, Hänge-)</b>	Funksteuerung, manuelles befestigen	5-10	45-55	Nein	Stückgut, Langgut
<b>Kran (Brücken-, Hänge-)</b>	Bedienpult, selbständiges greifen	10-15	50-55	Nein	Stückgut, Langgut
<b>Regalbediengerät</b>	Manuelle Bedienung	40-45	80-85	Ja	KLT, Kiste, Kästen, Paletten, Tabliaren
<b>Regalbediengerät</b>	Automatisiert	70-75	95	Ja	KLT, Kiste, Kästen, Paletten, Tabliaren
<b>Gleiswagen</b>	-	15-20	60-65	Nein	Stückgut
<b>Bandförderer</b>	-	12-60	20-60	Nein	KLT, Karton, Kiste, Kästen, Stückgut
<b>Kreisförderer</b>	-	30-75	30-80	Nein	Stückgut
<b>Rollenförderer mit Antrieb</b>	-	20-120	100	Nein	KLT, Karton, Kiste, Kästen, Palette
<b>Power &amp; Free Förderer</b>	-	20-150	30-80	Nein	Stückgut, Paletten
<b>FTS</b>	-	15-20	80-90	Nein	KLT, Karton, Kiste, Kästen, Palette
<b>Elektrohängebahn</b>	-	20-75	30-80	Nein	Stückgut, Paletten
<b>Shuttlesysteme</b>	-	60-70	70-75	Ja	KLT, Karton, Kiste, Kästen, Palette

### Anhang 3: Einordnung Lager- und Kommissioniersysteme nach ihrem Mechanisierungsgrad

0 – Manuelle Ein-/Auslagerung	1 – Verwendung Stapler / Kran	2 – Halbautomatisch	3 – Automatisiert
Blocklager	Blocklager	Umlaufregal	Waben/Kassettenregal
Reihenlager	Reihenlager	Paternosterregal	Palettenregal
Fachbodenregal	Waben/Kassettenregal		Hochregallager
Waben/Kassettenregal	Verschieberegale		Automatisches Kleinteilelager
Verschieberegale	Durchlaufregal		Turmregal
Durchlaufregal	Palettenregal		
	Einfahrregal		
	Durchfahrregal		
	Kragarmregal		
	Einschubregal		
	Hochregallager		

0 – Manuelles kommissionieren	1 – Mann zur Ware mit Unterstützung	2 – Ware zum Mann halbautomatisch	3 – Automatisiert
Pick-by-Paper	Pick-by-Scan	Pick-by-Scan	Roboter stationär
	Pick-by-Voice	Pick-by-RFID	Roboter instationär
	Pick-by-Vision	Pick-by-Light	Automat
	Pick-by-RFID	Pick-by-Balance	
	Pick-by-Light		
	Pick-by-Balance		

## Anhang 4a: Einfluss Rezeptoren

### Transportsystem

Subsysteme	Elemente		Ausprägungen	Rezeptoren						
				P	Sz	Z	K	Q	Se	
Transport- technik	Stetig- förderer	mechanisch		flurgebunden						
				flurfrei						
				stationär						
		Schwerkraftförderer		ohne Antrieb						
	Strömungsförderer		pneumatisch/hydraul.							
	Unstetig- förderer	flur- gebunden	gleisfrei	manuell						
				mechanisiert						
			gleisgebun- den		automatisiert					
					mechanisiert					
		flurfrei	den		automatisiert					
					mechanisiert					
		stationär		mechanisiert						
Transport- einheit		Transportmittel		Paletten						
	Behälter									
	Forminstabile Hilfsmittel									
	Transportgut		Stückgut							
			Schüttgut							
			Flüssigkeit							
			Gas							
Transport- organisation	Transportablauf		innerbetrieblich							
			außerbetrieblich							
	Transportsteuerung		mitfahrend							
			stationär							
			zugeordnete Gruppenst.							
			übergeordnete Zentralsteuerung							

In welchem Maße wirken sich die Rezeptoren Produkt (P), Stückzahl (Sz), Zeit (Z), Kosten (K), Qualität (Q) und

0 - kein Einfluss

1 - indirekter Einfluss

2 - direkter Einfluss

### Kommissioniersystem

Subsysteme	Elemente		Ausprägungen	Rezeptoren					
				P	Sz	Z	K	Q	Se
Materialflusssystem	Bereitstellen	Dynamik	statisch						
			dynamisch						
		Automatisierungsgrad	manuell						
			mechanisiert						
	Fortbewegen	Dimension	eindimensional						
			zweidimensional						
		Automatisierungsgrad	manuell						
			mechanisiert						
	Entnehmen	automatisch							
		manuell							
		mechanisiert							
	Abgeben	zentral							
		dezentral							
	Abwickeln	artikelweise							
auftragsweise									
Sammeln	nacheinander								
	gleichzeitig								
Kommissionierstrategie	Zonenbildung	einzonig							
		mehrzonig							
		ABC-Zonung							
	Lagerplatzvergabe	fest							
		frei							
	Räumliche Anordnung	Stichgänge							
offene Gänge									
Ebene									
Informationssystem	Picklisten	Papierkommissionieren							
		mobile Datenerfassung							
	Belegloses Kommissionieren	Pick-by-Light							
		Pick-by-Voice							
		Pick-by-Balance							

In welchem Maße wirken sich die Rezeptoren Produkt (P), Stückzahl (Sz), Zeit (Z), Kosten (K), Qualität

- 0 - kein Einfluss
- 1 - indirekter Einfluss
- 2 - direkter Einfluss

## Anhang 4b: Relevanz Wandlungsbefähiger

### Transportsystem

Subsysteme	Elemente		Ausprägungen	Wandlungsbefähiger					
				K	Mb	S	U	Md	
Transport- technik	Stetig- förderer	mechanisch		flurgebunden					
				flurfrei					
				stationär					
		Schwerkraftförderer		ohne Antrieb					
	Strömungsförderer		pneumatisch/hydraul.						
	Unstetig- förderer	flur- gebunden	gleisfrei		manuell				
					mechanisiert				
					automatisiert				
			gleisgebun- den		mechanisiert				
		automatisiert							
		mechanisiert							
		automatisiert							
flurfrei		stationär		mechanisiert					
	mechanisiert								
Transport- einheit	Transportmittel		Paletten						
			Behälter						
			Forminstabile Hilfsmittel						
	Transportgut		Stückgut						
			Schüttgut						
			Flüssigkeit						
Gas									
Transport- organisation	Transportablauf		innerbetrieblich						
			außerbetrieblich						
	Transportsteuerung		mitfahrend						
			stationär						
			zugeordnete Gruppenst.						
			übergeordnete Zentralsteuerung						

Bitte bewerten Sie die Relevanz der Wandlungsbefähiger Kompatibilität (K), Mobilität (Mb), Skalierbarkeit (S),

- 0 - gar nicht relevant
- 1 - eher nicht relevant
- 2 - teils teils
- 3 - relevant
- 4 - sehr relevant

### Kommissioniersystem

Subsysteme	Elemente		Ausprägungen	Wandlungsbefähiger				
				K	Mb	S	U	Md
Materialflusssystem	Bereitstellen	Dynamik	statisch					
			dynamisch					
		Automatisierungsgrad	manuell					
			mechanisiert					
	Fortbewegen	Dimension	eindimensional					
			zweidimensional					
		Automatisierungsgrad	manuell					
	mechanisiert							
	automatisch							
	Entnehmen		manuell					
			mechanisiert					
			automatisch					
	Abgeben		zentral					
			dezentral					
	Abwickeln		artikelweise					
			auftragsweise					
Sammeln		nacheinander						
		gleichzeitig						
Kommissionierstrategie	Zonenbildung		einzonig					
			mehrzonig					
			ABC-Zonung					
	Lagerplatzvergabe		fest					
			frei					
	Räumliche Anordnung		Stichgänge					
			offene Gänge					
Ebene								
Informationssystem	Picklisten		Papierkommissionieren					
			mobile Datenerfassung					
	Belegloses Kommissionieren		Pick-by-Light					
			Pick-by-Voice					
			Pick-by-Balance					

Bitte bewerten Sie die Relevanz der Wandlungsbefähiger Kompatibilität (K), Mobilität (Mb),

- 0 - gar nicht relevant
- 1 - eher nicht relevant
- 2 - teils teils
- 3 - relevant
- 4 - sehr relevant

## Anhang 4c: Wandlungsfähigkeit der Elemente

### Transportsystem

Subsysteme	Elemente		Ausprägungen	Wandlungsbefähiger						
				K	Mb	S	U	Md		
Transport-technik	Stetig-förderer	mechanisch		flurgebunden						
				flurfrei						
				stationär						
		Schwerkraftförderer		ohne Antrieb						
	Strömungsförderer		pneumatisch/hydraul.							
	Unstetig-förderer	flur-gebunden	gleisfrei		manuell					
					mechanisiert					
			gleisgebunden		automatisiert					
					mechanisiert					
		flurfrei	gleisgebunden		automatisiert					
					mechanisiert					
		stationär		mechanisiert						
Transport-einheit		Transportmittel		Paletten						
	Behälter									
	Forminstabile Hilfsmittel									
	Transportgut		Stückgut							
			Schüttgut							
			Flüssigkeit							
Gas										
Transport-organisation	Transportablauf		innerbetrieblich							
			außerbetrieblich							
	Transportsteuerung		mitfahrend							
			stationär							
			zugeordnete Gruppenst.							
			übergeordnete Zentralsteuerung							

Wie wandlungsfähig ist die Ausprägungen der Subsystemelemente?

- 0 - gar nicht wandlungsfähig
- 1 - eher nicht wandlungsfähig
- 2 - teils teils
- 3 - wandlungsfähig
- 4 - sehr wandlungsfähig

**Kommissioniersystem**

Subsysteme	Elemente		Ausprägungen	Wandlungsbefähiger				
				K	Mb	S	U	Md
Materialflusssystem	Bereitstellen	Dynamik	statisch					
			dynamisch					
		Automatisierungsgrad	manuell					
			mechanisiert					
	Fortbewegen	Dimension	eindimensional					
			zweidimensional					
		Automatisierungsgrad	manuell					
	mechanisiert							
	automatisch							
	Entnehmen		manuell					
			mechanisiert					
			automatisch					
	Abgeben		zentral					
			dezentral					
	Abwickeln		artikelweise					
			auftragsweise					
Sammeln		nacheinander						
		gleichzeitig						
Kommissionierstrategie	Zonenbildung		einzonig					
			mehrzonig					
			ABC-Zonung					
	Lagerplatzvergabe		fest					
			frei					
	Räumliche Anordnung		Stichgänge					
			offene Gänge					
Ebene								
Informationssystem	Picklisten		Papierkommissionieren					
			mobile Datenerfassung					
	Belegloses Kommissionieren		Pick-by-Light					
			Pick-by-Voice					
			Pick-by-Balance					

Wie wandlungsfähig ist die Ausprägungen der Subsystemelemente?

- 0 - gar nicht wandlungsfähig
- 1 - eher nicht wandlungsfähig
- 2 - teils teils
- 3 - wandlungsfähig
- 4 - sehr wandlungsfähig

## Anhang 5: Bewertung der Wandlungsfähigkeit: Lager- und Kommissioniersysteme

	Universalität	Mobilität	Skalierbarkeit	Modularität	Kompatibilität	Objektspez. Wandlungspot.
Blocklager manuelle Ein- bzw. Auslieferung	0,35	0,8125	0,75	0	0,75	1
Blocklager Stapler/Kran Ein- bzw. Auslieferung	0,75	0,9375	0,75	0	0,6875	1
Reihenlager manuelle Ein- bzw. Auslieferung	0,35	0,8125	0,75	0,25	0,78125	1
Reihenlager Stapler/Kran Ein- bzw. Auslieferung	0,8	0,9375	0,75	0,25	0,71875	1
Fachbodenregal	0,6	0,4375	0,75	0,5	0,875	1
Kragarmregal manuelle Ein- bzw. Auslieferung	0,6	0,4375	0,75	0,5	0,8125	1
Kragarmregal Stapler/Kran Ein- bzw. Auslieferung	0,75	0,4375	0,75	0,5	0,84375	1
Kragarmregal automatische Ein- bzw. Auslieferung	0,8	0,4375	0,75	0,5	0,90625	0,75
Waben-/ Kassettenregal	0,65	0,4375	0,5	0,5	0,84375	1
Verschieberegale manuelle Ein- bzw. Auslieferung	0,55	0,3125	0,25	0,75	0,6875	0,75
Verschieberegale Stapler/Kran Ein- bzw. Auslieferung	0,75	0,4375	0,25	0,75	0,6875	0,75
Palettenregal Stapler/Kran Ein- bzw. Auslieferung	0,9	0,5	0,75	0,75	0,9375	1
Palettenregal automatische Ein- bzw. Auslieferung	0,95	0,5	0,75	0,75	0,84375	0,75
Einfahrregal	0,65	0,375	0,5	0,5	0,9375	1
Durchlauf-/Einschubregal	0,65	0,375	0,5	0,5	0,9375	1
Hochregallager Stapler/Kran Ein- bzw. Auslieferung	0,85	0,4375	0,75	0,5	0,875	0,75
Hochregallager automatische Ein- bzw. Auslieferung	0,9	0,4375	0,75	0,5	0,75	0,5
Umlauflager/ Paternoster	0,8	0,25	0,25	0,75	0,78125	0,5
Automatisches Kleinteilelager	0,65	0,0625	0,25	1	0,8125	0,5
Turmregal	0,65	0,3125	0,5	0,5	0,71875	0,75

	Universalität	Mobilität	Skalierbarkeit	Modularität	Kompatibilität	Objektspez. Wandlungspot.
Pick-by-Paper	0,6	1	1	0	0,75	1
Pick-by-Scan WzM	0,75	1	1	0,75	0,9375	0,75
Pick-by-Scan MzW	0,7	1	1	0,75	0,9375	0,75
Pick-by-Voice	0,6	1	0,75	0,75	0,875	0,5
Pick-by-Vision	0,6	1	0,75	0,75	0,84375	0,5
Pick-by-RFID MzW	0,8	1	1	1	0,9375	0,75
Pick-by-Light WzM	0,6	0,625	0,75	1	0,875	0,5
Pick-by-Light MzW	0,55	0,625	0,75	1	0,875	0,5
Pick-by-Balance WzM	0,65	0,625	0,75	1	0,875	0,5
Pick-by-Balance MzW	0,6	0,625	0,75	1	0,875	0,5
Roboter stationär	0,75	0,25	0,25	0,75	0,71875	0,5
Roboter instationär	0,7	0,375	0,5	0,75	0,71875	0,25
Automat	0,55	0,5	0,25	0,75	0,6875	0,5

## Anhang 6: Wandlungstreiberkatalog

Treibercluster	Treiber	Frage	Treiberdefinition	Dimensionen	Wertung
<b>Gesetzgeber und Verbände</b>	Neue/veränderte arbeitsrechtliche Bestimmungen	Gab es in der Vergangenheit neue/veränderte arbeitsrechtliche Bestimmungen?	Arbeitsrechtliche Bestimmungen sind vom Staat festgelegte Gesetze, die alle Fragen des Arbeitsverhältnisses zwischen Arbeitsgebern und Arbeitnehmern regeln	1. Kamen nicht vor	0%
				2. Kamen selten vor	50%
				3. Kamen häufiger vor	100%
<b>Lieferanten</b>	Langfristige Lieferengpässe/-ausfälle	Ist Ihr Unternehmen von langfristigen Lieferengpässen oder -ausfällen betroffen?	Langfristige Lieferengpässe/-ausfälle sind Situationen, in denen ein oder mehrere Zulieferer die vereinbarten Mengen an Rohstoffen oder Zwischenprodukten nicht oder nur beschränkt bereitstellen können	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist selten der Fall	50%
				3. Ist häufig der Fall	100%
	Veränderte Bestellmengen	Kommt es in Ihrem Unternehmen zu veränderten Bestellmengen durch den Lieferanten?	Die Bestellmenge beschreibt die Anzahl der Teile, die in einer Bestellung vom Abnehmer definiert oder vom Lieferanten festgelegt und dementsprechend geliefert wird	1. Kommt nicht vor	0%
				2. Kommt selten vor	50%
				3. Kommt häufig vor	100%
	Veränderte Liefertreue	Ist Ihr Unternehmen von einer immer wiederkehrenden veränderten Liefertreue betroffen?	Die Liefertreue beschreibt "in welchem Maße bei der Auftragserteilung zugesagten Termine realisiert werden können"	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist gelegentlicher Fall	50%
				3. Ist häufiger der Fall	100%
	Veränderte Lieferzeit vom Lieferanten	Hat Ihr Unternehmen Schwierigkeiten mit sich veränderten Lieferzeiten vom Lieferanten?	Als Lieferzeit vom Lieferanten wird die Zeit vom Auftragseingang beim Lieferanten bis zur Lieferung des Produkts an den Besteller verstanden	1. Ist nicht der Fall	0%
2. Ist gelegentlich der Fall				50%	
3. Ist häufiger der Fall				100%	
Veränderte Teileigenschaften	Kommt es auf Grund Ihres Lieferanten zu grundlegenden Veränderungen der Teileigenschaften?	Teileigenschaften beschreiben die Gestalt, die Zusammensetzung und die Umweltbeziehungen eines Teils	1. Kommt nicht vor	0%	
			2. Kommt gelegentlich vor	50%	
			3. Kommt häufig vor	100%	
<b>Wettbewerber</b>	Auftreten/Wegfall von Konkurrenten	Kommt es von der Seite Ihres zugehörigen Marktes aus zu Auftreten/Wegfall von Konkurrenten?	Auftreten oder Wegfall von Konkurrenten bedeutet, dass andere Unternehmen, die ähnliche oder die gleichen Produkte anbieten, in den eigenen Markt eintreten oder diesen verlassen	1. Kommt nicht vor	0%
				2. Kommt gelegentlich vor	50%
				3. Kommt häufig vor	100%
	Neue Produkte von Konkurrenten	Hat Ihr Unternehmen Probleme mit neuen Produkten von Konkurrenten?	Produkte von Konkurrenten sind Leistungen, die diese am Markt anbieten	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist gelegentlich der Fall	50%
				3. Ist häufiger der Fall	100%
Neue/Veränderte Beziehungen bzw. Zusammenschlüsse von Konkurrenten	Kam es in der Vergangenheit häufig zu neuen/veränderten Beziehungen oder Zusammenschlüssen von Konkurrenten?	Beziehungen bzw. Zusammenschlüsse von Konkurrenten ist die vereinbarte Zusammenarbeit von Unternehmen oder deren Zusammenführung in einem Unternehmen	1. Ist nicht der Fall	0%	
			2. Ist gelegentlich der Fall	50%	
			3. Ist häufiger der Fall	100%	

<b>Unternehmen und Netzwerk</b>	Änderung der Produktionsziele	Werden in Ihrem Unternehmen Änderungen der Produktionsziele vorgenommen?	Zu den Produktionszielen gehören die Dimensionen, Kosten, Zeit und Qualität	1. Kommt nicht vor	0%
				2. Kommt gelegentlich vor	50%
				3. Kommt häufig vor	100%
	Änderung der Make-or-Buy-Strategie	Verändern Sie in Ihrem Unternehmen regelmäßig die Make-or-Buy-Strategie?	Die Make-or-Buy-Strategie bestimmt die Fertigungstiefe eines Unternehmens und damit den Umfang an Eigenerzeugnissen und Fremdbezug von Produktteilen bzw. Vorprodukten	1. Kommt nicht vor	0%
				2. Kommt gelegentlich vor	50%
				3. Kommt häufig vor	100%
	Neue/Veränderte Partnerschaften	Arbeiten sie bei der Entwicklung von neuen Produkten oder Dienstleistungen mit externen Partnern zusammen?	Als Partnerschaft werden eigene Kooperationen und die Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen, bspw. Zur Durchführung des gemeinsamen Wertschöpfungsprozesses, bezeichnet	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist gelegentlich der Fall	50%
				3. Ist häufig/immer der Fall	100%
	Interne Produktinnovationen	Nimmt Ihr Unternehmen eigene Interne Produktinnovationen vor?	Produktinnovationen sind Produktneuentwicklungen oder Produktanpassungen	1. Kommt nicht vor	0%
				2. Kommt gelegentlich vor	50%
				3. Kommt häufig vor	100%
	Saisonale Schwankungen	Hat Ihr Unternehmen Probleme mit Saisonalen Schwankungen?	Saisonale Schwankungen beziehen sich bspw. auf Absatz- oder Umsatzen eines Unternehmens, die auf zeitbedingte Einflüsse zurückzuführen sind	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist gelegentlich der Fall	50%
				3. Ist häufig der Fall	100%
	Anpassung der Unternehmenskultur/-strategie	Nimmt Ihr Unternehmen Veränderungen der Unternehmenskultur vor?	Die Anpassung der Unternehmenskultur beschreibt die Risikobereitschaft von Unternehmen, im Hinblick auf den Einsatz neuer Technologien, um Wettbewerbsnachteile durch eine zögerliche Vorgehensweise zu vermeiden	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist teilweise der Fall	50%
				3. Ist häufig der Fall	100%
<b>Globalisierung</b>	Neue/Veränderte Anforderungen an die Produkteigenschaften	Kommt es von der Seite Ihrer Kunden aus zu neuen oder veränderten Anforderung an die Produkteigenschaften?	Produkteigenschaften beschreiben die Gestalt, die Zusammensetzung und die Umweltbeziehungen eines Produkts	1. Kommt nicht vor	0%
				2. Kommt gelegentlich vor	50%
				3. Kommt häufig vor	100%
	Veränderte Bestellmengen	Kommt es von der Seite Ihrer Kunden aus zu veränderten Bestellmengen?	Die Bestellmenge beschreibt die Anzahl der Teile, die in einer Bestellung vom Abnehmer definiert oder vom Lieferanten festgelegt und dementsprechend geliefert wird	1. Kommt nicht vor	0%
				2. Kommt gelegentlich vor	50%
				3. Kommt häufig vor	100%
	Veränderte Marktpreise	Kommt es von der Seite Ihres zugehörigen Marktes aus zu veränderten Marktpreisen?	Der Marktpreis ist der Preis, der für ein Produkt am Markt erzielt werden kann	1. Kommt nicht vor	0%
				2. Kommt gelegentlich vor	50%
				3. Kommt häufig vor	100%
<b>Digitalisierung</b>	Neue/Veränderte Benutzung/Einführung von Assistenzsystemen	Hat Ihr Unternehmen bisher neue Assistenzsysteme eingeführt oder an bereits bestehenden Veränderungen vorgenommen?	Assistenzsysteme umfassen alle Arten von Informationen, die einen Benutzer beim Gebrauch eines Produkts unterstützen	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist teilweise der Fall	50%
				3. Ist häufig der Fall	100%
	Veränderung des internen Dokumentenmanagements	Nimmt Ihr Unternehmen Veränderungen am internen Dokumentenmanagement vor?	Veränderung des internen Dokumentenmanagements beschreibt den Wandel von einer Papierflut zu einem digitalen Verwaltungssystem	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist teilweise der Fall	50%
			3. Ist häufig der Fall	100%	
	Neuer/Veränderter Einsatz von finanziellen Mitteln	Sind in ihrer Investitionsplanung finanzielle Mittel für Digitalisierungslösungen vorgesehen?	Als finanzielle Mittel bezeichnet man alle Bestände an Bargeld, Guthaben auf Girokonten, sowie die Bestände anderer liquider Mittel (z.B. Schecks), die zur Finanzierung dienen	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist teilweise der Fall	50%
				3. Ist häufig der Fall	100%
	Neue/Veränderte Regelungen für den Einsatz digitaler Technologien	Gibt es für den Einsatz digitaler Technologien neue/veränderte Regelungen in Ihrem Unternehmen?	Unter Regelungen werden gesetzliche und nichtgesetzliche Regelungen verstanden. Bei gesetzlichen Regelungen ist das Unternehmen verpflichtet, sich an Gesetze und Richtlinien zu halten	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist teilweise der Fall	50%
				3. Ist häufig der Fall	100%
	Verfügbares Wissen über digitale Dienste und Lösungen	Denken Sie, dass Ihr Wissen bezüglich der am Markt verfügbaren digitalen Dienste und Lösungen der Aktualität entspricht?	Digitale Dienste und Lösungen sind das Produkt von verschiedenen am Markt verfügbaren Anbietern/Dienstleistern, die es sich zur Aufgabe machen Ihre Dienste und die dazugehörige Lösung an den Mann zu bringen	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist teilweise der Fall	50%
				3. Ist häufig der Fall	100%

<b>Mitarbeiter</b>	Veränderung der Altersstruktur der Mitarbeiter	Hat sich die Altersstruktur Ihrer Mitarbeiter im Unternehmen verändert?	Die Altersstruktur eines Unternehmens beschreibt das Auftreten der verschiedenen Altersgruppen im Unternehmen	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist teilweise der Fall	50%
				3. Ist häufig der Fall	100%
	Entwicklung/Veränderung der Fachkräfteverfügbarkeit	Hat es eine Veränderung oder eine Entwicklung der Fachkräfteverfügbarkeit in Bezug auf Ihr Unternehmen gegeben?	Die Entwicklung der Fachkräfteverfügbarkeit beschreibt das im Zeitverlauf vorhandene Angebot an Fachkräften für alle Positionen im Unternehmen am Arbeitsmarkt	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist teilweise der Fall	50%
				3. Ist häufig der Fall	100%
	Wachsender Anteil an Beschäftigten mit Migrationshintergrund	Hat Ihr Unternehmen einen Zuwachs an Beschäftigten mit Migrationshintergrund?	Das soziale Merkmal Migrationshintergrund beschreibt Personen, die selbst oder deren Vorfahren aus einem anderen Staat eingewandert sind	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist teilweise der Fall	50%
			3. Ist häufig der Fall	100%	
Neue/Veränderte Bereitschaft der Mitarbeiter	Wird sich die Bereitschaft Ihrer Mitarbeiter in Bezug auf die Nutzung neuer Technologien am Arbeitsplatz verändern?	Unter Bereitschaft der Mitarbeiter versteht man, wie Anpassungsfähigkeit die Mitarbeiter in Bezug auf neue Technologien sind und wie und ob sich die Arbeitsmoral dahingegen verändert	1. Ist nicht der Fall	0%	
			2. Ist teilweise der Fall	50%	
			3. Ist häufig der Fall	100%	
Durchführung von Mitarbeiterschulungen	Schulen sie ihre Mitarbeiter im Umgang mit digitalen Technologien?	Unter einer Schulung sind Maßnahmen zu verstehen, die sich durch die Aneignung neuer Fertigkeiten oder neues Wissen, positiv auf die Leistungssteigerung bestimmter Aufgaben auswirken	1. Ist nicht der Fall	0%	
			2. Ist gelegentlich der Fall	50%	
			3. Ist häufig der Fall	100%	
Handlungsanweisung	Werden in Ihrem Unternehmen die Handlungsanweisungen digital zu Verfügung gestellt?	Eine Handlungsanweisung gibt an, was, wo, wie als nächstes und mit welchen Mitteln zu erledigen ist	1. Ist nicht der Fall	0%	
			2. Ist teilweise der Fall	50%	
			3. Ist häufig der Fall	100%	
Probleme bei der Rekrutierung von Nachwuchskräften	Ist Ihr Unternehmen von Rekrutierungsproblemen von Nachwuchskräften betroffen?	Die Rekrutierung (auch Mitarbeiterbeschaffung) befasst sich damit, neue Mitarbeiter für ein Unternehmen zu finden	1. Ist nicht der Fall	0%	
			2. Ist teilweise der Fall	50%	
			3. Ist häufig der Fall	100%	
Erhöhte Ansprüche an die Mitarbeiterqualifikation	Haben sich die Ansprüche an die Mitarbeiterqualifikation verändert?	Mitarbeiter müssen immer häufiger flexibel mit Veränderungen ihres Berufsbildes umgehen, z.B. neben Logistikkennntnissen auch Sprach- und IT-Kenntnisse	1. Ist nicht der Fall	0%	
			2. Ist teilweise der Fall	50%	
			3. Ist häufig der Fall	100%	
<b>Technologie</b>	Verwaltung von Daten	Werden Sie in Ihrem Unternehmen eine Veränderung der Datenverwaltung- und Speicherung vornehmen?	Die Datenverwaltung ermöglicht das Speichern, die Aktualisierung, das Löschen und das Abrufen von einer Datenmenge einer vorliegenden Datenstruktur. Die Verwaltung von Daten kann manuell, teilautomatisiert oder automatisiert	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist teilweise der Fall	50%
				3. Ist häufig der Fall	100%
	Neue/Veränderte Ausstattung mit mobilen Endgeräten	Wird sich der Anteil an Arbeitsplätzen in ihrem Unternehmen in Bezug auf die Ausstattung mobiler Endgeräte in Zukunft verändern?	Mobile Endgeräte sind eine mit dem Internet verbundene elektronische Unterstützung von Geschäftsprozessen	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist teilweise der Fall	50%
				3. Ist häufig der Fall	100%
	Technologische Datenerfassung	Haben Sie in Ihrem Unternehmen bereits Veränderungen bezüglich der technologischen Datenerfassung vorgenommen?	Die Datenerfassung befasst sich mit der Informationsaufnahme von Prozessen oder Produkten. Die gesammelten Informationen werden dann für Dokumentations- oder Analysezwecke verwendet	1. Ist nicht der Fall	0%
				2. Ist teilweise der Fall	50%
			3. Ist häufig der Fall	100%	
Neuer/Veränderter Einsatz von Software-Systemen oder mobiler Endgeräte?	Planen Sie eine Umstellung bezüglich des Einsatzes von Software-Systemen?	Unter einem Softwaresystem wird eine Art Computerprogramm verstanden, das eine Schnittstelle zwischen Hardware und Benutzeranwendung bildet. Ein Beispiel wäre die Einführung eines ERP-Systems.	1. Ist nicht der Fall	0%	
			2. Ist teilweise der Fall	50%	
			3. Ist häufig der Fall	100%	
Vernetzung der LKT-Systeme/Vernetzung	Planen Sie in der Zukunft die Vernetzung Ihrer LKT-Systeme anzupassen?	Unter Vernetzung wird die Verknüpfung zwischen einzelnen Komponenten zu einem komplexen System verstanden	1. Ist nicht der Fall	0%	
			2. Ist teilweise der Fall	50%	
			3. Ist häufig der Fall	100%	
Automatisierung	Werden Sie in Ihrem Unternehmen Veränderungen der Kernprozesse in Bezug auf die Automatisierung vornehmen?	Unter Automatisierung wird der eigenständige Betriebsablauf von Maschinen verstanden, der unter normalen Bedingungen die Kommunikation und Kontrolle des Menschen schmälert oder gar überflüssig macht	1. Ist nicht der Fall	0%	
			2. Ist teilweise der Fall	50%	
			3. Ist häufig der Fall	100%	
Technologische Entwicklung der Lagermittel	Haben Sie in Ihrem Unternehmen eine technologische Entwicklung Ihrer Lagermittel vorgenommen?	Technologische Entwicklung der Lagermittel beschreiben interne oder externe Verbesserungen oder Erfindungen, die zur Leistungssteigerung der Lagermittel beitragen	1. Ist nicht der Fall	0%	
			2. Ist gelegentlich der Fall	50%	
			3. Ist häufig der Fall	100%	
Technologische Entwicklung der Transportmittel	Haben Sie in Ihrem Unternehmen eine technologische Entwicklung Ihrer Transportmittel vorgenommen?	Technologische Entwicklung der Transportmittel beschreiben interne oder externe Verbesserungen oder Erfindungen, die zur Leistungssteigerung der Transportmittel beitragen	1. Ist nicht der Fall	0%	
			2. Ist gelegentlich der Fall	50%	
			3. Ist häufig der Fall	100%	

## Anhang 7: Wandlungstreiberkatalog mit Bezug zu den Wandlungsbefähigern und Gewichtungen

		Universalität			Mobilität			Skalierbarkeit		
		Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG
<b>Treibercluster Unternehmen und Netzwerk</b>										
Änderung der Make-or-Buy-Strategie	5,36%	1	5,36%	6,43%	1	5,36%	50%	1	5,36%	10,04%
Saisonale Schwankungen	5,36%	1	5,36%	6,43%	1	5,36%	50%	1	5,36%	10,04%
Änderung der Produktionsziele	2,37%	1	2,37%	2,84%				1	2,37%	4,44%
Interne Produktinnovation	1,79%	1	1,79%	2,15%				1	1,79%	3,35%
Anpassung der Unternehmenskultur/-strategie	1,79%							1	1,79%	3,35%
Neue/Veränderte Partnerschaften	1,19%	1	1,19%	1,43%				1	1,19%	2,23%
<b>Summe</b>	<b>17,86%</b>	<b>5</b>	<b>16,07%</b>	<b>19,28%</b>	<b>2</b>	<b>10,72%</b>	<b>100,00%</b>	<b>6</b>	<b>17,86%</b>	<b>33,46%</b>
<b>Treibercluster Technologie</b>										
Neuer/Veränderter Einsatz von Software-Systemen	4,48%	1	4,48%	5,38%						
Automatisierung	4,07%	1	4,07%	4,88%						
Vernetzung der Systeme	2,85%	1	2,85%	3,42%						
Technologische Datenerfassung	2,44%	1	2,44%	2,93%						
Verwaltung von Daten	2,44%	1	2,44%	2,93%						
Technologische Entwicklung der Lagermittel	0,41%	1	0,41%	0,49%				1	0,41%	0,77%
Technologische Entwicklung der Transportmittel	0,41%									
<b>Summe</b>	<b>17,09%</b>	<b>6</b>	<b>16,69%</b>	<b>20,03%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>1</b>	<b>0,41%</b>	<b>0,77%</b>
<b>Treibercluster Mitarbeiter</b>										
Veränderung der Altersstruktur der Mitarbeiter	1,75%	1	1,75%	2,10%						
Entwicklung/Veränderung der Fachkräfteverfügbarkeit	1,75%									
Wachsender Anteil an Beschäftigten mit Migrationshintergrund	1,75%	1	1,75%	2,10%						
Neue/Veränderte Bereitschaft der Mitarbeiter	1,75%	1	1,75%	2,10%						
Durchführung von Mitarbeiterschulungen	1,75%	1	1,75%	2,10%						
Handlungsanweisungen	1,75%									
Probleme bei der Rekrutierung von Nachwuchskräften	1,75%	1	1,75%	2,10%						
Erhöhte Ansprüche an die Mitarbeiterqualifikation	1,75%	1	1,75%	2,10%						
<b>Summe</b>	<b>14,03%</b>	<b>6</b>	<b>10,50%</b>	<b>12,60%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>
<b>Treibercluster Digitalisierung</b>										
Neuer/Veränderter Einsatz von finanziellen Mitteln	4,13%							1	4,13%	7,74%
Neue/Veränderte Einführung/Benutzung von Assistenzsystemen	3,45%	1	3,45%	4,14%						
Veränderung des internen Dokumentenmanagements	3,45%									
Verfügbares Wissen über digitale Dienste und Lösungen	2,07%									
Neue/Veränderte Regelungen für den Einsatz digitaler Technologien	0,69%	1	0,69%	0,83%						
<b>Summe</b>	<b>13,78%</b>	<b>2</b>	<b>4,14%</b>	<b>4,97%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>1</b>	<b>4,13%</b>	<b>7,74%</b>
<b>Treibercluster Lieferanten</b>										
Veränderte Bestellmengen	4,55%	1	4,55%	5,46%				1	4,55%	8,52%
Veränderte Teileeigenschaften	4,55%	1	4,55%	5,46%						
Langfristige Lieferengpässe/-ausfälle	1,30%							1	1,30%	2,44%
Veränderte Liefertreue	1,30%	1	1,30%	1,56%				1	1,30%	2,44%
Veränderte Lieferzeit vom Lieferanten	1,30%	1	1,30%	1,56%				1	1,30%	2,44%
<b>Summe</b>	<b>13,01%</b>	<b>4</b>	<b>11,70%</b>	<b>14,04%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>4</b>	<b>8,45%</b>	<b>15,83%</b>
<b>Treibercluster Globalisierung</b>										
Veränderte Bestellmengen	5,10%	1	5,10%	6,12%				1	5,10%	9,55%
Veränderte Marktpreise	3,40%	1	3,40%	4,08%				1	3,40%	6,37%
Neue/Veränderte Anforderungen an die Produkteigenschaften	1,70%	1	1,70%	2,04%						
<b>Summe</b>	<b>10,20%</b>	<b>3</b>	<b>10,20%</b>	<b>12,24%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>2</b>	<b>8,50%</b>	<b>15,92%</b>
<b>Treibercluster Gesetzgeber und Verbände</b>										
Neue/Veränderte arbeitsrechtliche Bestimmungen	8,93%	1	8,93%	10,72%				1	8,93%	16,73%
<b>Summe</b>	<b>8,93%</b>	<b>1</b>	<b>8,93%</b>	<b>10,72%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>1</b>	<b>8,93%</b>	<b>16,73%</b>
<b>Treibercluster Wettbewerber</b>										
Auftreten/Wegfall von Konkurrenten	2,55%	1	2,55%	3,06%				1	2,55%	4,78%
Neue/Veränderte Beziehungen bzw. Zusammenschlüsse von Unternehmen	1,70%	1	1,70%	2,04%				1	1,70%	3,18%
Neue Produkte von Konkurrenten	0,85%	1	0,85%	1,02%				1	0,85%	1,59%
<b>Summe</b>	<b>5,10%</b>	<b>3</b>	<b>5,10%</b>	<b>6,12%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>3</b>	<b>5,10%</b>	<b>9,55%</b>
<b>Summe Treibercluster</b>	<b>100%</b>	<b>28</b>	<b>83,33%</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>10,72%</b>	<b>100%</b>	<b>18</b>	<b>53,38%</b>	<b>100%</b>

		Modularität			Kompatibilität			Objektspezifisches Wandlungspotenzial		
Treibercluster Unternehmen und Netzwerk		Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG
Änderung der Make-or-Buy-Strategie	5,36%	1	5,36%	52,50%						
Saisonale Schwankungen	5,36%									
Änderung der Produktionsziele	2,37%	1	2,37%	23,21%						
Interne Produktinnovation	1,79%									
Anpassung der Unternehmenskultur/-strategie	1,79%				1	1,79%	4,19%			
Neue/Veränderte Partnerschaften	1,19%									
<b>Summe</b>	<b>17,86%</b>	<b>2</b>	<b>7,73%</b>	<b>75,71%</b>	<b>1</b>	<b>1,79%</b>	<b>4,19%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>
Treibercluster Technologie		Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG
Neuer/Veränderter Einsatz von Software-Systemen	4,48%				1	4,48%	10,47%			
Automatisierung	4,07%				1	4,07%	9,52%			
Vernetzung der Systeme	2,85%				1	2,85%	6,66%			
Technologische Datenerfassung	2,44%				1	2,44%	5,70%			
Verwaltung von Daten	2,44%				1	2,44%	5,70%			
Technologische Entwicklung der Lagermittel	0,41%	1	0,41%	4,02%			0,00%			
Technologische Entwicklung der Transportmittel	0,41%				1	0,41%	0,96%	1	0,41%	18,98%
<b>Summe</b>	<b>17,09%</b>	<b>1</b>	<b>0,41%</b>	<b>4,02%</b>	<b>6</b>	<b>16,69%</b>	<b>39,02%</b>	<b>1</b>	<b>0,41%</b>	<b>18,98%</b>
Treibercluster Mitarbeiter		Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG
Veränderung der Altersstruktur der Mitarbeiter	1,75%				1	1,75%	4,09%			
Entwicklung/Veränderung der Fachkräfteverfügbarkeit	1,75%				1	1,75%	4,09%	1	1,75%	81,02%
Wachsender Anteil an Beschäftigten mit Migrationshintergrund	1,75%				1	1,75%	4,09%			
Neue/Veränderte Bereitschaft der Mitarbeiter	1,75%						0,00%			
Durchführung von Mitarbeiterschulungen	1,75%				1	1,75%	4,09%			
Handlungsanweisungen	1,75%				1	1,75%	4,09%			
Probleme bei der Rekrutierung von Nachwuchskräften	1,75%						0,00%			
Erhöhte Ansprüche an die Mitarbeiterqualifikation	1,75%				1	1,75%	4,09%			
<b>Summe</b>	<b>14,03%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>6</b>	<b>10,50%</b>	<b>24,55%</b>	<b>1</b>	<b>1,75%</b>	<b>81,02%</b>
Treibercluster Digitalisierung		Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG
Neuer/Veränderter Einsatz von finanziellen Mitteln	4,13%				1	4,13%	9,66%			
Neue/Veränderte Einführung/Benutzung von Assistenzsystemen	3,45%				1	3,45%	8,07%			
Veränderung des internen Dokumentenmanagements	3,45%				1	3,45%	8,07%			
Verfügbares Wissen über digitale Dienste und Lösungen	2,07%	1	2,07%	20,27%	1	2,07%	4,84%			
Neue/Veränderte Regelungen für den Einsatz digitaler Technologien	0,69%				1	0,69%	1,61%			
<b>Summe</b>	<b>13,78%</b>	<b>1</b>	<b>2,07%</b>	<b>20,27%</b>	<b>5</b>	<b>13,79%</b>	<b>32,24%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>
Treibercluster Lieferanten		Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG
Veränderte Bestellmengen	4,55%									
Veränderte Teileeigenschaften	4,55%									
Langfristige Lieferengpässe/-ausfälle	1,30%									
Veränderte Liefertreue	1,30%									
Veränderte Lieferzeit vom Lieferanten	1,30%									
<b>Summe</b>	<b>13,01%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>
Treibercluster Globalisierung		Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG
Veränderte Bestellmengen	5,10%									
Veränderte Marktpreise	3,40%									
Neue/Veränderte Anforderungen an die Produkteigenschaften	1,70%									
<b>Summe</b>	<b>10,20%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>
Treibercluster Gesetzgeber und Verbände		Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG
Neue/Veränderte arbeitsrechtliche Bestimmungen	8,93%									
<b>Summe</b>	<b>8,93%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>
Treibercluster Wettbewerber		Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG	Anzahl Befähiger	Einfluss auf den WFG	benötigter WFG
Auftreten/Wegfall von Konkurrenten	2,55%									
Neue/Veränderte Beziehungen bzw. Zusammenschlüsse von Unternehmen	1,70%									
Neue Produkte von Konkurrenten	0,85%									
<b>Summe</b>	<b>5,10%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>
<b>Summe Treibercluster</b>	<b>100%</b>	<b>4</b>	<b>10,21%</b>	<b>100%</b>	<b>18</b>	<b>42,77%</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>2,16%</b>	<b>100%</b>

### 13. Literaturverzeichnis

- [Bic13] Bichler, K. et al.: Kompakt Edition: Lagerwirtschaft - Grundlagen, Technologien und Verfahren. Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2013
- [Bil15] Bilcher, K.; Riedel, G.; Schöppach, F.: Kompakt Edition: Lagerwirtschaft. Grundlagen, Technologien und Verfahren, Wiesbaden (2013)
- [Bou17] Bousonville, T.: Logistik 4.0, Die digitale Transformation der Wertschöpfungskette, Springer Gabler, ISBN 978-3-658-13012-1, 2017
- [Bun19a] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hrsg.): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit, <http://www.gesetze-im-internet.de/lasthandhabv/LasthandhabV.pdf>, Stand.: 04.11.2019.
- [Bun19b] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): Gefährdungsbeurteilung mit Leitmerkmalmethode, [https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Physische-Belastung/Leitmerkmalmethode/Leitmerkmalmethode\\_node.html](https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Physische-Belastung/Leitmerkmalmethode/Leitmerkmalmethode_node.html), Stand: 04.11.2019.
- [Chi82] Chiantella, N.: Achieving Integrated Automation Through Computer Networks. SMA/CASA Computer In-tegrated Manufacturing Series, Vol.5, S.2-21, 1982
- [DIN14] DIN IEC 60050-351: 2014-09, Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 351: Leittechnik, (IEC 60050-351:2013), 2014
- [Dun02] Duncheon, C.: Product miniaturization requires automation—but with a strategy. Assembly Automation, Vol. 22, No. 1, S.16-20, 2002
- [Elm09] EIMaraghy, H.; Wiendahl, H.-P.: Changeability – An Introduction. In: EIMaraghy H. (eds.): Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems, Springer, London 2009, p. 3-24
- [End99] Endsley, M. R.; Kaber, D. B.: Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. Ergonomics, Vol. 42, No. 3, S. 462-492, 1999
- [Fro05] Frohm, J.; Lindström, V.; Bellgran, M.: A model for parallel levels of automation within manufacturing. In: Pasquino, R (eds.) Proceedings of the 18th International Conference on Production Research, Fisciano, Italy, 2005
- [Fro08] Frohm, J.; Lindström, V.; Winroth, M.; Stahre, J.: Levels of automation in manufacturing, published in Ergonomia – International Journal of Ergonomics and Human Factors, Vol. 30, Issue 3, S. 19, 2008
- [Gar17] Gartner: Planning Guide for Data and Analytics, 2017
- [Hau14] Hausladen, I.: IT-gestützte Logistik - Systeme-Prozesse-Anwendungen. 2. Aufl., Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2014
- [Hei15] Heine, F.: Bewertung des Wandlungspotenzials und Analyse des Wandlungsbedarfs von Kommissioniersystemen. Dissertation Universität Kassel. In: Wenzel S. (Hrsg.): Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Band 5, Shaker Verlag, Aachen (2015)

- [Hom10] Ten Hompel, M., Schmidt, T.: Warehouse Management - Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen. 4. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010
- [Hom11] ten Hompel, M.; Heidenblut, V. : Taschenlexikon Logistik. Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik, 3. Auflage, Berlin u.a. (2011)
- [Kro11] Kross, P., Meyer-Schwickerath, B.: Changeability in Value Networks - Identification of Critical Objects, Arbeitspapier des Vertumnus-Projekts. Online-Publikation ([http://www.vertumnus-projekt.de/wp-content/uploads/2011/08/Kro%C3%9F\\_Meyer-Schwickerath\\_2011\\_CHANGEABILITY-IN-VALUE-NETWORKS1.pdf](http://www.vertumnus-projekt.de/wp-content/uploads/2011/08/Kro%C3%9F_Meyer-Schwickerath_2011_CHANGEABILITY-IN-VALUE-NETWORKS1.pdf)), Abruf-datum: 18.05.2015
- [Lan12] Lanza, G.; Moser, R; Ruhrmann, S.: Wandlungstreiber global agierender Produktionsunternehmen. Sammlung, Klassifikation und Quantifizierung. wt Werkstattstechnik online 102 (2012) 4, S. 200 – 205
- [Mül17] Müller, M.; Westbomke, M.; Stonis, M. (2017), Wandlungsfähigkeit und Automatisierung von Lager-, Kommissionier- und Transportsystemen. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Carl Hanser Verlag, 112.Jg. H.12, S. 881-884. ISSN 0947-0085.
- [Nyh08] Nyhuis, P.; Heinen, T.; Reinhart, G.; Rimpau, C.; Abele, E.; Wörn, A.: Wandlungsfähige Produktionssysteme – Theoretischer Hintergrund zur Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. wt Werkstattstechnik online, 98 (2008), S. 85 – 91
- [Nyh13] Nyhuis, P.; Diese, J.; Rehwald, J.: Wandlungsfähige Produktion - Heute für morgen gestalten. PZH Verlag, Hannover (2013)
- [Pul19] Armin Pulic – businessjournalist (Hrsg.): Lagernutzungsgrad (Flächen-, Raum-, Höhennutzungsgrad), <http://www.lagerkennzahlen.de/lagernutzungsgrad.html>, Stand: 15.10.2019.
- [Sch17] Schulte, C., Logistik: Wege zur Optimierung der Supply Chain, 7. Auflage, Vahlen, München, 2017
- [Vog17] Vogel-Heuser, B.; Hompel, M. t.; Bauernhansl, T.; (2017), Handbuch Industrie 4.0, Bd. 1 Produktion, 2. Auflage, Springer Vieweg, ISBN 978-3-662-45278-3
- [Wie14] Wiegand, M.; Konrad, B.; Jalali Sousanabady, R.; Willats, P.; Deuse, J.: Quantifizierung von Variabilität durch Big Data Technologien. Gito-Verlag, Dortmund 2014, S. 36
- [Wie09] Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. Hanser Verlag München Wien (2009)