

Methode zur Bestimmung des Automatisierungsgrads von Lager-, Kommissionier- und Transportsystemen

Method to identify the level of automation in storage, commissioning and transport systems

Maren Müller
Simon Peter Lebbing
Malte Stonis

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

Die Auswahl eines Lager-, Kommissionier- und Transportsystems erfolgt in Zeiten der Industrie 4.0 oftmals auf Grundlage der Automatisierung, die diese Systeme mit sich bringen. Doch welchen Grad an Automatisierung ein solches System vorweist, ist schwer zu beurteilen. In dieser Arbeit werden zunächst allgemeine Ansätze zur Bestimmung der Automatisierung vorgestellt. Anschließend wird die entwickelte Methode zur Bestimmung des Automatisierungsgrads dieser Systeme erläutert.

[Automatisierungsgrad, Lager-, Kommissionier und Transportsysteme, Lagerplanung, Logistik]

The selection of a storage commissioning and transport system in times of industry 4.0 often takes place based on the automation that these systems bring with them. It is difficult to assert the actual level of automation from these systems. This paper presents general approaches for the determination of automation. After it will give a presentation of the developed method to identify the level of automation from systems.

[level of automation, storage, commissioning and transport systems, storage planning, logistics]

1 EINLEITUNG

Das Forschungsprojekt „Wandlungsfähigkeit und Automatisierung für Lager-, Kommissionier- und Transportsysteme“ (IGF-Vorhaben 19373N) beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Methode zur Auswahl eines individuell geeigneten Lager-, Kommissionier- und Transportsystems (LKT-System) im Hinblick auf den notwendigen Grad an Wandlungsfähigkeit und Automatisierung. Eine solche Investitionsentscheidung zu treffen, stellt speziell kleine und mittlere Unternehmen aufgrund kapazitiver Einschränkungen vor eine große Herausforderung. Um dennoch eine aufwandsarme und vor allem qualifizierte Entscheidung treffen zu können, soll kleinen und mittleren Unternehmen in

Zukunft der zu entwickelnde Softwaredemonstrator unterstützend zur Seite stehen [Mü17].

Zur Bereitstellung einer Vorauswahl geeigneter LKT-Systeme für ein individuelles Unternehmen muss zunächst eine Methode entwickelt werden, mit der die aktuell am Markt zur Verfügung stehenden Systeme hinsichtlich ihrer Automatisierung eingeordnet werden können. Dafür werden zunächst allgemein entwickelte Automatisierungsstufen dargestellt (siehe Absatz 2). Anschließend werden die entwickelten und bewährten Methoden analysiert und Bestandteile für die neue Methode zur Bestimmung des Automatisierungsgrads von LKT-Systemen verwendet (siehe Absatz 3).

2 STAND DER FORSCHUNG

Der Grad an Automatisierung wird definiert als „Anteil selbstständiger Funktionen an der Gesamtheit der Funktionen eines Systems oder einer technischen Anlage“ [DIN14]. In einigen Ansätzen zur Bestimmung des Automatisierungsgrads wird zusätzlich eine Einteilung zwischen dem Computerisierungs- und dem Mechanisierungsgrad vorgenommen. Diese Unterteilung ist wichtig, da die Automatisierung nicht nur durch physische (Ersatz menschlicher Muskelkraft), sondern auch durch kognitive Tätigkeiten (Kontrolle, Speicherung, Analyse) bestimmt wird [Fro05, Chi82].

Für die Betrachtung des Automatisierungsgrads wird heute eine weitere zunehmende Vernetzung in allen Sektoren wahrgenommen, die die Tätigkeiten der Digitalisierung beschreiben [Vog17]. Vor diesem Hintergrund reicht die Einordnung über die Mechanisierung und Computerisierung nicht mehr aus, weshalb auch der Digitalisierungsgrad betrachtet werden muss.

2.1 AUTOMATISIERUNGSSTUFEN

Bereits in den 70er Jahren beschäftigten sich die ersten Wissenschaftler mit der Einstufung von Automatisierun-

gen. In dem Modell wird die Entscheidung über den Automatisierungsgrad anhand von vier Unterscheidungsmerkmalen (Alternativengenerierung, Alternativen-reduzierung, Handlungsauswahl und Handlungsumsetzung) getroffen. Unterschieden wird, ob der Mensch oder der Automat die zum Unterscheidungsmerkmal gehörende Aufgabe ausführt. So entstand eine Einteilung von fünf Automatisierungsstufen, mit der jeweiligen Kennzeichnung, ob der Mensch oder der Automat die Aufgabe durchführt [She78].

ENDSLEY und KABER entwickelten diesen Ansatz weiter und erweiterten die Entscheidungsmerkmale um das Monitoring, also die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine und passten die anderen Kriterien nach den aktuellen Automatisierungstechniken an. In diesem Modell ist auch die gemeinsame Ausführung einer Aufgabe von Mensch und Maschine möglich. Der Prozess der Entscheidungsfindung wird bei der Bestimmung des Automatisierungsgrads sehr stark gewichtet, während die anschließende Ausführung der Aufgabe nur wenig betrachtet wird [End99]. Dieses Modell baut ebenfalls auf den Überlegungen von BILLINGS auf [Bil97].

Zur Bestimmung des Automatisierungsgrads von informationsverarbeitenden Systemen orientiert sich PARASURAMAN an der menschlichen Informationsverarbeitung (kognitive Aufgaben), welche sich in vier Phasen unterteilen lässt. Diese sind die Aufnahme sowie Analyse der Informationen, auf diese beiden Prozesse aufbauend folgt als dritte Phase die Entscheidung über das weitere Handeln und abschließend folgt die Umsetzung der Entscheidung. Jede Phase wird zur Bestimmung der Automatisierung des Gesamtsystems differenziert betrachtet und das phasenspezifische Maß an Automatisierung zwischen den Extrema „High“ und „Low“ eingeordnet. Aus dem Zusammenwirken der vier Phasen ergibt sich eine Gesamtautomatisierung [Par00]. Dieses Modell lässt sich kaum auf abweichende Anwendungsfälle übertragen.

Zur Bestimmung des Mechanisierungs- und Computerisierungsgrads stellt FROHM sieben Stufen der Mechanisierung und Ausrüstung in der Fertigung sowie der Informationsverarbeitung und Kontrolle auf [Fro08]. Dieses Modell kombiniert verschiedene voran gegangene Modelle und spezialisiert sich auf die Güterherstellung.

Im Bereich der Fahrerassistenzsysteme [Don99] und dem autonomen Fahren wurden diese Stufen genutzt, um die Automatisierungsgrade dieser Aufgabe einzustufen. Der VDA – Verband der Automobilindustrie e. V. entwickelte sechs Stufen und unterschied dabei zwischen dem Anteil der Fahraufgaben, die der Fahrer bzw. die Automatik übernimmt [VDA15].

Neben den beschriebenen Automatisierungsstufen gibt es noch weitere, die sich aber von dem Vorgehen bzw. der Abstufungen nicht grundlegend unterscheiden und deshalb hier nicht aufgeführt werden [Vog16, Grü05, Gas12].

In der folgenden Methode werden die beschriebenen Ansätze als Basis genutzt, um eine Einteilung von Automatisierungsgraden für LKT-Systeme zu entwickeln.

2.2 DIGITALISIERUNGSSTUFEN

Grundsätzlich wird unter der Digitalisierung das Umwandeln analoger Werte in digitale Formate verstanden [Gab18]. Die Basis der Digitalisierung in der Fertigung bildet die Vernetzung, die Objekte befähigt, ihre Eigenschaften und Zustände mit ihrer Umgebung zu teilen. Bei einem hohen Grad der Digitalisierung wird von dem Internet der Dinge gesprochen [Boul7]. Der digitale Reifegrad eines Unternehmens ist bereits in der Literatur aufgegriffen worden. MENDEN beschreibt bspw. die drei Stufen der Digitalisierung im Bereich des Vertriebs und der Werbung, welche sich jedoch nicht auf Techniken/Systeme übertragen lassen [Men17]. Eine weitere Herangehensweise besteht in den Big Data-Strategien. Die Digitalisierung hängt demnach mit der Größe der Datenmengen, der Datenvielfalt, der Geschwindigkeit der Daten und der Analyse dieser zusammen [BIT12]. Diese Methode grenzt Big Data-Szenarien innerhalb eines Unternehmens ab. Dieser Ansatz wird im Folgenden auf die Herausforderungen der Automatisierungseinstufung von LKT-Systemen übertragen.

3 METHODE ZUR BESTIMMUNG DES AUTOMATISIERUNGSGRADS VON LKT-SYSTEMEN

Die zuvor dargelegten Automatisierungsstufen wurden nicht speziell auf LKT-Systeme ausgelegt und bieten deshalb nur eine Grundlage sowie Orientierung für die Erarbeitung der Methode. Die Abläufe der Intralogistik werden durch physische und kognitive Aufgaben bestimmt. Mit aufgegriffen wird deshalb die Unterscheidung zwischen dem Computerisierungs- und Mechanisierungsgrad [Fro05]. Die Mechanisierung umfasst den Ersatz menschlicher Muskelkraft durch Automatisierungslösungen. Die Computerisierung stellt den Einsatz kognitiver Arbeiten, wie bspw. die Kontrolle und Speicherung, dar [Chi82]. Außerdem wird der Digitalisierungsgrad von LKT-Systemen separat bestimmt.

3.1 MECHANISIERUNGSGRAD

Die Aufgabengebiete der Intralogistik, speziell der LKT-Systeme, die in den Bereich der Mechanisierung fallen sind folgende:

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

Diese drei Arbeitsschritte der Intralogistik werden im Folgenden analysiert und separat nach den Mechanisierungsmöglichkeiten bewertet.

Das Transportsystem stellt einen wesentlichen Faktor der Performanz in einem Lager dar. In Anlehnung an FROHM wird die Mechanisierung generell in die Bereiche: Manuelle Arbeit, Einsatz von Hilfsmitteln und Einsatz von Maschinen unterteilt [Fro08]. Bei dem Einsatz von Hilfsmitteln wird die Aufgabe noch von menschlicher Muskelkraft unterstützt. Durch die Umwandlung bzw. Übertragung der Kraft verringert sich jedoch die zu leistende physische Arbeit. Der Einsatz von Maschinen wird nochmals unterteilt in zwei Mechanisierungsstufen. In der ersten erfolgt die Bedienung der Maschine mit einem Pedal oder Hebel, womit der Mensch noch eine physische Aufgabe ausführt. In der zweiten Stufe erfolgt die Anweisung mittels Tasten oder Gesten, weshalb von einer höheren Mechanisierung gesprochen wird. Zudem wird noch eine weitere Stufe hinzugefügt, die Transportsysteme beschreibt, die vollkommen autonom arbeiten. Daraus ergeben sich die in Tabelle 1 dargestellten Mechanisierungsstufen:

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

Das Ein- und Auslagern stellt einen zweiten zentralen Arbeitsschritt in der Lagerung dar und entspricht dem Materialhandling auf das Transportsystem oder in das Lager. DUNCHEON geht in seinem Modell der Mechanisierungsstufen auf das Materialhandling ein, weshalb dies als Grundlage für die Ein- und Auslagerung gilt [Dun02]. Er unterteilt die Mechanisierung in die drei Bereiche: Manuelle Arbeit, teilautomatisiert und vollautomatisiert. Da es sich beim Ein- und Auslagern auch um das Bewegen von Gütern handelt, können die Annahmen aus dem Transport übernommen werden. Somit ergeben sich, auch unter Berücksichtigung von DUNCHEON, dieselben Mechanisierungsstufen wie bei dem Transport.

Abschließend wird der Mechanisierungsgrad ebenfalls durch die Kennzeichnung und Identifikation der Waren bestimmt. Da dies keine physisch anspruchsvolle Aufgabe ist, sind in dem Zusammenhang andere Kriterien entscheidend. Unter Berücksichtigung der aktuell am Markt zur Verfügung stehenden Kommissioniertechniken ergeben sich die Einstufungen: Manuelle Eingabe, teilmanuelle Eingabe, berührungsloses Quittieren und die automatische Kennzeichnung. Die manuelle Eingabe erfolgt durch schriftliche Aufzeichnungen. Die teilmanuelle Eingabe wird unterstützt durch vorgefertigte Informationen, wobei nur noch quittiert werden muss. Das berührungslose Quittieren bedeutet, dass die Quittierung bspw. per Sprache erfolgt und keine physische Handlung ausgeführt werden muss. Bei der automatischen Kennzeichnung muss der Mensch keine Aufgabe zur Identifikation mehr durchführen. Die Stufen mit entsprechenden Beispielen sind in Tabelle 2 dargestellt.

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

Diese drei Arbeitsschritte bzw. deren Mechanisierungsbewertung erfolgt nach einer Gewichtung.

3.2 COMPUTERISIERUNGSGRAD

Die Computerisierung beschreibt die Übernahme von kognitiven Aufgaben durch maschinelle Unterstützung. Analog zu der Mechanisierung gilt es auch hier Arbeitsschritte zu identifizieren, die Einfluss auf den Computerisierungsgrad von LKT-Systemen haben.

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

Für diese drei Hauptaufgaben werden erneut jeweilige Computerisierungsstufen entwickelt. Ein entscheidender Grundsatz der Intralogistik ist es, die richtige Ware in der richtigen Menge zur richtigen Zeit bereitzustellen [Hom08]. Die Lageraufträge selbst zu erstellen ist jedoch

nicht die Aufgabe von LKT-Systemen bzw. dessen Bediener. Vielmehr ist die Zusammenstellung der Transporteinheiten bzw. -aufträge entscheidend für die Aufgabe/Leistung vor dem Transport [Sch17]. Die Modelle von ENDSLEY und SHRIDAN beschäftigen sich mit der kognitiven Aufgabenübernahme durch Maschinen und werden deshalb als Grundlage verwendet. Die am Markt zur Verfügung stehenden LKT-Systeme arbeiten bzgl. der Reihenfolge- und Routenplanung heutzutage oftmals im Bereich der Aktionsauswahl oder der Vollautomatisierung [End99]. Die Darstellung der Aufträge auf einer Liste bietet auch die Möglichkeit der manuellen Entscheidung, bspw. auf Grundlage von Mitarbeitererfahrungen. Diese Auflistung kann auch bereits mit geordneten Informationen (bspw. nach Lagerplätzen geordnet) versehen sein, welches die erste Computerisierungsstufe darstellt. Die zweite bildet sich aus vorgefertigten Regeln (bspw. vorgefertigte Route bei bestimmtem Produktmix), die dem Mitarbeiter zur Planung zur Verfügung stehen. Die autonome Entscheidung der Systeme stellt abschließend die höchste Stufe der Automatisierung (Computerisierung) der Leistung vor dem Transport dar. Die Stufen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Computerisierung – Vor dem Transport

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

Während des Transports kommt es zu Navigationsaufgaben, worin auch die Lokalisierung des Transportsystems enthalten ist (dargestellt in Tabelle 4). Grundlage bieten die Computerisierungsstufen nach FROHM [Fro08]. Die unterste Stufe ist erneute die manuelle Navigation, wobei dem Mitarbeiter keine Unterstützung zur Verfügung steht. Die erste Computerisierungsstufe beschreibt die Unterstützung der Navigation durch Basisinformationen, bspw. einer Karte mit der Lageraufteilung. Wenn diese Informationen in eine Navigationsfunktion überführt werden, wird von der nächsten Stufe gesprochen. Die dritte bietet ein System, welches zusätzlich Sicherheitsmaßnahmen integriert hat, wie das automatische Stoppen bei Gegenständen/Menschen auf dem Fahrweg. Die autonome Navigation stellt die höchste Computerisierungsstufe dar.

Tabelle 4: Computerisierung - Navigation

Computerisierung Navigation	Beschreibung
-----------------------------	--------------

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

Die Kennzeichnung bzw. Identifikation nach dem Transport ist mit anderen Kriterien zu bewerten als bei der Mechanisierung. Der physische Aufwand ist nicht entscheidend, sondern der Aufwand der kognitiven Aufgabe. Die unterste Stufe stellt erneut die manuelle Eingabe der Informationen dar. Übernimmt die Dokumentation der Informationen ein System, kann von der ersten Computerisierungsstufe gesprochen werden. Werden dabei zusätzliche Informationen automatisch abgespeichert, wie der Ort oder die Zeit, ist eine nächst höhere Stufe erreicht. Findet die Identifikation automatisch statt, liegt die maximale Computerisierung vor. Tabelle 5 zeigt die beschriebenen Stufen der Computerisierung im Hinblick auf die Kennzeichnung/Identifikation.

Tabelle 5: Computerisierung – Kennzeichnung/Identifikation

Computerisierung Kennzeichnung	Beschreibung
0	Manuelle Eingabe der Informationen
1	Dokumentationsübernahme der Information
2	Dokumentation der Information mit zusätzlichen Kennzahlen
3	Automatische Identifikation Bsp.: Pick-by-Balance

Analog zu der Mechanisierung ist eine Gewichtung der Arbeitsschritte vorzunehmen. Speziell die Navigation ist evtl. bei kleineren Unternehmen nicht entscheidend, da das Lager aufgrund der Größe keine ausgereifte Navigation benötigt.

3.3 DIGITALISIERUNGSGRAD

Aufbauend auf den Kriterien zur Abgrenzung von Big Data-Anwendungen wird der Digitalisierungsgrad von LKT-Systemen bestimmt.

Die Größe der Datenmenge stellt das erste Kriterium dar. Es ist ein umfassendes Informationsmanagement notwendig, um zum einen die Maschinen mit relevanten Daten versorgen zu können und zum anderen die Menschen an der Informationsverarbeitung und den daraus resultierenden Tätigkeiten teilhaben zu lassen [Vog17]. Da davon ausgegangen wird, dass in der Analyse von LKT-Systemen keine Datenmengen im Big Data-Bereich zu erwarten sind (speziell nicht bei KMU), wird dieses Kriterium in den Analysen aufgegriffen und integriert.

Die Datenvielfalt spielt bei LKT-Systemen im übertragenden Sinne eine Rolle, wenn die Vernetzung der Datenquellen betrachtet wird. Dabei wird zwischen der Vernetzung von Gütern/Objekten (Produktebene) und der Vernetzung von Prozessen/Maschinen (Prozessebene) unterschieden. Objekte müssen ihren digitalen Schatten im System hinterlegen, um mit der aktuellen Situation der Umgebung kommunizieren zu können. Dafür ist eine eindeutige Identifikation der Objekte notwendig. In der Intra-logistik ist die Nachverfolgbarkeit die häufigste Anwendung von intelligenten Gütern [Bou17]. Die Kriterien zur Bewertung der Digitalisierung anhand der Vernetzung von Objekten ist demnach nach der Identifikation der Produkte auszurichten und ist in Tabelle 6 dargestellt.

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

Bei der manuellen Identifikation liegen die Daten nicht in digital zu verarbeitender Form vor, weshalb bei diesem Zustand keine Digitalisierung erreicht werden kann. Sind LKT-Techniken jedoch mit zusätzlicher Software ausgestattet, ergeben sich höhere Stufen der Digitalisierung. Die erste Stufe der Digitalisierung stellt die Datenintegration in die digitale Welt an stationären Punkten dar, bspw. durch Handscanner, die vom Menschen betätigt werden. Die zweite Stufe stellt die dezentrale Lokalisierung von Objekten dar, bspw. mit RFID-Codes, die bei Abfrage den eigenen Standort senden können. Die dritte und damit digitalisierteste Stufe beschreibt die automatische Lokalisierung, bspw. mittels GPS-Signalen.

Als zweiter Punkt wird die Vernetzung von Prozessen und Maschinen betrachtet. Bei der Fokussierung der LKT-

Systeme ist demnach die Vernetzung zwischen den Systemen selbst gemeint. Dabei ergeben sich folgende Abstufungen in 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

Die Geschwindigkeit der Datenerzeugung bzw. -verarbeitung bietet die Grundlage für eine schnelle, situationsbedingte Entscheidung. So erfordern autonome Systeme eine Echtzeitbereitstellung und -verarbeitung von Daten. Andere Systeme benötigen hingegen nur eine Verarbeitung im Minutenbereich, um optimal zu funktionieren. So unterscheiden sich die LKT-Systeme nach der Datenverarbeitungsgeschwindigkeit, wie in Tabelle 8 zu sehen.

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 Datenanalyse resultiert aus den drei zuvor beschriebenen Kriterien. Durch Methoden des Dataminings ist es möglich, aus einer Menge von Datensätzen Zusammenhänge zu erkennen oder sogar Prognosen zu erstellen [Bou17]. Dabei wird zwischen vier Stufen der Ergebnisverwertung von Datenanalysen unterschieden, welche auch für unsere vorliegende Fragestellung der Digitalisierungsstufen bezogen auf LKT-Systeme genutzt werden, wie 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?

Die erste Stufe beschreibt die reine Informationsgenerierung, bspw. in Form einer Wissensdatenbank. Die zweite Stufe ist die Mustererkennung, welche bspw. zum Nachweis von Fehlerursachen genutzt werden kann. Die nächst höhere Digitalisierungsstufe der Datenanalyse ist die Prognosefähigkeit. Die höchste Stufe stellt die Entscheidungsfähigkeit da. Autonome Systeme und selbstfahrende Autos sind Beispiele dieser Stufe [Gar17].

Die Zusammenführung der aufgezeigten Digitalisierungsstufen geschieht ebenfalls über eine Gewichtung der vier Faktoren.

3.4 ZUSAMMENFÜHRUNG GESAMTMETHODE

In den vorangegangenen Abschnitten wurde die Ermittlung des Mechanisierungs-, Computerisierungs- und Digitalisierungsgrads vorgestellt. Jedem Bereich wurden unterschiedliche Bewertungskriterien mit deren Ausprägungen zugeordnet. Für die Gesamtmethode, also dem Automatisierungsgrad (AG) von LKT-Systemen, werden diese drei Bereiche in eine Formel zusammengefasst. Die Gewichtung der drei Bereiche Mechanisierung, Computerisierung und Digitalisierung (GM, GC, GD) sowie die einzelnen Gewichtungen (g) der jeweiligen Aufgaben der drei Bereiche werden in folgenden Analysen bestimmt.

$$\begin{aligned}
 AG_{LKT} &= G_M * \\
 &\frac{g_{M1} * AP_T + g_{M2} * AP_{EinAus} + g_{M3} * AP_{Kenn}}{\sum AP - \text{Stufen, Mechanisierung}} + \\
 &G_C * \\
 &\frac{g_{C1} * AP_{LvorT} + g_{C2} * AP_{LbeiT} + g_{C3} * AP_{LnachT}}{\sum AP - \text{Stufen, Computerisierung}} + \\
 &G_D * \\
 &\frac{g_{D1} * AP_{VP} + g_{D2} * AP_{VS} + g_{D3} * AP_{Dg} + g_{D4} * AP_{Da}}{\sum AP - \text{Stufen, Digitalisierung}}
 \end{aligned}$$

$$G_M + G_C + G_D = 1$$

$$g_{M1} + g_{M2} + g_{M3} = 1$$

$$g_{C1} + g_{C2} + g_{C3} = 1$$

$$g_{D1} + g_{D2} + g_{D3} + g_{D4} = 1$$

AP_T : Ausprägung Transport

AP_{EinAus} : Ausprägung Ein – und Auslagerung

AP_{Kenn} : Ausprägung Kennzeichnung

AP_{LvorT} : Ausprägung Leistung vor dem Transport

AP_{LbeiT} : Ausprägung Leistung bei dem Transport

AP_{LnachT} : Ausprägung Leistung nach Transport

AP_{VP} : Ausprägung Vernetzung Produktebene

AP_{VS} : Ausprägung Vernetzung Systeme

AP_{Dg} : Ausprägung Datengeschwindigkeit

AP_{Da} : Ausprägung Datenanalyse

Beispielsweise bedeutet dies für ein Unternehmen, welches ein Hochregallager mit Barcode identifizierten Lagerplätzen, ein Gabelstapler als Transportsystem mit integrierter Scannertechnik und Navigation sowie einer manuellen Kommissionierung zuvor mittels Pick-By-Light nutzt, folgendes: Für die Mechanisierung ergibt sich bei der Transportaufgabe eine Ausprägung von 2, bei der Ein- und Auslagerung 2 und bei der Kennzeichnung eine 1. Bei gleich angenommener Gewichtung ergibt sich ein Mechanisierungsgrad von 45 %. Der Computerisierungsgrad entsteht aus der Leistung vor dem Transport 2, da der Fahrweg mittels geeigneter Regeln vorgefertigt ist. Die Navigation geschieht über das Navigationsgerät im Gabelstapler, womit sich eine Ausprägung von 2 ergibt. Die Kennzeichnung geschieht Scanner basiert mit weiterführenden Informationen die aufgenommen werden, weshalb sich eine Ausprägung von 2 herausstellt. Somit ergibt sich bei gleicher Gewichtung ein Computerisierungsgrad von 60 %. Die Vernetzung auf Produktebene ergibt einen Wert von 2, da die Scanner am Transportsystem automatisch die Barcodes der Lagerplätze ablesen. Die Systeme selbst kommunizieren nur über den Menschen miteinander weshalb sich eine Wertung von 1 annehmen lässt. Die Daten werden in Minutenbereichen verarbeiten (Ausprägung 2). Datenanalysen nimmt das Unternehmen ausschließlich zur Informationsgenerierung vor (Ausprägung 1). So ergibt sich ein Digitalisierungsgrad bei gleicher Gewichtung von 50 %. Der gesamte Automatisierungsgrad wird auf einen Wert von 52 %, bei gleicher Gewichtung der drei Bereiche, ermittelt.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Ziel des vorliegenden Papers war es darzustellen, wie die Automatisierung von LKT-Systemen bewertet werden kann. Dafür wurden aktuelle Forschungsarbeiten genutzt, um die Bewertungsskalen zu entwickeln. Als Ergebnis erhält der Nutzer eine Prozentzahl zwischen voll manuell (0 %) und voll automatisiert (100 %). Dafür wurde der Automatisierungsgrad unterteilt in drei unterschiedliche Bereiche: Mechanisierung, Computerisierung und Digitalisierung. Zu diesen Bereichen wurden abhängige Arbeitsschritte von LKT-Systemen ermittelt und mit Skalen hinterlegt. Die Zusammenführung der Skalen ergibt den jeweiligen Mechanisierungs-, Computerisierungs- und Digitalisierungsgrad. Die Gewichtung der Arbeitsschritte bzw. der drei Bereiche wird in einem folgenden Arbeitsschritt analysiert.

Aufbauend auf diesem Vorgehen wird auch eine Methode zur Bestimmung der Wandlungsfähigkeit erstellt. Zur Erreichung des Gesamtziels des vorliegenden Forschungsprojekts werden auch Methoden zur Bestimmung des notwendigen Automatisierungs- und Wandlungsfähigkeitsgrads entwickelt. Anschließend entsteht eine Methode, die den notwendigen Grad an Automatisierung und Wandlungsfähigkeit mit den am Markt zur Verfügung stehenden Systemen abgleicht und so den Unternehmen das passende LKT-System vorschlägt.

LITERATUR

- [Bil97] Billings, C. E. (1997), *Aviation automation: the search for a human-centered approach*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- [BIT12] Bundesverband Informationswirtschaft Telekommunikation und neue Medien e. V. (2012), (Hrsg.). *Big Data im Praxiseinsatz – Szenarien, Beispiele, Effekte*. Berlin: BITKOM
- [Bou17] Bousonville, T. (2017), *Logistik 4.0, Die digitale Transformation der Wertschöpfungskette*, Springer Gabler, ISBN 978-3-658-13012-1
- [Chi82] Chiantella, N., (1982), *Achieving Integrated Automation Through Computer Networks*. SMA/CASA Computer Integrated Manufacturing Series, Vol.5, S.2-21
- [DIN14] DIN IEC 60050-351: 2014-09, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 351: Leittechnik* (2014), (IEC 60050-351:2013)
- [Dun02] Duncheon, C., (2002), *Product miniaturization requires automation—but with a strategy*. *Assembly Automation*, Vol. 22, No. 1, S.16-20
- [End99] Endsley, M. R.; Kaber, D. B., (1999), *Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task*. *Ergonomics*, Vol. 42, No. 3, S. 462-492
- [Fro05] Frohm, J.; Lindström, V.; Bellgran, M., (2005), *A model for parallel levels of automation within manufacturing*. In: Pasquino, R (eds.) *Proceedings of the 18th International Conference on Production Research*, Fisciano, Italy
- [Fro08] Frohm, J.; Lindström, V.; Winroth, M.; Stahre, J., (2008), *Levels of automation in manufacturing*, published in *Ergonomia – International Journal of Ergonomics and Human Factors*, Vol. 30, Issue 3, S. 19
- [Gar17] Gartner (2017): *2017 Planning Guide for Data and Analytics*.
- [Gas12] Gasser, Tom M. et al. (2012): *Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung*. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*.
- [Grü05] Gründl, M. (2005), *Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation, Universität Regensburg.
- [Hom08] Hompel, M. t.; Büchter, H.; Franske, U. (2008), *Identifikationssysteme und Automatisierung*. Springer, Berlin 2008, ISBN 978-3-540-75880-8
- [Men17] Menden, F. (2017), *Wie die Digitalisierung die Spielregeln ändert; Drei Stufen der Digitalisierung im Überblick; Abgerufen auf <https://www.slideshare.net/werliefertwas/wie-die-digitalisierung-die-spielregeln-verändert> am 06.07.2018*
- [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.

- [Par00] Parasuraman, R.; Sheridan, T. B.; Wickens, C. D. (2000), A model for types and levels of human interaction with automation. IEEE transactions on system, man, and cybernetics – Part A: Systems and humans, Vol 30, No. 3, S. 286-296
- [Sch17] Schulte, C., Logistik: Wege zur Optimierung der Supply Chain (2017), 7. Auflage, Vahlen, München 2017
- [She78] Sheridan, T. B.; Verplank, W. L., (1978), Human and Computer Control of Undersea Teleoperators. Man-Machine Systems Laboratory, Massachusetts Institute of Technology
- [VDA15] Verband der Automobilindustrie (2015), Automatisierung - Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren.
- [Vog16] Vogelpohl; T.; Vollrath, M. et al. (2016), Übergabe von hochautomatisiertem Fahren zu manueller Steuerung. In: Unfallforschung der Versicherer.
- [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