

Einfluss von Artekeleigenschaften auf die Entnahmezeit in Kommissioniersystemen

Impact of items characteristics on picking time in order picking systems

Stefan Galka
Willibald A. Günthner

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml)
Fakultät Maschinenwesen
Technische Universität München

Das Kommissionieren zählt zu den arbeitsintensivsten Aufgaben in der Logistik. Aus diesem Grund ist es wichtig, möglichst genau die erwarteten Prozesszeiten für diese Aufgabe zu bestimmen. Ein verbreiteter Ansatz für die Bestimmung von Prozesszeiten für manuelle Tätigkeiten beim Kommissionieren ist die Methods-Time-Measurement (MTM). Um eine Vorgabezeit mittels MTM zu bestimmen, müssen Einflussfaktoren spezifiziert werden. Dieser Beitrag zeigt anhand der Greifzeit auf, wie diese Einflussfaktoren auf Grundlage von Artikelstammdaten bestimmt werden können. Weiterhin wird der Unterschied zwischen einer für jeden Artikel individuell bestimmten Greifzeit und der Greifzeit basierend auf repräsentativen Eigenschaften von Artikelgruppen verglichen. Wesentlich wird dabei die mittels MTM bestimmte Greifzeit durch das Gewicht und die Abmessungen (Sperrigkeit) beeinflusst.

[Schlüsselwörter: Kommissionieren, Methods-Time-Measurement, Clusteranalyse, Prozesszeit]

Orders picking is one of the most labor intensive tasks in the field of logistics. Because of this it is important to determine the expected process times for this task as precisely as possible. A common approach for the determination of standard times for manual activities during picking is the Methods-Time Measurement (MTM). To define a standard time by MTM, influencing factors have to be specified. This paper shows how the influencing factors can be calculated on the basis of article master data. Furthermore, the difference between an individually determined picking time for each item and the calculation of picking times based on representative influence factors of article groups is compared.

[Keywords: order picking, methods-time-measurement, cluster analysis, process time]

1 KOMMISSIONIERSYSTEME

In Deutschland werden laut dem Center for Digital Technology and Management pro Jahr knapp 2,8 Mrd.

Euro für das Picken von Artikeln aus Warenlagern ausgegeben. [Bra2015] Es ist damit zu rechnen, dass durch das Wachstum des Onlinehandels [Bun2014] und den Trend zu kleineren Beschaffungsmengen bei gleichzeitig immer höher werdenden Lieferfrequenzen [Weh2009] die Bedeutung von Kommissioniersystemen weiter zunehmen wird.

Dabei ist die Kommissionierung einer der arbeitsintensivsten Prozesse in der Logistik, dessen Kosten zwischen 50 und 70 Prozent der Logistikkosten ausmachen. [Tom2010, S. 435; Pul2009, S. 17] Trotz der hohen Kosten ist der Automatisierungsgrad im Vergleich zu anderen Bereichen der Logistik gering. [Str2005, S. 48] Gründe hierfür liegen z.B. in den hohen Anforderungen an die Flexibilität und dem meist sehr heterogenen Sortiment, was eine vollständige Automatisierung schwierig macht. In vielen Fällen beschränkt sich die Automatisierung auf die automatische Zuführung der Bereitstell- und Sammeleinheiten an so genannte Pickstationen und späteren Abtransport dieser Einheiten. Der „Griff in die Kiste“, also das Greifen und Ablegen der Entnahmeeinheit obliegt in den meisten Fällen weiterhin dem Menschen mit seinen sehr guten taktilen Fähigkeiten.

Grundlegend lässt sich die Zeit für die Bearbeitung eines Kommissionierauftrages in folgende vier Bestandteile unterteilen: [Gud2000, S. 182; Bod2004, S. 273; Arn2009, S. 218; Pul2009, S. 22; Mar2014, S. 405]

- Basiszeit (Bearbeitungszeit),
- Greifzeit (Bearbeitungszeit),
- Totzeit (Bearbeitungszeit) und
- Wegzeit (Zusammenführungszeit).

Die Greifzeit umfasst das Hinlangen zur Bereitstellereinheit, das Aufnehmen der Entnahmeeinheit und das Ablegen der Entnahmeeinheit in der Sammeleinheit sowie die damit verbundene Bewegung des Armes zur Sammeleinheit. Dazu kann es notwendig sein, dass Hilfsbewegungen vom Kommissionierer durchzuführen sind. Dieses können z.B. der kurze Weg zwischen einem Kommissionierwagen und dem Bereitstellplatz sein oder das Bücken, wenn aus

einem unteren Lagerfach Artikel zu entnehmen sind. Die Greifzeit fällt für jede Position des Auftrages an. Besteht eine Position aus mehreren Entnahmeeinheiten und sind aus diesem Grund mehrere „Picks“ notwendig, ist das Hinlangen, Aufnehmen und Abgeben entsprechend oft zu wiederholen. Die Informationsverarbeitung beim Greifen, z.B. das Scannen einer Entnahmeeinheit ist nicht in der Greifzeit, sondern in der Totzeit enthalten.

Für das konventionelle Kommissionieren nach dem Prinzip Person zur Ware finden sich in der Literatur verschiedene Einschätzungen über die Zusammensetzung der Bearbeitungszeit aus den genannten Bestandteilen. Abbildung 1 stellt die Einschätzungen aus der Literatur dar.

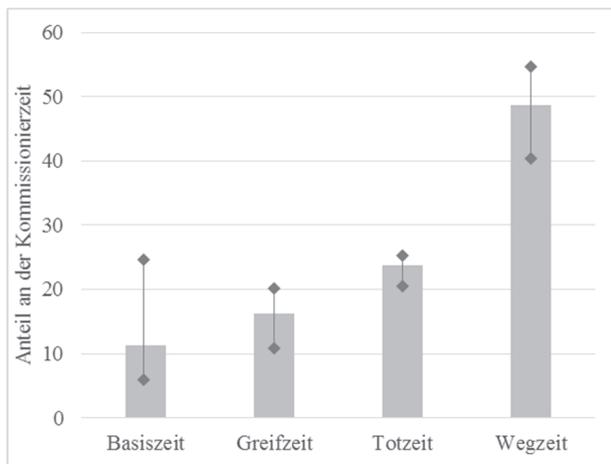


Abbildung 1. Verteilung der Zeitanteile basierend auf [Tom-2010, S. 434; Mar-2014, S. 406f; Koe-2014, S. 118; Pul-2009, S. 22]. Die Rauten kennzeichnen den Wertebereich, der in den Veröffentlichungen genannt wurde. Der Balken spiegelt den Mittelwert aus den ausgewerteten Veröffentlichungen wider.

2 FRAGESTELLUNG

Für die Planung und Steuerung von Kommissioniersystemen ist es wichtig, dass die Bearbeitungszeiten für die unterschiedlichen Aufträge möglichst exakt bestimmt werden können, um das System richtig zu dimensionieren. In diesem Fall bezieht sich die Dimensionierung auf die Festlegung der notwendigen Anzahl an Mitarbeitern oder technischen Ressourcen wie z.B. Pickstationen bei der Ware zur Person Kommissionierung.

In diesem Beitrag steht die Greifzeit im Mittelpunkt der Betrachtungen. In zahlreichen Veröffentlichungen wird zur Bestimmung der Greifzeit auf Systeme vorbestimmter Zeiten verwiesen, wie z.B. Methods-Time-Measurement (MTM). Um eine korrekte Vorgabezeit mittels MTM bestimmen zu können, müssen Einflussfaktoren wie das Gewicht der bewegten Artikel oder die Bewegungslängen (Armbewegung) bestimmt werden. Mit Kenntnis dieser Einflussgrößen kann aus den Zeitwerttabellen eine Vorgabezeit für einen geübten Mitarbeiter ermittelt werden.

Um den Aufwand bei der Ermittlung der Vorgabezeiten zu reduzieren, werden häufig nicht die spezifischen Eigenschaften aller zu kommissionierenden Artikel separat herangezogen, sondern die repräsentativen Eigenschaften einer Teilmenge des Sortimentes bzw. des gesamten Sortimentes. Diese repräsentativen Eigenschaften werden nicht selten durch den Mittelwert der entsprechenden Eigenschaft beschrieben. Vor allem bei sehr heterogenen Artikelstrukturen können diese repräsentativen Eigenschaften des Teilsortimentes sich stark von den Eigenschaften einzelner Artikel im Teilsortiment unterscheiden.

Im vorliegenden Beitrag soll deshalb die Frage beantwortet werden, welcher Unterschied sich bei der Bestimmung der Greifzeit mittels MTM ergibt, wenn das Sortiment in unterschiedlich viel Teilsortimente aufgesplittet wird. Als Vergleichsbasis dient eine Greifzeit, die basierend auf den Eigenschaften eines jeden einzelnen Artikels mittels MTM bestimmt wurde. Die Teilsortimente werden unter Berücksichtigung aller für die Greifzeit wichtigen Einflussfaktoren mit einem k-Means-Algorithmus in möglichst homogene Gruppen aufgeteilt. Dabei wird die Anzahl der Gruppen variiert. Im Anschluss werden für jedes Teilsortiment die repräsentativen Eigenschaften bestimmt, auf dessen Grundlage dann die MTM-Zeit für das Teilsortiment festgelegt wird. Die Untersuchung erfolgt auf Grundlage von zwei realen Datensätzen aus zwei unterschiedlichen Kommissioniersystemen. Die Datensätze bestehen aus den Artikelstammdaten und Auftragsdaten.

3 ANSÄTZE ZUR ERMITTLUNG VON PROZESSZEITEN FÜR MANUELLE TÄTIGKEITEN IN KOMMISSIONIERSYSTEMEN

Die benötigte Zeit für das Greifen und Ablegen von Artikeln hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Abmessung der Artikel (bzw. Entnahmeeinheiten)
- Gewicht der Artikel (bzw. Entnahmeeinheiten)
- Anzahl Entnahmeeinheiten pro Auftragsposition
- Mengen, die zurückgelegt werden müssen (z.B. wenn Kleinteile mit Hilfe einer Zählwaage abgezählt werden)
- Schwierigkeit des Greifens (vermischt liegend,...)
- Zugänglichkeit/Zugriffsmöglichkeit der Bereitstelleneinheit und der Sammeleinheit
- Position (Lagerfach) der Bereitstelleneinheit/Sammeleinheit und die daraus resultierende Körperhaltung
- Greiftiefen in Lagerfach/Bereitstelleneinheit
- Ablagetiefe in der Sammeleinheit

Einige dieser Aspekte können im Rahmen der Planung beeinflusst werden. Andere Aspekte sind hingegen Vorgaben, die nur bedingt im Rahmen der Planung beeinflussbar sind. Hierzu zählen z.B. die zu kommissionierenden Artikel mit ihren Eigenschaften.

Gudehus [Gud2000, S. 186] hat eine halbempirische Entnahmezeitformel entwickelt, die folgende Einflussfaktoren berücksichtigt:

- Gewicht der Entnahmeeinheit (g_{EE})
- Volumen der Entnahmeeinheit (v_{EE})
- Mittleren Greifhöhe (h_{gr})
- Mittlere Greiftiefe (b_{gr})
- Mittlere Ablagehöhe (h_{ab})
- Mittlere Ablagetiefe (b_{ab})
- Mittlere Ablagewinkel (γ_{ab})
- Mittlere Ablageentfernung (d_{ab})

Damit ergibt sich die Entnahmezeit pro Entnahmeeinheit (τ_{EE}) aus [Gud2000, S. 188]:

$$\tau_{EE} = 2 \cdot \left(\frac{1 + g_{EE}^2}{110} \right) \cdot \left(\frac{1 + v_{EE}^2}{18.000} \right) \cdot \left(0,3 + \text{MAX} \left\{ \frac{f(h_{gr})}{1,2}; \frac{b_{gr}}{1,6} \right\} + \text{MAX} \left\{ \frac{f(h_{ab})}{1,2}; \frac{b_{ab}}{1,6} \right\} + \text{MAX} \left\{ \frac{\gamma_{ab}}{1,2}; \frac{d_{ab}}{1,6} \right\} \right)$$

Dabei gilt:

$$f(h) = \begin{cases} \frac{(h_{max} - h_{min})}{2}, & h_{min} < 1 < h_{max} \\ \frac{(h_{max} - h_{min})}{2} - 1, & h_{min} > 1 \text{ oder } h_{max} < 1 \end{cases}$$

Gudehus verweist aber neben der von ihm entwickelte Greifzeitformel auf arbeitswissenschaftliche Verfahren wie Methods-Time-Measurement (MTM) und Workfactor (WF) zur Bestimmung der Greifzeit. Auf die gleichen Verfahren zur Bestimmung der Greifzeit und anderer manueller Tätigkeiten weist auch ten Hompel [Hom2011, S. 135] hin. Die Tabelle im Anhang A gibt einen kurzen Überblick über Veröffentlichungen und die dort enthaltenden Hinweise zur Bestimmung von Zeiten für manuelle Tätigkeiten in der Logistik/Kommissionierung. Eine Großzahl von Veröffentlichungen verweisen auf die Anwendung von MTM. In den Veröffentlichungen sind aber keine Aussagen zum Aufbau und zur Struktur der genutzten MTM-Analysen zu finden. Weiterhin finden sich keine Aussagen zur Ermittlung der Einflussgrößen für die MTM-Analysen.

Im Forschungsprojekt EfKom der Universität Stuttgart [Sti2014] wurde ein Ansatz entwickelt, wie auf der Basis von Daten aus einem bestehenden Kommissioniersystem die individuelle Leistung der Kommissionierer

ermittelt werden kann. Um die Leistung objektiv beurteilen zu können, müssen die Eigenschaften der bearbeiteten Kommissionieraufträge berücksichtigt werden. Dazu wurde eine Regressionsanalyse eingesetzt. Die Ergebnisse der Analyse können sowohl für eine individuelle Personaleinsatzplanung als auch für das Ableiten von Auftragsbearbeitungszeiten in Kommissioniersystemen genutzt werden. Ebenfalls im Rahmen des Forschungsprojektes EfKom wurden von Bauer et al. [Bau2015] firmenneutrale MTM-Prozessbausteine für die manuelle Person zur Ware Kommissionierung erarbeitet. In der Veröffentlichung wird aber nicht weiter auf die Anpassung der Bausteine (z.B. genutzte FFZ) und auf die Ermittlung von Einflussgrößen eingegangen.

Eine ähnliche Untersuchung haben Vries et al. [Vri2015] durchgeführt und experimentell die Leistungsfähigkeit von Kommissionierern ausgewertet. Im Fokus der Untersuchung stand dabei der Einfluss der Informationsverarbeitung auf das Kommissionieren. Allerdings fehlen auch hier Aussagen zur Ermittlung von Einflussgrößen.

In einer Forschungskoooperation zwischen der MAN Truck & Bus AG und der Technischen Universität München entwickelten Kelterborn et. al. [Kel2014; Mic2015] ein Referenzmodell zur Bestimmung von Bearbeitungszeiten bei der Kommissionierung in Supermärkten zur Produktionsversorgung. Es werden Parameter (Einflussfaktoren) und Skalierungsgrößen benannt. Die Bestimmung und der Einfluss der Parameter werden nicht diskutiert.

Turek et al. [Tur2008; Kre2010] haben eine umfangreiche Datenanalyse durchgeführt mit dem Ziel statistisch abgesicherte Aussagen zur Verteilung der Kommissionierzeit abzuleiten. Die Erkenntnis der Untersuchung ist, dass es deutliche Unterschiede zwischen den Logistiksystemen gibt, die sich durch die unterschiedlichen Arbeitsinhalte und Arbeitsumgebungen ergeben. Allgemeingültige Aussagen erfordern aber weitere Untersuchungen.

Grosse et al. [Gro2014; Gro2013b] untersuchen den Einfluss von individuellen (menschlichen) Einflussgrößen auf die Kommissionierleistung, wie z.B. die Motivation. Sie stützen sich dabei auf die Literatur und führen keine eigenen Versuche durch. Sie kommen zu der Erkenntnis, dass mentale/psychologische Aspekte die Leistung der Mitarbeiter beeinflussen können und stärker bei der Leistungsbewertung berücksichtigt werden sollten. Weiterhin veröffentlicht Grosse [Gro2013a] Ergebnisse einer Untersuchung, die den Einfluss der Lernkurve auf die Leistung von neuen Mitarbeitern analysiert hat.

3.1 EINSATZ VON MTM IN DER LOGISTIK

Die Entwicklung von MTM erfolgte vornehmlich für den Einsatz im Bereich der industriellen Fertigung. Logistische Aufgaben standen dabei nicht im Fokus. Viele Unternehmen nutzen MTM aber inzwischen auch für die Bewertung ihrer logistischen Prozesse. [Ste2003; Boo2006]

Im Jahr 2002 wurde dann durch die Deutsche MTM-Vereinigung das Bausteinsystem „Standardvorgänge Logistik“ (SVL) publiziert. [MTM2008, S. 9] Dieses spezielle Bausteinsystem für die Logistik umfasst Vorgangsfolgen für Stapler, Krane, Elektroschlepper, Handgabelhubwagen, Transportwagen, sowie Ergänzungswerte für die Handhabung. [Bok2012, S. 466]

Die enthaltenen Vorgangsfolgen für manuell ausgeführte Tätigkeiten basieren auf aggregierten UAS-Bausteinen, wobei im Rahmen der Aggregation Annahmen über die Ausführung der Tätigkeit und weitere Rahmenbedingungen getroffen wurden. Z.B. unterscheiden die SVL nicht mehr unterschiedliche Greifwege, vielmehr wird unterstellt, dass der Greifweg nicht länger als 80 cm ist. Damit muss diese zeitliche Einflussgröße bei der Analyse mit SVL nicht mehr berücksichtigt werden. [Deu2009, S. 74]

Es stellt sich aber die Frage, ob das SVL-Bausteinsystem für die Analyse von Kommissionierprozessen geeignet ist, da die Wahl des Bausteinsystems vom sogenannten Methodenniveau beeinflusst wird. Das Methodenniveau ist laut MTM als „die Qualität eines Arbeitsablaufes, abhängig von der Fertigkeit des Ausführenden und dem Organisationsgrad des Arbeitssystems“ definiert. [MTM2008, S. 28] Dies bedeutet, dass ein Mitarbeiter mit höherem Übungsgrad sich nicht schneller bewegen muss als ein Mitarbeiter mit geringerem Übungsgrad, allerdings sind die Bewegungsabläufe effizienter und es sind weniger Ausgleichsbewegungen notwendig. Sind die Arbeitsbedingungen so gestaltet, dass sich die wiederholenden Vorgänge sehr stark gleichen, ist dies auch ein Indiz für ein hohes Methodenniveau. [Gol2007b, S. 53] Bei der Erarbeitung der höher verdichteten Bausteinsysteme wurden der Übungsgrad und dessen Einfluss auf die Ausführungszeit berücksichtigt. [Deu2008, S. 7] Deshalb ist es wichtig, dass bei der Wahl des Bausteinsystems das für den Baustein unterstellte Methodenniveau zum Prozess der analysiert werden soll passt.

In der Logistik sind die Arbeitsinhalte häufig sehr unterschiedlich und zumeist unterscheidet sich auch der Übungsgrad der Mitarbeiter. Daraus ableiten lässt sich, dass in einem Kommissioniersystem zumeist ein Methodenniveau vorliegt, welches den Einsatz eines höherverdichteten Bausteinsystems (UAS, SVL) rechtfertigt. [Gol2007b, S. 54; Kuh2015, S. 193; Deu2009, S. 5] Allerdings sollten Kommissionierstationen bei Ware-zur-Person-Systemen separat betrachtet werden, da dies Arbeitsplätze sind, bei denen die Kriterien des Prozesstyps 2 (vergleichbar mit einer Serienfertigung) zutreffen und ggf. das Bausteinsystem MTM-2 zum Einsatz kommen muss. [Wic1994, S. 59]

Festzuhalten bleibt, dass eine Analyse von Logistikprozessen mittels MTM möglich ist. Die Herausforderung besteht dabei in der Berücksichtigung der unterschiedlichen Rahmenbedingungen, die für die gleiche Tätigkeit

vorliegen können. Diese sind in der Regel deutlich inhomogener als z.B. an Montagearbeitsplätzen. Dieses heterogene Profil der Einflussfaktoren hat zur Folge, dass die Analyse (zeitlich) aufwendiger wird oder, wenn die Analyse das heterogene Profil der Einflussfaktoren nicht berücksichtigt, die bestimmten Vorgabezeiten nicht realistisch sind.

Am Beispiel der Zeitwerttabelle für den Vorgang „Aufnehmen und Platzieren“ aus dem Bausteinsystem UAS soll die Sensitivität der MTM-Zeitwerte aufgezeigt werden. Um die Vorgabezeit für das „Aufnahmen und Platzieren“ zu analysieren, müssen das Gewicht des zu handhabenden Objektes, die Bewegungslänge (über welche Strecke muss sich der Arm bewegen), die Art, wie das Objekt aufzunehmen ist und wie genau das Objekt zu platzieren ist, spezifiziert werden. Die Abbildung 2 zeigt die prozentualen Veränderungen der Vorgabezeiten, wenn sich die Einflussgrößen verändern.

Gewicht	Aufnahme	Abgabe	Kode	Bewegungslänge			A → B	A → C	B → C
				A) ≤ 0,2 m	B) > 0,2 m bis ≤ 0,5 m	C) > 0,5 m bis ≤ 0,8 m			
≤ 1 kg	leicht	ungefähr	AA	20	35	50	75%	150%	43%
	schwierig	ungefähr	AD	20	45	60	125%	200%	33%
	Hand voll	ungefähr	AG	40	65	80	63%	100%	23%
> 1 bis ≤ 8 kg	ungefähr	AH		25	45	55	80%	120%	22%
> 8 bis ≤ 22 kg	ungefähr	AL		80	105	115	32%	44%	10%

Gewicht: 1 kg → 1-8 kg	25%	29%	10%
Gewicht: 1 kg → 8-22kg	300%	200%	130%
Gewicht: 1-8 kg → 8-22kg	220%	133%	109%

Aufnehmen: leicht → schwierig	0%	29%	20%
Aufnehmen: leicht → Hand voll	100%	86%	60%
Aufnehmen: schwierig → H. voll	100%	44%	60%

Zunahme der Vorgabezeit bei Veränderung der Einflussfaktoren

Abbildung 2. Veränderungen der MTM Vorgabezeiten für das Aufnehmen und Platzieren, wenn sich Einflussgrößen verändern

Aus den Werten in Abbildung 2 kann abgelesen werden, dass vor allem die Bewegungslänge die Ausführungszeit beeinflusst. Auch das Gewicht der Artikel spielt eine deutliche Rolle. Bei der Entnahme ist vor allem dann mit einer höheren Prozesszeit zu rechnen, wenn ein sogenannter Auswahlgriff (Hand voll) vorliegt, wie es oft bei der Kommissionierung von Schüttgut (z.B. kleine Normteile) der Fall ist. Die Unterscheidung der Fälle für die Ablage spielt beim Kommissionieren in den meisten Fällen keine Rolle, da es sich zumeist um ein „ungefähres“ Ablegen laut MTM-UAS handelt. Demnach ist es wichtig, dass die genannten Einflussgrößen bei der Ermittlung der spezifischen Vorgabezeit Berücksichtigung finden.

Aus den Eigenschaften der zu handhabenden Artikel lässt sich direkt die Einflussgröße Gewicht ableiten. Nicht im Tabellenwerk abgebildet, aber im dazugehörigen Regelwerk sind Hinweise zu den Abmessungen der Artikel zu finden. Das Handhaben von sperrigen Artikeln ist bei der

Analyse durch das Heranziehen der nächst höheren Gewichtsklasse zu berücksichtigen. Demnach ist das Handhaben von Artikeln, bei denen zwei Kanten länger als 30 cm sind oder eine Kante länger als 70 cm mit der nächst höheren Gewichtsklasse zu bewerten, was demnach auch zu einem relevanten Anstieg der Vorgabezeiten führt. Die Einordnung der Entnahme (einfach, schwierig, Hand voll) lässt sich nicht direkt aus den Artikelstammdaten ableiten. Ein Indikator für die Klassifizierung des Entnahmefalls ist aber die Füllmenge der Bereitstellereinheit. Weiterhin spielt die Geometrie des Artikels eine Rolle, wozu sich aber nur selten Informationen in den Stammdaten finden lassen.

Die Bewegungslänge (Strecke über die der Arm bewegt werden muss) hängt von verschiedenen Aspekten ab. Einer dieser Aspekte ist z.B. die Abmessung der Bereitstellereinheit. Unabhängig davon führt in den meisten Fällen der Kommissionierer vor der Entnahme eine Hilfsbewegung mit dem Körper aus (z.B. Schritt zum Lagerfach). Laut MTM-Regelwerk darf in diesem Fall die Bewegungslänge von 50 cm bis 80 cm nicht mehr analysiert werden, da unterstellt wird, dass der Kommissionierer sich so zum Entnahmeort platziert, dass er die Entnahmeeinheit einfach aufnehmen kann. Auch Handbewegungen in der Größenordnung bis 20 cm sind meist nicht in Kommissioniersystemen vorzufinden.

Als Schlussfolgerung aus den vorangestellten Ausführungen werden für die weiteren Untersuchungen die Einflussfaktoren Gewicht der Artikel, Abmessungen der Artikel und Füllmenge der Bereitstellereinheit berücksichtigt. Die Bewegungslänge wird immer mit einer Bewegungslänge 20 bis 50 cm bewertet.

Bisher finden sich in der Literatur noch keine Aussagen dazu, mit welcher Genauigkeit diese Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen beschrieben werden müssen, damit die Ergebnisse der Planung ausreichend genau sind. Die in diesem Beitrag beschriebene Untersuchung soll einen ersten Anhaltspunkt liefern.

4 VORGEHENSWEISE UND MODELL

In diesem Absatz sollen das Vorgehen bei der Untersuchung und die genutzten Cluster- und Berechnungsverfahren vorgestellt werden. In Abbildung 3 ist das Vorgehen dargestellt. Es beginnt mit der Erhebung und Aufbereitung der Daten, die teilweise in unterschiedlichen Datenquellen und -formaten zur Verfügung stehen. Für die Untersuchung müssen die Daten in ein einheitliches Format überführt und in die für die Untersuchung genutzte Software (eigens erstelltes Add-In für Excel) importiert werden.

Es kommt häufig vor, dass in den importierten Datensätzen sogenannte „Ausreißer“ vorkommen. Diese Datensätze unterscheiden sich deutlich von den Werten der anderen Datensätze und resultieren nicht selten aus Erfassungsfehlern. Es empfiehlt sich diese Datensätze zu

überprüfen und ggf. die Erfassungsfehler zu bereinigen oder diese Datensätze aus der Untersuchung auszuschließen. Für die Identifikation solcher Ausreißer-Datensätze wird in diesem Beitrag ein Verfahren angewendet, welches auf der Idee des Boxplot basiert.

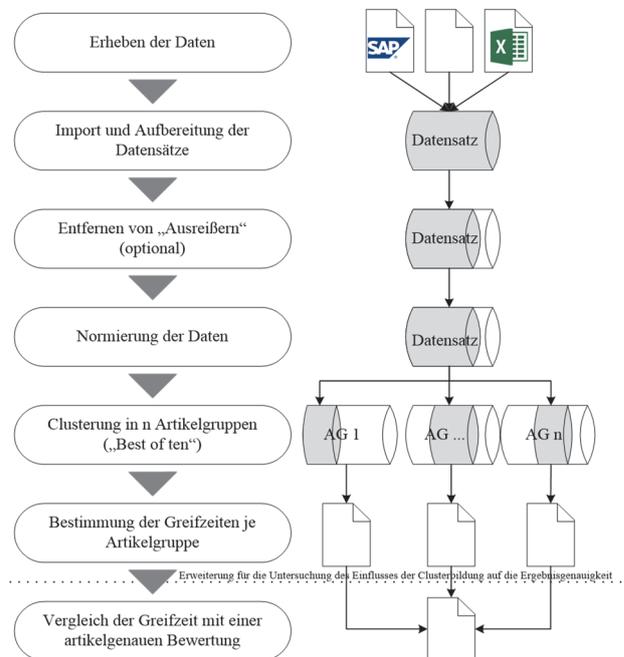


Abbildung 3. Vorgehen bei der Bestimmung von Greifzeiten basierend auf repräsentativen Eigenschaften von Artikelgruppen

Im folgenden Schritt erfolgt die Clusterung der Artikel in Artikelgruppen. Ziel der Clusterung ist die Bildung von Artikelgruppen, die hinsichtlich der ausgewählten Eigenschaften möglichst homogen sind. Im Anwendungsfall stehen die Arteikeigenschaften (e^{Typ}) im Mittelpunkt, die die Greifzeit beeinflussen. Dies sind das Artikelgewicht (e^{Gew}), die Abmessungen (e^{Abm}) der Artikel und die Füllmenge (e^{Fue}) der Bereitstellereinheit, die Einfluss auf die Art hat, wie ein Artikel gegriffen werden muss.

Wesentlich bei der Clusterung ist, dass die Eigenschaften der Artikel bei der Artikelgruppenbildung alle gleichzeitig berücksichtigt werden und nicht wie bei der Klassifizierung nacheinander Berücksichtigung finden. In dieser Untersuchung wird für die Clusterung ein k-Means-Algorithmus genutzt. Da die Werte(-bereiche) der einzelnen Arteikeigenschaften sich deutlich voneinander unterscheiden und dies das Ergebnis der Clusterung beeinflusst, ist es wichtig, dass die Werte vor der Clusterung normiert oder standardisiert werden. Ergebnis der Clusterung ist eine Aufteilung des Sortiments auf die Artikelgruppen.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Clusterung werden die repräsentativen Eigenschaften (Mittelwerte) der Gruppe bestimmt. Mit Hilfe dieser Eigenschaften wird die laut MTM-Zeitwerttabellen notwendige Greifzeit ermittelt. Diese ist für alle Artikel einer Artikelgruppe identisch.

Dadurch ergibt sich bei einigen Artikeln ein Unterschied zwischen der Greifzeit, die sich aus der Tabelle ergibt, wenn die eigenen Eigenschaften herangezogen werden im Vergleich zu dem Zeitwert, der sich aus den Eigenschaften der Artikelgruppe ergibt. Dieser Unterschied zwischen den Zeitwerten wird in dieser Untersuchung als Fehler bezeichnet.

Es wird davon ausgegangen (Hypothese), dass der mittlere Fehler über alle Artikel sich mit der Erhöhung der Anzahl an Artikelgruppen reduziert und damit die Prozesszeit exakter bestimmt werden kann, als wenn das gesamte Sortiment als eine Gruppe betrachtet wird. Bevor der entsprechende Nachweis geführt wird (Abschnitt 7), sollen in den folgenden Abschnitten noch das genutzte Clusterverfahren und die Bestimmung der MTM-Zeitwerte näher erläutert werden.

4.1 CLUSTERVERFAHREN

Die Clusteranalyse ist ein Verfahren um Objekte hinsichtlich bestimmter Kriterien zu gruppieren. [Kro2014, S. 232] Dabei sollen die Objekte zu Gruppen zusammengefasst werden, die sich hinsichtlich bestimmter Kriterien ähneln, also deren beschreibende Datenpunkte sehr nahe beieinander liegen. [Cle2015, S. 189] Dies führt zu homogenen Gruppen, die auch als Cluster bezeichnet werden. Weiterhin sollen die Gruppen untereinander aber sehr heterogen sein, sich also deutlich voneinander unterscheiden. [Bac2016, S. 455]

Die Clusteranalyse gehört zur Gruppe der explorativen Datenanalysetechniken und ermöglicht in einem großen und komplexen Datensatz eine erste Segmentierung der Daten. Eine Überprüfung, ob sich die gebildeten Cluster signifikant voneinander unterscheiden, nimmt die Clusteranalyse nicht vor. Damit kann nicht mit Gewissheit behauptet werden, dass sich die gebildeten Gruppen signifikant und statistisch abgesichert voneinander unterscheiden. [Cle2015, S. 190; Rab2004, S. 267] Wesentliche Eigenschaft aller Clusterverfahren ist, dass alle zu berücksichtigenden Eigenschaften der Objekte gleichzeitig zur Bildung der Gruppen herangezogen werden. [Bac2016, S. 455] Im Vergleich dazu wird bei der Klassifizierung jede Eigenschaft für sich stehend betrachtet.

Trotz der praktischen Bedeutung von hierarchischen Verfahren (agglomerativ), stoßen diese bei großen Datensätzen hinsichtlich der benötigten Rechnerleistung an ihre Grenzen. [Cle2015, S. 206] Bei großen Datensätzen, wie es oft bei Auftrags- und Artikeldaten der Fall ist, werden partitionierende Verfahren eingesetzt. Aus diesem Grund wurde für die vorliegende Untersuchung ein k-Means-Algorithmus als Clusterverfahren ausgewählt.

Der k-Means-Algorithmus ist ein iteratives Verfahren, bei dem die Artikel (der Menge A , indiziert mit k , wobei a die Mächtigkeit der Menge angibt) einer von mehreren vorher definierten Gruppen (der Menge C , indiziert mit m ,

wobei c die Mächtigkeit der Menge angibt) zugewiesen werden. Dabei wird die Anzahl (c) der Gruppen (Cluster) im Vorfeld festgelegt und eine erste Zuordnung der Artikel vorgenommen (Startlösung). In jedem Iterationsschritt wird der sogenannte Abstand (d_{km}), ein Ähnlichkeits- oder Distanzmaß, eines jeden Artikels zu allen Clusterschwerpunkten bestimmt und dann der Artikel dem Cluster zugeordnet, zu dessen Clusterschwerpunkt der Artikel den geringsten Abstand aufweist. Die Zuordnung erfolgt mittels Zuordnungsmatrix (Z^{AC} , wobei die Element der Matrix z_{km}^{AC} den Wert 1 annehmen, wenn der Artikel k der Gruppe m zugeordnet wird, andernfalls ist $z_{km}^{AC}=0$). Durch die veränderte Artikelzuordnung zu den Gruppen verschieben sich auch die Schwerpunkte der Cluster. Sind alle Artikel zugeordnet, wird der neue Cluster-Schwerpunkt berechnet, der durch die repräsentativen Eigenschaften der Gruppe (Schwerpunkt gegeben durch \vec{e}_m) definiert ist. Im Anschluss erfolgt erneut eine Bestimmung der Abstände der Artikel zu den Clusterschwerpunkten. Sollte der Abstand eines Artikels zu einer anderen Gruppe jetzt geringer sein als der Abstand zum Schwerpunkt der eigenen Gruppe, so wird die Zuordnung angepasst. Dieses Vorgehen wird wiederholt, bis in einem Iterationsschritt kein Artikel einer neuen Klasse zugeordnet wurde oder bis eine maximale Anzahl von Iterationen erreicht wurde. [Han2010, S. 414 ff.] Der beschriebene Ablauf ist in Abbildung 4 dargestellt.

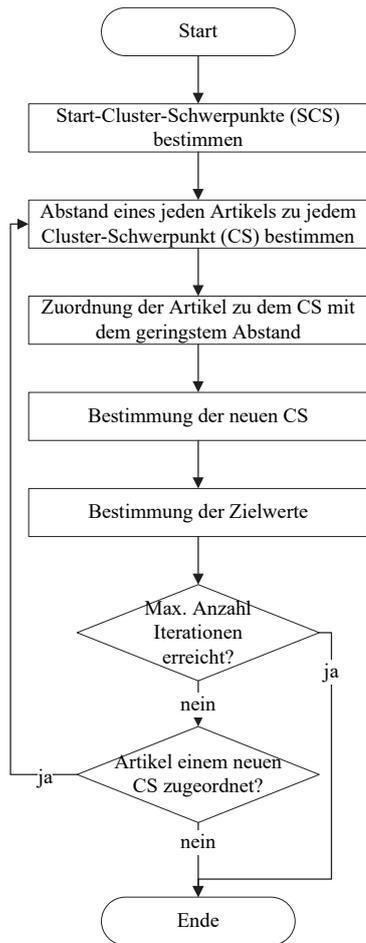


Abbildung 4. Schematischer Ablauf des k-Means-Algorithmus

Auf Grundlage der Abstände der Artikel zum Schwerpunkt ihres Clusters (d_{km}) kann die Streuungsquadratsumme (SQ_{in}) bestimmt werden. Diese spiegelt die Homogenität der Cluster wieder. Die Clusterung zielt darauf ab, dass die Streuungsquadratsumme der Abstände aller Artikel zu ihren Schwerpunkten ($SQ_{in}(C)$) minimiert wird.

$$SQ_{in}(C) = \sum_{(m \in C)} \sum_{(k \in A \wedge z_{km}^{AC} = 1)} d_{km}^2 \rightarrow \min!$$

Für eine gegebene Menge an Artikeln ist die Gesamtstreuungsquadratsumme (SQ_{Ges}) eine konstante Größe, die nicht von der Aufteilung der Artikel auf die Cluster abhängt, da sie aus der Summe des quadrierten Abstandes eines jeden Artikels zum Mittelpunkt der Gesamtmenge ergibt.

$$SQ_{Ges} = \sum_{k \in A} d_{kk}^2$$

mit

d_{kk} Distanz des Artikels k und des Schwerpunkts, der sich aus den Mittelwerten der Eigenschaften über alle Artikel ergibt.

Die Minimierung der Streuungsquadratsumme innerhalb der Cluster geht einher mit der Maximierung der Streuungsquadratsumme zwischen den Clustern (SQ_{ZW}), die sich wie folgt ergibt:

$$SQ_{ZW} = SQ_{Ges} - SQ_{in}(C) \rightarrow \max!$$

Die Wahl der Startlösung kann das Ergebnis beeinflussen. Eine zufällige Auswahl von Objekten als erster Klassenschwerpunkt ist ein klassisches Vorgehen bei der Generierung einer Startlösung für den k-Means-Algorithmus. [Bac2008, S. 335] Für jede der im Vorhinein definierten Gruppen wird zufällig ein Artikel als Clusterschwerpunkt ausgewählt. Die Qualität der Lösung, also der sich ergebende quadrierte Gesamtabstand SQ_{in} unterscheidet sich zwischen den einzelnen Durchführungen (Clusterläufen). In Abbildung 5 sind die Streuungsquadratsummen von 10 Clusterläufen für den Datensatz DS I (siehe Abschnitt 5) dargestellt. Die Werte für SQ_{in} unterscheiden sich um bis zu 1,7 %. Daraus lässt sich ableiten, dass wenn die Startlösung zufällig generiert wird, es empfehlenswert ist mehrere Clusterläufe durchzuführen und im Anschluss den Lauf mit dem besten Zielwert auszuwählen. Der Einfluss auf die Fragestellung der in diesem Beitrag thematisierten Fragestellung wird allerdings als gering eingeschätzt. Aus diesem Grund wurden bei dieser Untersuchung pro Datensatz und Anzahl vorgegebener Cluster nur fünf Clusterläufe durchgeführt und für die weitere Untersuchung der Clusterlauf mit der geringsten Streuungsquadratsumme ausgewählt.

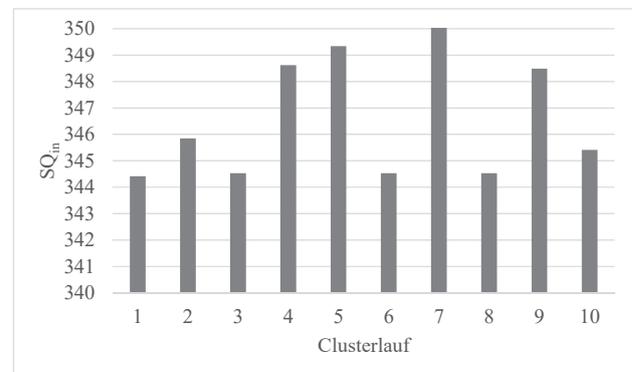


Abbildung 5. Darstellung der unterschiedlichen Streuungsquadratsummen für 10 Clusterläufe mit unterschiedlichen zufällig gewählten Startlösungen (DS I, 10 Cluster)

Der Unterschied zwischen zwei Artikeln wird in dieser Untersuchung mittels einer Distanz quantifiziert und nicht durch ein Ähnlichkeitsmaß beschrieben. Eine Distanz ist dann geeignet, wenn der absolute Unterschied (Abstand) zwischen den Objekten wichtig ist und nicht ein ähnlicher Verlauf von Eigenschaftsprofilen der Objekte. [Bac2016, S. 472]

Die Eigenschaften, die in dieser Untersuchung bei der Clusterung berücksichtigt werden, lassen sich mittels einer

metrischer Eigenschaftsstruktur beschrieben. Ein weitverbreitetes Distanzmaß für metrische Eigenschaftsstrukturen ist die Minkowski-Metrik. [Bac2016, S. 468]

$$d_{km} = \left[\sum_{Typ \in T} |e_m^{Typ} - e_k^{Typ}|^r \right]^{\frac{1}{r}}$$

mit

d_{km} Distanz des Artikels k und der Artikelgruppe m

e_k^{Typ} Wert der Eigenschaft „Typ“ für den Artikel k

e_m^{Typ} Wert der Eigenschaft „Typ“ des SC m

$r \geq 1$ Minkowski-Konstante

T Menge an zu berücksichtigenden Eigenschaften
 $T := \{Gew; Abm; Fue\}$

Wird für die Minkowski-Konstante der Wert 1 angenommen, wird die Distanz auch als Manhattan-Distanz bezeichnet. Für den Wert 2 ergibt die Minkowski-Metrik die euklidische Distanz. Die Wahl der Minkowski-Konstante beeinflusst das Distanzmaß. Die Quadrierung der Differenzen bei der euklidischen Distanz führt zu einer stärkeren Gewichtung von großen Unterschieden. Für die hier beschriebenen Untersuchung wurde eine Minkowski-Konstante von $r=2$ gewählt um die Unterschiede stärker zu gewichten.

Vor der Clusterung wurden die Eigenschaftswerte der Artikel normalisiert, damit für alle Eigenschaften die Werte im Wertebereich zwischen null und eins liegen und es nicht durch die unterschiedlichen Einheiten bzw. Wertebereiche der Eigenschaften zu einer stärkeren Gewichtung von Unterschieden bei einzelnen Eigenschaften kommt.

$$\hat{e}_k^{Typ} = \frac{e_k^{Typ} - e_{min}^{Typ}}{e_{max}^{Typ} - e_{min}^{Typ}}$$

mit

e_k^{Typ} Wert der Eigenschaft Typ für den Artikel k

e_{min}^{Typ} kleinster Wert der Eigenschaft Typ aus allen Eigenschaftswerten der Menge an Artikeln

e_{max}^{Typ} größter Wert der Eigenschaft Typ aus allen Eigenschaftswerten der Menge Artikeln

\hat{e}_k^{Typ} normierter Wert der Eigenschaft Typ für den Artikel k

4.2 BESTIMMUNG DER MTM-ZEITEN FÜR DAS GREIFEN UND ABLEGEN DER ENTNAHMEEINHEITEN

Basis für die Ermittlung der Vorgabezeit ist der Vorgang „Aufnehmen und Platzieren“ aus dem MTM-Bausteinsystem UAS (Universelles Analysier System), wobei die im Abschnitt 3.1 hergeleiteten Annahmen gelten:

- Bewegungslänge ist immer im Bereich zwischen 20 cm und 50 cm
- Es erfolgt immer eine ungefähre Ablage

Damit ergeben sich aus der Diskussion in Abschnitt 2 die folgenden Einflussfaktoren, die bei der Bestimmung der Vorgabezeit Berücksichtigung finden:

- Gewicht
- Art des Aufnehmens (nur bei Artikeln bis zu einem Gewicht von 1 kg relevant, die nicht sperrig sind)
- Abmessung

Das Gewicht (e_k^{Gew}) wird aus den Artikelstammdaten bestimmt. Bei der zeitlichen Bewertung von Artikelgruppen wird der Mittelwert (e_m^{Gew}) aller in der Artikelgruppe enthaltenen Artikel herangezogen.

Als Indikator für die Art des Aufnehmens dient die Füllmenge der Bereitstelleinheit eines Artikels (e_k^{Fue}), die meist Bestandteil der Artikelstammdaten ist. Analog zur Eigenschaft Gewicht wird für die Artikelgruppe der Mittelwert (e_m^{Fue}) über die Artikel der entsprechenden Gruppe gebildet. Die Grenzwerte für das schwierige Aufnehmen und das Handvoll-Aufnehmen sind aus verschiedenen selbst durchgeführten Prozesszeitanalysen abgeleitet. Dabei wird das schwierige Greifen ab einer Füllmenge von 30 EE pro Bereitstelleinheit analysiert und das Handvoll-Greifen ab einer Füllmenge von 80 EE pro Bereitstelleinheit. Grundsätzlich gilt allerdings, dass diese Kennzahlen für jeden Anwendungsfall zu überprüfen sind.

Um zu entscheiden, ob es sich um einen sperrigen Artikel handelt, muss zum einen geprüft werden, ob eine Abmessung (Seite) des Artikels größer als 70 cm ist oder es mindestens zwei Seiten mit einer Länge von mehr als jeweils 30 cm gibt. Ist dies der Fall, wird der Eigenschaftswert für die Abmessung (e_k^{Abm}) auf den Wert 60 cm oder höher gesetzt. Der genaue Wert ergibt sich aus der Summe der beiden größten Seitenabmessungen. In dem Fall, dass eine Seite des Artikels z.B. 65 cm lang ist und die beiden anderen Seiten nur 7 cm, wird die Abmessung auf einen Wert von 59 cm gesetzt (nicht sperrig). Im Vorfeld der Untersuchung wurden verschiedene Ansätze für die Ermittlung der repräsentativen Eigenschaft „Abmessung“ einer Artikelgruppe durchgeführt. Neben der Mittelwertbildung

wie für das Gewicht oder die Füllmenge wurde ein Verfahren untersucht, bei dem die Eigenschaft Abmessung entweder durch den Wert Null (nicht Sperrig) oder Eins (Sperrig) repräsentiert wurde. Als repräsentative Eigenschaft wurde dann der Median der Gruppe herangezogen. Die sich ergebenden Unterschiede zwischen den beiden Ansätzen waren relativ klein, so dass auch für die Bestimmung der repräsentativen Eigenschaft Abmessung der Mittelwert aus den Eigenschaftswerten der Artikel der Gruppe gebildet wird.

Anhand der Eigenschaften eines Artikels bzw. einer Artikelgruppe kann der entsprechende Zeitwert für das Kommissionieren einer Entnahmeeinheit von diesem Artikel identifiziert werden. Abbildung 6 soll dies grafisch veranschaulichen indem der Pfad zur Festlegung des Zeitwertes durch die Tabelle in Abhängigkeit der Eigenschaften der Artikel A und B dargestellt ist.

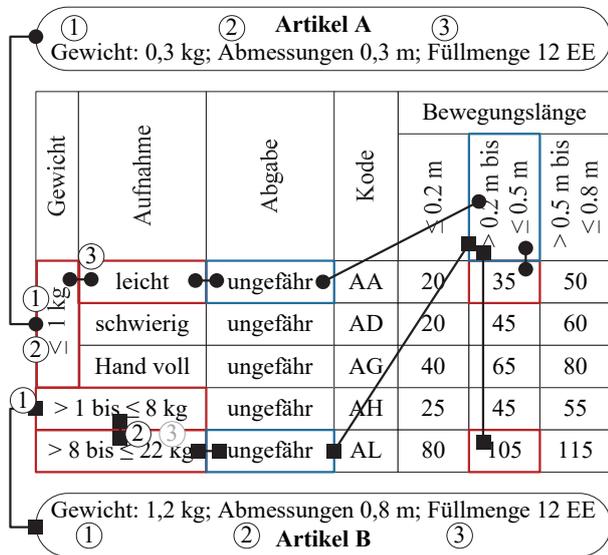


Abbildung 6. Bestimmung der Vorgabezeit für definierte Einflussgrößen aus der Zeitwerttabelle (schematische Darstellung)

Es soll an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen werden, dass diese Untersuchung nicht die komplette Bearbeitungszeit und auch nicht die komplette Greifzeit betrachtet. Für eine vollständige Bestimmung der Greifzeit müssten die (Hilfs-)Körperbewegungen analysiert werden. Diese sind unter anderem von der eingesetzten Regaltechnik/Bereitstelltechnik, von der Einlagerstrategie und dem Transporthilfsmittel abhängig, welche primär durch Planungsentscheidungen definiert werden.

5 GENUTZTE DATEN FÜR DIE UNTERSUCHUNG

Für die Untersuchung wurden zwei Datensätze verwendet, die von zwei unterschiedlichen Unternehmen zur Verfügung gestellt wurden. Der erste Datensatz (DSI) repräsentiert typische Artikel- und Auftragsstrukturen im eCommerce, wenn primär private Kunden beliefert werden

und die Artikel relativ klein und leicht sind. Der zweite Datensatz (DSII) stammt von einem Unternehmen, welches Ersatzteile für den Maschinen- und Fahrzeugbau bevorratet und an den Kunden oder die Servicemitarbeiter ausliefert. In Tabelle 1 wird die Größe der beiden Datensätze anhand der Anzahl Artikel, Aufträge, Positionen und Entnahmeeinheiten (EE) verglichen

Tabelle 1. Umfang der Datensätze DSI und DSII

DS	Anzahl Artikel	Anzahl Aufträge	Anzahl Positionen	Anzahl EE
I	3.828	4.880	17.928	30.785
II	3.977	2.440	15.907	31.224

Die für die Bestimmung der Greifzeit wesentlichen Eigenschaften der beiden Datensätze sind in Abbildung 7 dargestellt.

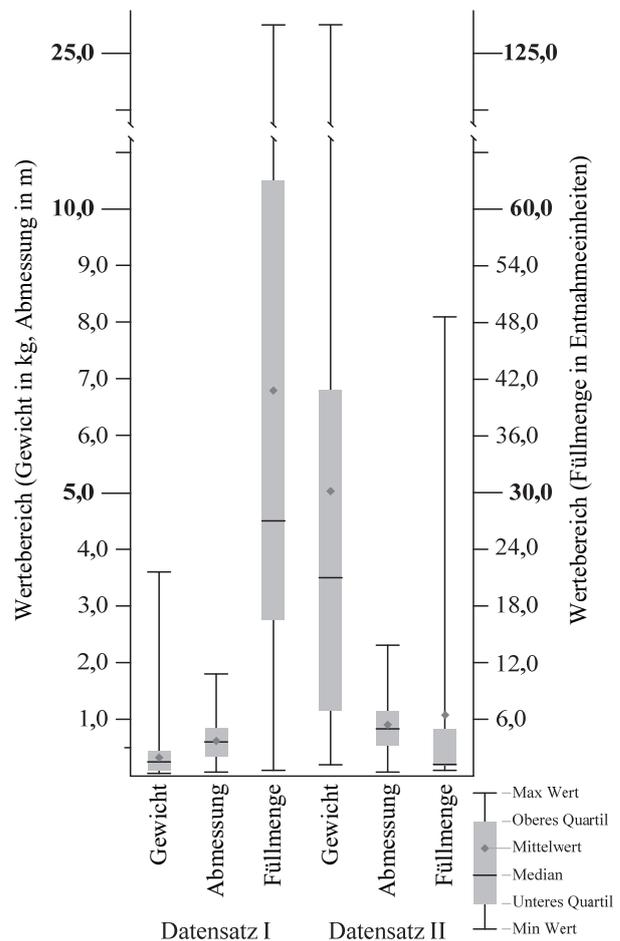


Abbildung 7. Wertebereiche der wesentlichen Artikeleigenschaften (DSI und DSII) für die Bestimmung der Greifzeit

Beim Vergleich der beiden Datensätze fällt auf, dass die Gewichte der Entnahmeeinheiten im DSI deutlich homogener sind als im DSII. Diese unterschiedlichen Ge-

wichtsverteilungen im DSI und DSII sollen es ermöglichen, den Einfluss des Gewichtes auf die Greifzeit besser zu beurteilen. Ein weiterer Unterschied zwischen den Datensätze ist bei der Füllmenge erkennbar, die wie im Absatz 4 dargestellt die Art der Aufnahme beeinflusst.

Vor allem bei den Eigenschaften „Gewicht“ (DSII) und „Füllmenge“ (DSI) ist zu erkennen, dass sich der Wert für den Median und der arithmetische Mittelwert deutlich unterscheiden. Der Mittelwert wird in diesen beiden Fällen von den hohen Werten einzelner Artikel erhöht und repräsentiert nur noch bedingt den Großteil der Artikel.

Mit Hilfe der Auftragsdaten wird zum Abschluss der Untersuchung die Auswirkung auf den Ressourcenbedarf anhand der beiden praktischen Anwendungsfälle aufgezeigt. Die wesentlichen Eigenschaften der Aufträge für die Bestimmung der Greifzeit sind dabei die Anzahl der Positionen, die Anzahl der Entnahmeeinheiten pro Position und der entsprechende Artikel je Position, der die Verbindung zu den Artikelstammdaten herstellt. Die Abbildung 8 visualisiert die Eigenschaften Anzahl Positionen und Menge pro Position für den beiden Datensätze.

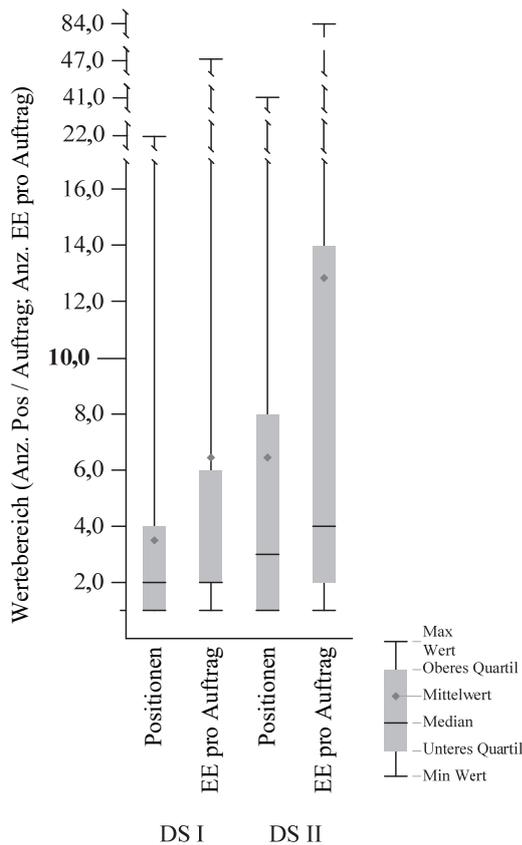


Abbildung 8. Wesentliche Eigenschaften der Auftragsdaten der Datensätze DSI und DSII

In der Abbildung 8 ist zu erkennen, dass die Aufträge im DS II deutlich größer sind als die Aufträge im DS I. Des Weiteren lässt sich auch bei den Auftragseigenschaften ein deutlicher Unterschied zwischen dem Median und dem

Mittelwert erkennen. Aus diesem Grund stellt sich ähnlich wie bei den Artikeleigenschaften die Frage, wie gut sich die Eigenschaften einer Menge (Teilmenge) an Aufträgen durch die Mittelwerte der Eigenschaften beschreiben lassen.

6 UNTERSUCHUNGEN

Bevor im Abschnitt 7 die Ergebnisse dargestellt werden, sollen die durchgeführten Untersuchungen aufgezeigt werden.

Für die Untersuchung wurde zwei Datensätze (DS I und DS II) und das MTM-Bausteinsystem UAS genutzt. Es wurden 14 Fälle untersucht, bei denen das Sortiment in eine unterschiedliche Anzahl von Teilsortimenten (Gruppen) mittels k-Means-Algorithmus aufgeteilt wurde, beginnend bei nur einer Gruppe bis hin zur Einzelbetrachtung eines jeden Artikels. Der Abbildung 9 können die untersuchten Fälle entnommen werden. Zusätzlich wurde noch der Einfluss der Ausreißer untersucht (im Beitrag nicht dargestellt).

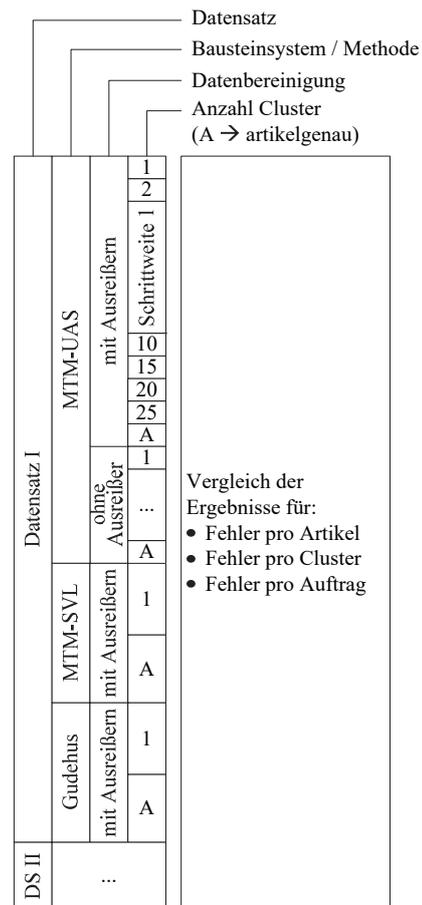


Abbildung 9. Aufbau und Struktur der Untersuchung

In einer weiteren Untersuchung wurden die MTM-Bausteinsysteme MTM-UAS und MTM-SLV miteinander verglichen. Hierfür wurden nur zwei unterschiedliche

Fälle herangezogen (eine Gruppe und eine separate Betrachtung eines jeden Artikels). Den beiden MTM-Bausteinsystemen werden die Ergebnisse der halbempirischen Greifzeitformel nach Gudehus gegenübergestellt.

7 ERGEBNISSE

7.1 CLUSTERUNG DER ARTIKEL

Der Verlauf der Streuungsquadratsumme in Abhängigkeit von der Anzahl an Clustern ist in Abbildung 10 für DS I und in Abbildung 11 für DS II zu sehen. Mit zunehmender Anzahl an Gruppen wird die Streuungsquadratsumme SQ_{in} kleiner, was als Indiz dafür gewertet werden kann, dass die Abweichung der Eigenschaften der Artikel zum Clusterschwerpunkt (repräsentative Eigenschaften) geringer wird. Die zusätzliche Reduzierung von SQ_{in} , die durch die Erhöhung der Gruppenanzahl erreicht werden kann, nimmt mit steigender Anzahl an Gruppen stark ab.

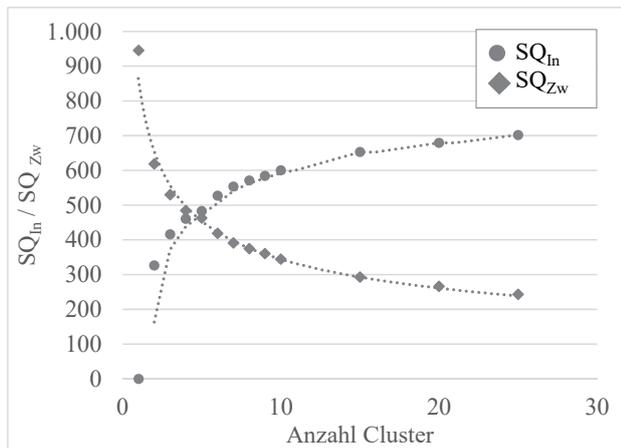


Abbildung 10. Streuungsquadratsummen in Abhängigkeit von der Anzahl der gewählten Cluster für DS I

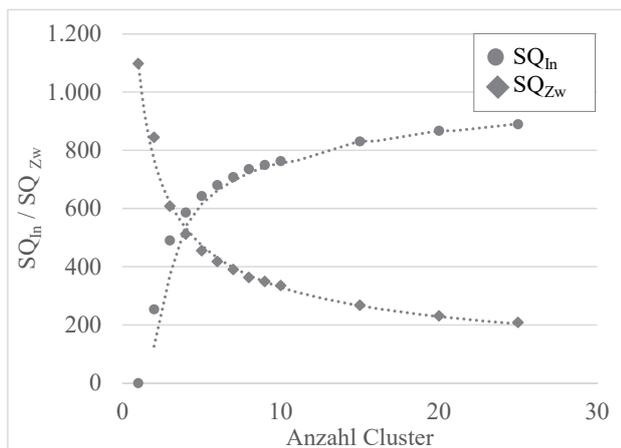


Abbildung 11. Streuungsquadratsummen (Kreis - S_{in} und Raute - SQ_{Zw}) in Abhängigkeit von der Anzahl der gewählten Cluster für DS II

Eine Analyse der Mittelwerte und Mediane für die einzelnen Eigenschaften je Artikelgruppe zeigt, dass es ab einer Gruppenanzahl von drei kaum mehr nennenswerte Unterschiede zwischen Median und Mittelwert einer Artikelgruppe gibt. Damit werden die Eigenschaften der Artikel einer Artikelgruppe deutlich besser von den repräsentativen Eigenschaften der Gruppe vertreten als dies der Fall ist, wenn keine Gruppierung vorgenommen wird. Nichtsdestoweniger gibt es am Rand der einzelnen Artikelgruppen immer noch deutliche Unterschiede zwischen den Artikel- und den Gruppeneigenschaften, die dazu führen können, dass ein Fehler zwischen der Vorgabezeit der Artikelgruppe und der artikelspezifischen Pickzeit auftreten kann.

Beispielhaft soll in Abbildung 12 für die Eigenschaften Füllmenge und Gewicht die Lage der repräsentativen Eigenschaften (Schwerpunkte) bei vier Gruppen dargestellt werden.

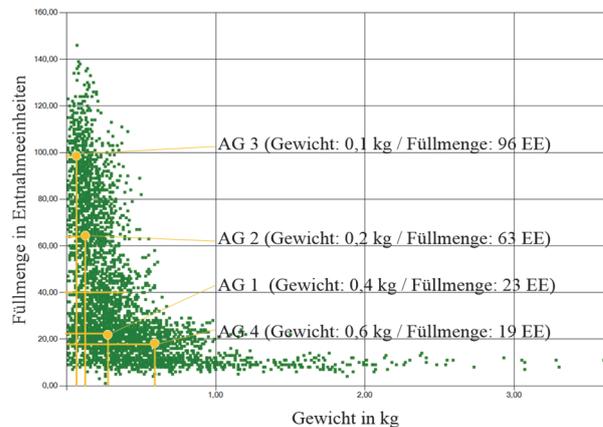


Abbildung 12. Beispiel für die Lage der Schwerpunkte bei 4 Clustern, DS I (nicht dargestellt ist die Eigenschaft Abmessung, welche auch die Lage der Schwerpunkte beeinflusst)

7.2 FEHLER

Die zentrale Fragestellung des vorliegenden Beitrages ist die Untersuchung des Unterschiedes in den MTM-Vorgabezeiten, wenn diese nicht auf Grundlage der jeweiligen Artikeleigenschaften, sondern auf Basis der repräsentativen Eigenschaften einer ganzen Gruppe (Teilsortiment) festgelegt werden. Der Unterschied wird in diesem Beitrag als Fehler bezeichnet (wobei ein negativer Fehler auf eine höhere Greifzeit bei der Bestimmung über die Artikelgruppe hinweist).

$$\tau_{Fehler} = \tau_A - \tau_C$$

mit

τ_A Greifzeit für einen Artikel, bestimmt auf Basis der artikelspezifischen Eigenschaften

τ_C Greifzeit für einen Artikel, bestimmt auf Basis der repräsentativen Eigenschaften der Artikelgruppe, derer der Artikel zugeordnet wurde

Die Abbildung 13 zeigt für jede untersuchte Anzahl an Clustern den mittleren Fehler über alle Artikel des Sortiments.

Zu erkennen ist, dass der mittlere Fehler vor allem beim DS II und einer geringen Anzahl von Artikelgruppen sehr groß ist. Der mittlere Fehler reduziert sich mit steigender Anzahl an Artikelgruppen. Allerdings kann keine eindeutige Tendenz festgestellt werden. In bestimmten Konstellationen nimmt der mittlere Fehler bei einer höheren Anzahl von Clustern einen größeren Wert an als bei einer geringeren Anzahl von Clustern. Ursache hierfür ist, dass die Clusterung auf der Grundlage der nominalen Werte der Arteikeigenschaften erfolgt und Grenzwerte für die Einflussgrößen bei der Bestimmung der MTM-Vorgabezeiten keinen Einfluss auf die Clusterung haben. Liegen Schwerpunkte von Gruppen nahe an den Grenzwerten, ist es sehr wahrscheinlich, dass es Artikel in der Gruppe gibt, denen einzeln betrachtet andere Vorgabezeiten zugeordnet würden.

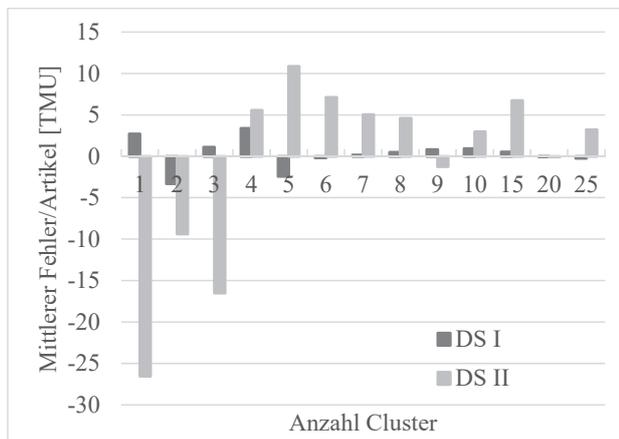


Abbildung 13. Mittlerer Fehler pro Artikel in TMU für den DS I und DS II

In der Abbildung 14 ist der Anteil der Artikel (DS I) mit der Abweichung (Fehler) zwischen der artikelspezifischen Greifzeit und der Greifzeit, die sich aus den repräsentativen Eigenschaften der Artikelgruppe ergibt, dargestellt. Ohne Gruppierung ($c=1$) gibt es bei 59% der Artikel eine Übereinstimmung der beiden Pickzeiten. Eine Aufteilung des Sortiments in vier Gruppen ($c=4$) hat zur Folge, dass bereits bei 84% der Artikel keine Abweichung zwischen den Pickzeiten mehr auftritt.

Im Anhang B und C finden sich Histogramme zu den Abweichungen (Fehlern) für beide Datensätze und alle untersuchten Clusteranzahlen.

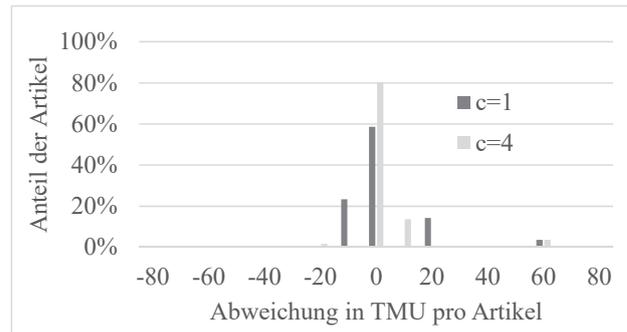


Abbildung 14. Anteil der Artikel des DS I, die einen Fehler in Höhe von x TMU aufweisen; Zwei Clusterläufe mit $c=1$ Artikelgruppe (gesamtes Sortiment) und $c=4$ Artikelgruppen

Eine genauere Betrachtung der Kennwerte zeigt, dass der Fehler mit der Streuung der Werte einer Artikelgruppe um den repräsentativen Wert für die Eigenschaften „Gewicht“ und „Füllmenge“ korreliert. Umso größer die Streuung für diese beiden Einflussfaktoren ist, umso höher ist auch der Fehler innerhalb der Gruppe.

Festzuhalten bleibt, dass der sogenannte Fehler bei der Bestimmung der Greifzeit sich deutlich reduzieren lässt, wenn das Sortiment nicht als eine Gruppe aufgefasst wird, sondern in mehrere Artikelgruppen aufgesplittet wird.

Der Fehler kann wie bei der artikelspezifischen Betrachtung eliminiert werden, wenn die Artikel anhand der Grenzwerte für jede Einflussgröße klassifiziert werden. Unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen wären dies zehn Gruppen. Werden nicht nur das Greifen, sondern auch andere Prozessschritte berücksichtigt, wird die Anzahl der Einflussgrößen deutlich größer. Eine Kombination aller Einflussgrößen und ihrer Grenzwerte würden dann zu einer sehr hohen Anzahl an Artikelgruppen führen, die im Rahmen der Planung nur noch von Softwareprodukten beherrschbar wäre.

7.3 AUSWIRKUNGEN AUF DEN RESSOURCENBEDARF

Wie Eingangs festgestellt, zählt die Kommissionierung zu den personalintensivsten Bereichen der Logistik. Bereits in der Grobplanung ist es wichtig, dass der erwartete Personalbedarf solide kalkuliert wird. Die Anforderungen an die Genauigkeit in der Planung steigen, wenn im operativen Betrieb z.B. die Mitarbeiterinsatzplanung durchzuführen ist.

Um die tatsächlichen Unterschiede im Mitarbeiterbedarf anhand der beiden Kommissioniersysteme zu quantifizieren, wurde für die im Datensatz enthaltenen Aufträge (Aufträge einer Woche) der Mitarbeiterbedarf basierend auf der artikelspezifisch festgelegten Greifzeit (A, unabhängig von der Aufteilung des Sortiments in Artikelgruppen) und der auf Grundlage der Artikelgruppen festgelegten Greifzeit (B) kalkuliert. Der Unterschied ist der höhere bzw. geringere Personalbedarf in Mitarbeiterstunden (C).

Die Höhe der Abweichung ist dabei von der Auftragszusammensetzung abhängig, da die Artikel unterschiedlich oft in den Aufträgen vorkommen und sich auch die Mengen pro Position unterscheiden.

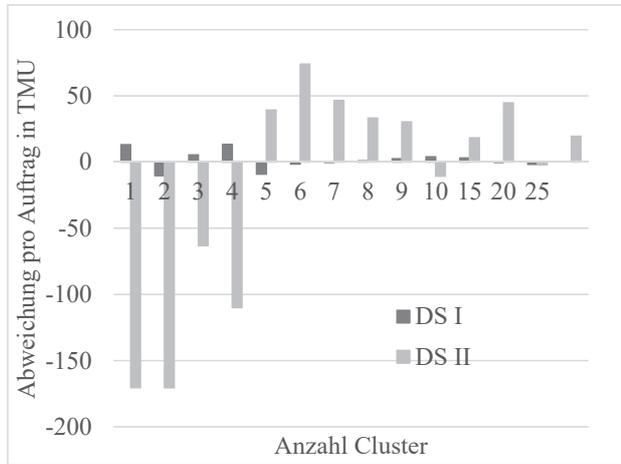


Abbildung 15. Mittlerer Fehler pro Auftrag in Abhängigkeit der Anzahl Cluster

Abbildung 15 zeigt den Verlauf des mittleren Fehlers pro Auftrag. Dies entspricht also der Zeit, um die die Ermittlung der Vorgabezeiten über die Eigenschaften der Artikelgruppe von den Vorgabezeiten auf Basis der konkreten Artikeleigenschaften abweicht. Deutlich sind die Abweichungen für DS II, was sich auch im Vergleich der Mitarbeiterstunden (Tabelle 2) zeigt.

Tabelle 2. Vergleich der ermittelten Mitarbeiterstunden

Cl.	DS I A	DS I B	DS I C	DS II A	DS II B	DS II C
1	8,7	8,1	-0,6	12,5	16,7	4,2
2	8,7	9,2	0,5	12,5	14,1	1,5
3	8,7	8,5	-0,3	12,5	15,2	2,7
4	8,7	8,1	-0,7	12,5	11,6	-1,0
5	8,7	9,2	0,5	12,5	10,7	-1,8
10	8,7	8,5	-0,2	12,5	12,1	-0,4
15	8,7	8,6	-0,1	12,5	11,5	-1,1
20	8,7	8,7	0,0	12,5	12,6	0,1
25	8,7	8,8	0,1	12,5	12,1	-0,5

Cl. – Clusteranzahl
 A – Mitarbeiterstunden laut MTM-UAS und Artikeleigenschaften
 B – Mitarbeiterstunden laut MTM-UAS und Artikelgruppeneigenschaften
 C – Differenz aus A und B(Fehler)

Liegen die Abweichungen zwischen der artikelgenauen Betrachtung und der Ermittlung auf Grundlage der

Eigenschaften der Artikelgruppe für DS I im Bereich kleiner eine Stunde für das Set an 3.828 Aufträgen, so summieren sich die Unterschiede im DS II auf bis zu 4 Stunden (bei nur einer Artikelgruppe auf).

Neben dem bereits im vorangestellten Kapitel analysierten Fehler je Artikel beeinflusst die Auftragsstruktur den Fehler pro Auftrag. In Abbildung 16 und Abbildung 17 sind exemplarisch der Verlauf des Fehlers pro Auftrag in Abhängigkeit von der Anzahl Positionen pro Auftrag bzw. der Anzahl EE pro Auftrag dargestellt.

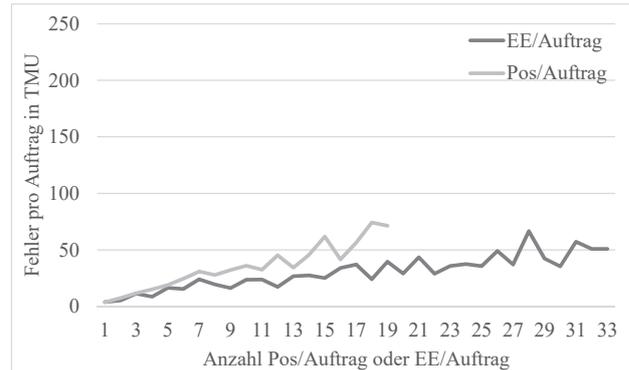


Abbildung 16. Verlauf des Fehlers pro Auftrag in Abhängigkeit der Anzahl Positionen pro Auftrag bzw. EE/Auftrag (DS I c=4)

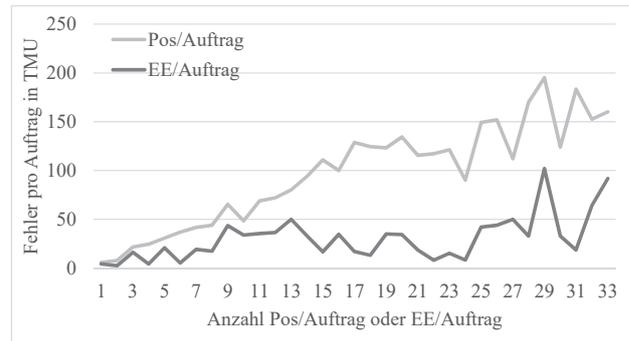


Abbildung 17. Verlauf des Fehlers pro Auftrag in Abhängigkeit der Anzahl Positionen pro Auftrag bzw. EE/Auftrag (DS II c=4)

In den beiden Abbildungen ist zu erkennen, dass der Fehler pro Auftrag bei einer steigenden Anzahl Positionen oder Entnahmeeinheiten zunimmt. Diese Aussage ist für alle Clusteranzahlen zu verallgemeinern, wenn der Betrag des Fehlers pro Auftrag betrachtet wird. Bei der Clusterung in vier Gruppen zeigt die Auswertung im Anhang B und C, dass die Werte der Artikelgruppen eher kleiner als die artikelespezifischen Zeiten waren. Bei der Clusterung in fünf Gruppen ist der mittlere Fehler pro Artikel für DS I negativ. Als Konsequenz daraus wird der Fehler pro Auftrag bei steigender Anzahl Positionen oder Entnahmeeinheiten immer kleiner.

7.4 FEHLER IM VERGLEICH ZU DEN STANDARDVORGÄNGEN LOGISTIK

Neben der Ermittlung der Einflussgrößen hat auch die Wahl des MTM-Bausteinsystems Einfluss auf die ermittelte Vorgabezeit. Aus diesem Grund soll an dieser Stelle der Fehler untersucht werden, der sich ergibt, wenn statt MTM-UAS das Bausteinsystem MTM-SVL gewählt wird.

Im ersten Schritt wurde für jeden Artikel anhand seiner Eigenschaften die Entnahmezeit bestimmt. Die Ergebnisse finden sich in Abbildung 18 und Abbildung 19. Der Vergleich der Ergebnisse zwischen MTM-UAS und MTM-SLV zeigt, dass die Vorgabezeiten im Bausteinsystem MTM-SLV meist höher sind als bei einer Analyse mit MTM-UAS. Dies ist nicht verwunderlich, da MTM-SLV ein höherverdichtetes Bausteinsystem ist. Der mittlere Fehler (Betrag der Differenz zwischen den Vorgabezeiten der beiden Bausteinsysteme) für das DS I beträgt 10,82 TMU. Fast der gleiche mittlere Unterschied mit 10,83 TMU ergibt sich auf für das DS II.

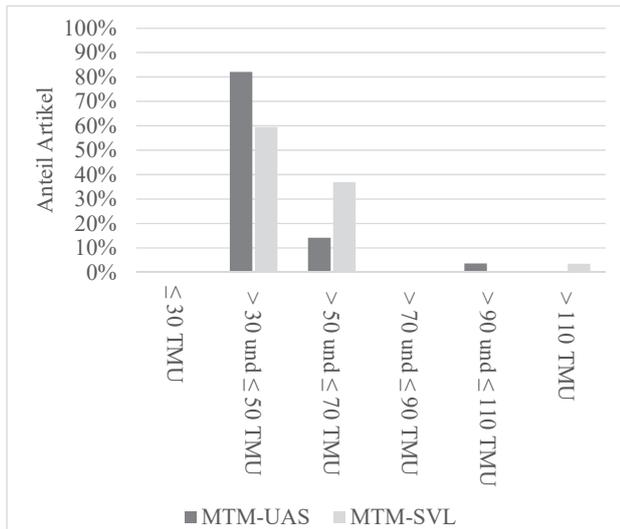


Abbildung 18. Bestimmung der Greifzeit anhand der Articleigenschaften für DS I; Anteil der Artikel in den angegebenen Zeitklassen.

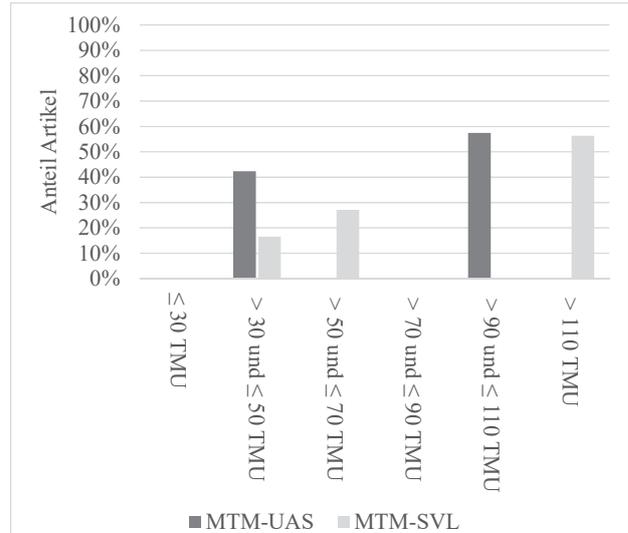


Abbildung 19. Bestimmung der Greifzeit anhand der Articleigenschaften für DS II; Anteil der Artikel in den angegebenen Zeitklassen.

Im zweiten Schritt wurde für beide Datensätze die Greifzeit anhand der Mittelwerte für die Einflussgrößen - gebildet über alle Artikel des Datensatzes mit MTM-UAS und MTM-SVL - bestimmt. Die Ergebnisse können der Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3. Vergleich der Vorgabezeiten in TMU

DS	Anzahl Cluster	MTM-UAS	MTM-SVL
I	1	35	50
I	A	47 ¹⁾	54 ¹⁾
II	I	105	115
II	A	78 ¹⁾	88 ¹⁾

1) Mittelwert über die Vorgabezeiten aller Artikel

Die Unterschiede zwischen MTM-UAS und MTM-SVL sind deutlich. Es stellt sich die Frage, welches Bausteinsystem sinnvollerweise für die Bestimmung der Greifzeiten heranzuziehen ist. An dieser Stelle ist für jeden Anwendungsfall zu prüfen, ob das Methodenniveau ausreichend für die Anwendung von MTM-UAS ist, was tendenziell zu geringeren Prozesszeiten führt. Für eine korrekte Analyse mit MTM-UAS sind aber Aspekte wie zusätzliche Hilfsbewegungen (z.B. ein Nachgreifen) in die Analyse aufzunehmen, wenn diese notwendig sind. Das Bausteinsystem MTM-SVL berücksichtigt in einem gewissen Maße diese Hilfsbewegungen.

8 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Für die Bestimmung von Prozesszeiten mittels MTM ist es am genauesten, wenn für jeden Artikel eine individuelle Zeit basierend auf seinen Eigenschaften festgelegt wird. Für die Planung wird das Sortiment häufig in Artikelgruppen aufgeteilt, die neben den beschriebenen Artikeleigenschaften noch andere Eigenschaften wie die Abmessung der Bereitstellereinheit (Festlegung des Lagerbereiches) oder Artikelanforderungen an die Lagerung (Gefahrgut oder Temperaturanforderung) berücksichtigen. Werden alle Eigenschaften miteinander kombiniert, führt dies zu einer sehr hohen Anzahl an Artikelgruppen (Klassifikation). Damit ist der Vorteil des Zusammenfassens und der damit verbundenen Reduzierung des Planungsaufwandes wett. Hier liegen die Vorteile einer multivariaten Datenanalyse bzw. der Clusterung. In der Praxis ist eine Kombination der Klassifikation und Clusterung sinnvoll. (zuerst Klassifizierung z.B. hinsichtlich Temperaturanforderungen und dann Clusterung hinsichtlich Artikeleigenschaften)

Aus den Ergebnissen der Untersuchung können zusammenfassend folgende Aspekte abgeleitet werden:

- Eine Aufteilung des Sortiments in Artikelgruppen erhöht die Genauigkeit bei der Bestimmung von Vorgabezeiten für das Greifen. Dieser Aspekt wird bei sehr heterogenen Artikeleigenschaften verstärkt
- Fünf bis zehn Artikelgruppen reichen bereits aus, um den Fehler bei der Bestimmung der Vorgabezeiten auf Grundlage der repräsentativen Eigenschaften der Artikelgruppe auf ein vertretbares Niveau zu senken. (Empfehlung basierend auf den Untersuchten Datensätzen DSI und DS II)
- Die MTM-Vorgabezeiten werden sehr stark vom Gewicht beeinflusst.
- Eine Berücksichtigung der Sperrigkeit ist sinnvoll, da diese die Greifzeit ähnlich wie das Gewicht beeinflusst.
- Der Einfluss der Art des Artikelgreifens (Füllmenge) hat bei den untersuchten Sortimenten nur einen geringen Einfluss.

Das MTM-Bausteinsystems SVL sollte nur eingesetzt werden, wenn das Methodenniveau im Kommissioniersystem dies erfordert, da tendenziell höhere Greifzeiten analysiert werden im Vergleich zu MTM-UAS. Bei Ware-zur-Person-Kommissioniersystemen, bei denen ein Kommissionierer bis zu 1.000 Picks pro Stunden leisten kann, ist auch der Einsatz von MTM-UAS zu hinterfragen, da bei diesen Arbeitsplätzen sehr viel Wert auf die Gestaltung und Organisation gelegt wird und die Wiederholhäufigkeit der Tätigkeit sehr hoch ist. Hier ist ggf. der Einsatz von MTM-

1 oder MTM-2 sinnvoll um realistische Vorgabezeiten zu bestimmen.

In der Untersuchung wurde nur das Aufnehmen und Ablegen der Artikel (Picken) untersucht und bewertet. Über den gesamten Kommissionierprozess gibt es weitere Tätigkeiten des Kommissionierers, bei denen die notwendige Prozesszeit mittels MTM bestimmt werden kann und die benötigte Zeit von verschiedenen Einflussgrößen abhängt. Diese Einflussgrößen können zum Teil auf Grundlage der Artikel- und Auftragseigenschaften sowie von planerischen Festlegungen abgeleitet werden. Beispielfhaft sei auf die Körperbewegungen bei der Entnahme hingewiesen. Diese hängen von der Art der Bereitstellung (z.B. auf Palette, im Fachbodenregal), den Abmessungen der Bereitstellereinheit, der Füllmenge ab und können auch unterschiedlich für einen Artikel sein (volle Palette vs. fast leere Palette).

Hinsichtlich des Einsatzes eines k-Means-Algorithmus für die Clusterung von Einflussgrößen für die Bestimmung von Vorgabezeiten mittels MTM kann festgestellt werden, dass die Clusterung im Großen und Ganzen die Genauigkeit erhöht hat. Es stellt sich allerdings die Frage, ob die Clusterung basierend auf den Unterschieden zwischen den Artikeln (Distanzmaß) die beste Alternative ist, da die Schwerpunkte der Gruppen ohne Berücksichtigung der Grenzwerte für die Einflussgrößen der einzelnen MTM-Vorgabezeiten erfolgt. Ein anderer Ansatz, der untersucht werden kann, ist die Clusterung anhand von Ähnlichkeitsmaßen zwischen den Artikeln. Dazu muss im Vorfeld eine Klassifikation der Artikel vorgenommen werden. Zum Beispiel kann die Einflussgröße „Abmessung“ durch die neue Größe „Sperrigkeit“ ersetzt werden, die als Binärvariable die Eigenschaft eines Artikels widerspiegelt. Ziel der Clusterung ist es dann, Artikel mit möglichst gleichem Eigenschaftsprofil zusammenzufassen.

LITERATUR

- [Arn2009] Arnold, D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen. 6., erw. Aufl Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009.
- [Bac2008] Bacher, J.: Clusteranalyse - Anwendungsorientierte Einführung. 3., Aufl. Auflage. München: Oldenbourg, R, 2008.
- [Bac2016] Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R.: Multivariate Analysemethoden - Eine anwendungsorientierte Einführung. 14., überarbeitete und aktualisierte Auflage Auflage, 2016.
- [Bau2015] Bauer, W.; Bender, M.; Marrenbach, D.; Spath, D.: Ermittlung von

Kommissionierzeit und Kommissionierleistung für die Personeneinsatzplanung mit MTM-Logistik. In: Kuhlang, P. (Hrsg): Modellierung menschlicher Arbeit im Industrial Engineering. Stuttgart: Ergonomia, 2015, S. 191–207.

von Kommissionierung und Verpackung durch geeignete Strategien für die Qualitätsprüfung unter Berücksichtigung (QuinKom). Forschungsbericht; Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) e. V., TU Dortmund. Dortmund, 2007.

- [Bod2004] Bode, W.; Preuß, R. W.: Intralogistik in der Praxis - Komplettanbieter der Intralogistik ; [ein Fachbuch der STILL-Akademie]. Suhl: Wirtschafts Verl., 2004.
- [Bok2012] Bokranz, R.; Landau, K.: Handbuch Industrial Engineering - Produktivitätsmanagement mit MTM. 2., überarb. und erw. Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2012.
- [Boo2006] Boos, M.; Walter, S.: Leistung richtig messen. In: LOGISTIK HEUTE (2006) 4, S. 54–57.
- [Bra2015] Brantner, F.: eLab Project at Magazino - Projectreport, 2015.
- [Bun2014] Bundesverband E-Commerce und Versandhandel (behv): Jahrespressekonzferenz 2014. In: Bundesverband E-Commerce und Versandhandel (behv), 2014 (Aufruf am 5. Juni 2015).
- [Cle2015] Cleff, T.: Deskriptive Statistik und Explorative Datenanalyse - Eine computergestützte Einführung mit Excel, SPSS und STATA. 3., überarb. u. erw. Aufl. 2015 Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2015.
- [Deu2008] Deutsche MTM Vereinigung e.V.: Schulungsunterlagen MTM-UAS, 2008.
- [Deu2009] Deutsche MTM Vereinigung e.V.: Handbuch MTM-Logistik. Herausgegeben von: MTM -Institut, 2009.
- [Gol2007a] Goldscheid, C.: Ermittlung der Wirbelsäulenbelastung in manuellen Kommissioniersystemen. Aachen: Shaker, 2007.
- [Gol2007b] Goldscheid, C.; Deuse, J.; Schlüter, N.; Crostack, H.-A.: Optimierung von Kommissionierung und Verpackung durch geeignete Strategien für die Qualitätsprüfung unter Berücksichtigung (QuinKom). Forschungsbericht; Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) e. V., TU Dortmund. Dortmund, 2007.
- [Gro2013a] Grosse, E. H.; Glock, C. H.: An experimental investigation of learning effects in order picking systems. In: Journal of Manufacturing Technology Management, 24 (2013) 6, S. 850–872.
- [Gro2013b] Grosse, E. H.; Glock, C. H.; Jaber, M. Y.: The effect of worker learning and forgetting on storage reassignment decisions in order picking systems. In: Computers & Industrial Engineering, 66 (2013) 4, S. 653–662.
- [Gro2014] Grosse, E. H.; Glock, C. H.; Jaber, M. Y.; Neumann, W. P.: Incorporating human factors in order picking planning models: framework and research opportunities. In: International Journal of Production Research (2014), S. 1–23.
- [Gud2000] Gudehus, T.: Netzwerke, Systeme und Lieferketten. Berlin [u.a.]: Springer, 2000.
- [Han2010] Handl, A.: Multivariate Analysemethoden - Theorie und Praxis multivariater Verfahren unter besonderer Berücksichtigung von S-PLUS. 2. Aufl. Auflage. Heidelberg: Springer, 2010.
- [Hom2011] Hompel, M. ten; Beck, M.; Sadowsky, V.: Kommissionierung - Materialflusssysteme 2 - Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Berlin [u.a.]: Springer, 2011.
- [Job2012] Jobi, B. S.: Entwicklung einer rechnergestützten Systematik zur funktionsbereichsübergreifenden Planung von Distributionszentren durch Einsatz der Graphentheorie. Aachen: Shaker, 2012.

- [Kel2014] Kelterborn, M., Burghart, C., Kraul, R., Intra, C., Günthner, W.A.: Zeitliche und ergonomische Bewertung in der Kommissionierung Erweiterung eines Systems vorbestimmter Zeiten zur Bewertung der Mitarbeiterbelastung in Kommissioniersupermärkten. In: *Industrie Management*, 30 (2014) 5, S. 41–44.
- [Kre2010] Kregel, M.; Schmauder, M.; Schmidt, T.; Turek, K.: Beschreibung der Dynamik manueller Operationen in logistischen Systemen; Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme, TU Dresden. Dresden, 2010.
- [Kro2014] Kronthaler, F.: Statistik angewandt - Datenanalyse ist (k)eine Kunst. Berlin: Springer Spektrum, 2014.
- [Kuh2015] Kuhlmann, P.: Modellierung menschlicher Arbeit im Industrial Engineering - Grundlagen, Praxiserfahrungen und Perspektiven. Stuttgart: Ergonomia, 2015.
- [Log2007] Logemann, U.: Methodik zur Planung und Steuerung der Kommissionierung in der logistischen Produktion des Versandhandels. Stuttgart, 2007.
- [Lol2003] Lolling, A.: Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten. Aachen: Shaker, 2003.
- [Mar2014] Martin, H.: Transport- und Lagerlogistik - Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intra-logistik. 9., vollst. überarb. u. akt. Aufl. 2014 Auflage. Wiesbaden: Imprint: Springer Vieweg, 2014.
- [Mic2015] Michael Kelterborn; Volker Jeschke; Sebastian Meissner; Carsten Intra; WillibaldA Günthner: Elimination of non-value-adding operations and its effect on exposure variation at an order-picking workplace. In: *Contemporary Ergonomics and Human Factors 2015*: Taylor & Francis, 2015, S. 333–337.
- [MTM2008] MTM -Institut: Schulungsunterlagen MTM-1, 2008.
- [Neu2013] Neuhäuser, D.: Ein Ansatz zur simulationsgestützten Planung und Bewertung von Lagerreorganisationsmaßnahmen am Beispiel des Lebensmitteleinzelhandels. Aachen: Shaker, 2013.
- [Pul2009] Pulverich, M.; Schietinger, J.: Handbuch Kommissionierung - Effizient picken und packen. 1. Aufl., Stand: Sept. 2009 Auflage. München: Vogel, 2009.
- [Rab2004] Rabe-Hesketh, S.; Everitt, B.: A handbook of statistical analyses using Stata. 3rd ed. Auflage. Boca Raton, Fla.: Chapman & Hall/CRC, 2004.
- [Sad2007] Sadowsky, V.: Beitrag zur analytischen Leistungsermittlung von Kommissioniersystemen. Dortmund: TU Dortmund, 2007.
- [Sch1996] Schulte, J.: Berechnungsgrundlagen konventioneller Kommissioniersysteme. In: Universität Dortmund, 1996.
- [Sch2009] Scholl, P.; Deuse, J.: Skalierbare Kommissioniersysteme - Entwicklung eines Instrumentariums zur Auswahl eines kostenoptimalen skalierbaren Kommissioniersystems unter Berücksichtigung prognostizierter Auslastungsschwankungen. Forschungsbericht; APS, TU Dortmund. Dortmund, 2009.
- [Sie2013] Siepenkort, A.: Methode zur Messung und Bewertung der individuellen Kommissionierleistung in "Person-zur-Ware"-Systemen. Stuttgart: Institut für Fördertechnik und Logistik, 2013.
- [Ste2003] Steidl, S.: Zeit im Griff. In: *LOGISTIK HEUTE* (2003) 10, S. 32–34.
- [Ste2004] Steidl, S.: Standardzeiten optimieren Kommissionierung. In: *Logistik für Unternehmen* (2004) 3, S. 66–68.

- [Sti2014] Stinson, M. R.; Sommer, S.; Wehking, K.-H.: Bewertung und Optimierung der Effizienz manueller Tätigkeiten in der Kommissionierung (EfKom). Forschungsbericht; Institut für Fördertechnik und Logistik, Universität Stuttgart. Stuttgart, 2014.
- [Str2005] Straube, F.: Trends und Strategien in der Logistik - Ein Blick auf die Agenda des Logistik-Managements 2010. Hamburg: Dt. Verkehrs-Verl., 2005.
- [Tom2010] Tompkins, J. A.: Facilities planning. 4th ed. Auflage. Hoboken, NJ, Chichester: John Wiley & Sons; John Wiley [distributor], 2010.
- [Tur2008] Turek, K.; Krengel, M.: Modellierung der Dynamik manueller Operationen in logistischen Systemen. In: Subbert, S. (Hrsg): 4. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik an der Technischen Universität Chemnitz. Chemnitz, 2008, S. 50–58.
- [Ulbr2010] Ulbrich, A. S.: Simulationsgestützte Grobplanung von Kommissioniersystemen. München: fml - Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, 2010.
- [Ven2011] Venn, E.: Beitrag zur simulationsgestützten Konzeptplanung von heterogen strukturierten Kommissioniersystemen. Dortmund: Verl. Praxiswissen, 2011.
- [Vri2015] Vries, J. de; Koster, R. de; Stam, D.: Exploring the role of picker personality in predicting picking performance with pick by voice, pick to light and RF-terminal picking. In: International Journal of Production Research (2015), S. 1–15.
- [Weh2009] Wehking, K.-H.: Vorbild Supermarkt. In: LOGISTIK HEUTE (2009) 11, S. 31.
- [Wic1994] Wichmann, A.: Planungshilfen für manuelle Kommissioniertätigkeiten. München: Hussverl., 1994.
- [Zel2010] Zellerhoff, J.; Pelka, M.; Mathis, J.; Strothotte D.: Strategien für die flexible auftragsweise Kommissionierung mit integrierter Prüfung mit dem Ziel einer hohen Kapazitätsauslastung eingesetzter Ressourcen (FlexKom); Förder und Lagerwesen, TU Dortmund. Dortmund, 2010.
-

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Galka, Research Assistant at the Institute for Materials Handling, Material Flow, Logistics (fml). Stefan Galka was born 1978 in Magdeburg, Germany. Between 2000 and 2005 he studied Logistics at the University of Magdeburg. At the Institute fml he was a member of the steering Committee between 2009 and 2015.

Address: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching b. M., Germany,
Phone: +49 89 289-15941, Fax: +49 89 289-15922,
E-Mail: galka@fml.mw.tum.de

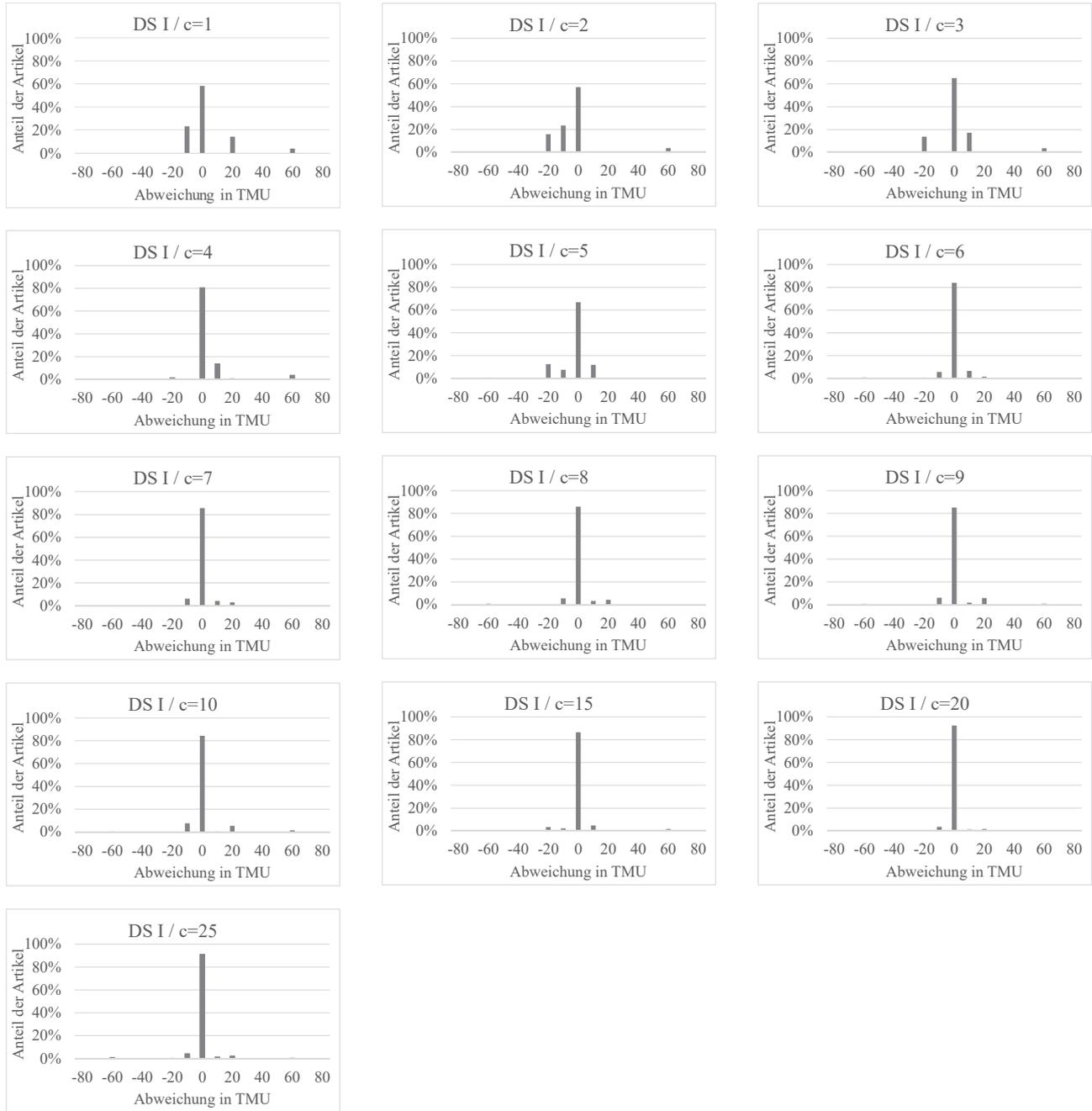
ANHANG A – VERÖFFENTLICHUNGEN, IN DENEN AUF MTM FÜR DIE BESTIMMUNG DER ZEITEN VON MANUELLEN TÄTIGKEITEN HINGEWIESEN WIRD

Veröffentlichungen, in denen auf MTM für die Bestimmung der Zeiten von manuellen Tätigkeiten hingewiesen wird.

Quelle	Verfahren	Greifzeit	Basiszeit	Totzeit	Wegzeit	Hinweis
Sadowsky [Sad2007]	n.d.	x	x	x		
Ulbrich [Ulbr2010]	n.d.	x	x	x		
Gudehus [Gud2000]	n.d.	x	x	x		
Ten Hompel [Hom2011]	n.d.	x	x	x		
Jobi [Job2012]	n.d.	x	x	x	x	
Logemann [Log2007]	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
Lolling [Lol2003]	MTM-1					
Neuhäuser [Neu2013]	n.d.	x				
Schulte [Sch1996]	n.d.	x	x	x		
Siepekorn [Sie2013]	n.d.	x	x	x		Wird nicht angewendet
Venn [Ven2011]	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
Kelterborn [Kel2014]	n.d.	x	x	x	x	z.B. für Prozesse im Supermarkt
Goldscheid [Gol2007a]	MTM-1	x	x	x	x	Anwendbarkeit ist individuell zu prüfen
Steidl [Ste2004; Ste2003]	n.d.	x	x	x	x	
Boos [Boo2006]	n.d.	x	x	x	x	
Deuse [Gol2007b]	MTM-1	x	x	x	x	Anwendbarkeit ist individuell zu prüfen
Zellerhoff [Zel2010]	Log	x	x	x	x	
Wichmann [Wic1994]	MTM-1	x	x	x	x	Anwendbarkeit ist individuell zu prüfen
Scholl [Sch2009]	n.d.	x	x	x		
Bauer et al. [Bau2015]	Log	x	x	x	x	

Legende: x wird angewendet; - wird nicht angewendet; n.d. es wird keine Aussage dazu getroffen

ANHANG B – HISTOGRAMME FÜR FEHLER DATENSATZ I



ANHANG C – HISTOGRAMME FÜR FEHLER DATENSATZ II

