

Simulation des Kommissionierprozesses für den flexiblen Einsatz von Prüfstrategien

Simulation of the Order Picking Process to Increase the Flexibility of Inspection Strategies

Jonas Mathis, Robert Refflinghaus, Daniel Strothotte
Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) e.V.,
Dortmund (Germany)
daniel.strothotte@rif-ev.de

Abstract: Because of its high flexibility at adequate performance and low inventory costs, manual picking is especially common in small and medium size enterprises. However, the aspect of flexibility is often neglected in practice and its potential is not fully exploited. In order to increase this flexibility, the paper demonstrates a method which allows adapting of manual picking to unstable order situations by modifying inspection activities. Based on the picking process simulations, the provided approach enables the user to establish appropriate inspections in the process chain and to make short term decisions in favor or against the implementation of specific inspection activities.

1 Einleitung und Problemstellung

In kleinen und mittelständischen Unternehmen erfreut sich die manuelle Kommissionierung aufgrund hoher Flexibilität bei geringen Investitionskosten großer Beliebtheit. Allerdings wird das mit dieser Flexibilität einhergehende wirtschaftliche Potential nur unzureichend ausgeschöpft. Umstellungen im Kommissionierprozess finden – wenn überhaupt - nur in größeren zeitlichen Intervallen statt. Im Rahmen des an der TU Dortmund durchgeführten Forschungsprojektes *Flexkom* wurde unter Zuhilfenahme von Simulationsmethoden untersucht, wie sich eine flexible und effiziente Kommissionierung umsetzen lässt, und welche Potentiale diese bietet.

Es existiert eine Vielzahl simulationsgestützter Ansätze, die das Ziel verfolgen, die Leistung des Kommissionierprozesses zu maximieren, dabei aber den Qualitätsaspekt vernachlässigen. Bereits mit dem Vorgängerprojekt *Quinkom* (vgl. AIF 2007) wurde versucht, diese Lücke zu schließen. Das Flexkom-Projekt erweitert den Quinkom-Ansatz nun um den Aspekt veränderlicher Rahmenbedingungen und kurzfristiger Flexibilität. Endziel des Flexkom-Forschungsvorhabens war die Entwicklung einer Methodik, die es erlaubt, den Kommissionierprozess durch kurzfristig umzu-

setzende Modifikationen an die Systemlast anzupassen und so eine optimale Ressourcenauslastung bei hoher Kommissionierqualität zu erzielen. Die *Systemlast* umfasst dabei die zum Betrachtungszeitpunkt vorliegende Artikel- und Auftragsstruktur, sowie das aktuelle Auftragsaufkommen.

Zur Realisierung der angestrebten Flexibilität bieten sich insbesondere variable Prüf- und Kommissionierstrategien an, da deren Umstellung innerhalb eines kurzen Planungshorizontes umzusetzen ist. Eine *Kommissionierstrategie* kann als eine Festlegung zur zeitlich-räumlichen Abarbeitung von Kommissionieraufträgen aufgefasst werden. *Prüfstrategien* betreffen dagegen Art und Umfang der Prüfungen, die in den Kommissionierprozess eingebunden werden. Sie dienen dem Ziel, eine hohe Kommissionierqualität sicherzustellen. Eine konkrete Prüfstrategie wird über sämtliche in den Kommissionierprozess integrierte Einzelprüfungen definiert. Diese lassen sich mit geringem organisatorischem Aufwand aktivieren bzw. deaktivieren, sofern die technischen Mittel für ihre Durchführung vorhanden sind.

Mit Kommissionier- und Prüfstrategien stehen folglich zwei Stellschrauben zur Verfügung, die eine situationsgerechte Modifikation des Kommissionierprozesses ermöglichen und im Flexkom-Projekt integrierend berücksichtigt wurden. Der vorliegende Beitrag befasst sich allerdings ausschließlich mit der simulationsgestützten Untersuchung der Prüfstrategien. Hinsichtlich der Kommissionierstrategien, die hier als veränderliche Eingangsgrößen und somit als Systemlast-Bestandteil aufgefasst werden, sei auf ZELLERHOFF und TEN HOMPEL (2010) verwiesen.

Charakteristisch für die Planung von Prüfungen in industriellen Prozessen ist das Vorliegen eines Zielkonflikts: Prüfungen sollen durch Gewährleistung eines hohen Qualitätsstandards zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit beitragen, nehmen dabei aber selbst Ressourcen in Anspruch. Ihre Einführung wirkt sich demnach auf die beiden konkurrierenden Zielgrößen Qualität und Leistung aus. Die Lösung dieses Zielkonflikts lässt sich aufgrund der teilweise langfristigen Folgekosten mangelnder Qualität, die nicht mit ausreichender Genauigkeit beziffert werden können (NOE 2006, S. 128), kaum durch die Überführung in eine gemeinschaftliche, monetäre Zielgröße bewerkstelligen. Der im Flexkom-Projekt verfolgte Ansatz greift daher unmittelbar auf die einzelnen Zielgrößen zurück. Dank der Simulationen können diese situationsabhängig mit konkreten Werten für jede potentielle Prüfstrategie belegt und anschließend gegenübergestellt werden. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Situation kann so diejenige Prüfstrategie ausgewählt werden, deren zugehörige Zielgrößen den aktuellen Anforderungen genügen.

2 Modellierung des Kommissionierprozesses

Im Rahmen des Flexkom-Projektes wurde auf unterschiedliche Software zurückgegriffen. Während die hier nicht betrachtete Simulation der Kommissionierstrategien die räumliche Abbildung von Wegen und Layouts erforderte und mit *Automod* durchgeführt wurde, setzt die Simulation von Prüfstrategien eine zeitdiskrete, prozessorientierte Sichtweise voraus. Zu diesem Zweck wurde die *Arena*-Simulationssoftware des Herstellers *Rockwell Automation* verwendet, die sich bereits im Vorgängermodell *Quinkom* (vgl. CROSTACK 2007; CROSTACK 2008) bewährt hat

und dank leichter Erlernbarkeit und einer intuitiv zu bedienenden graphischen Oberfläche besonders für den späteren industriellen Einsatz geeignet ist.

Simulationsziel ist die Ermittlung der Auswirkungen unterschiedlicher Prüfstrategien auf die Zielgrößen Leistung (Bearbeitungszeit/Auftragsposition) und Qualität (Fehlerdurchschlupfrate). Um das Werkzeug für eine unternehmensspezifische Simulation bereitzustellen, wurden Module entwickelt, die die einzelnen Kommissionierschritte abbilden und eine einfache Modellierung des Gesamtprozesses ermöglichen. Prinzipiell lässt sich dabei der vollständige Kommissionierprozess (mit Ausnahme der Fortbewegung) durch lediglich zwei unterschiedliche Modultypen abbilden: Ein Kommissioniermodul zur Abbildung der Kommissioniertätigkeiten, das Zeit in Anspruch nimmt und ein gewisses Fehlerpotential aufweist und ein Prüfmodul zur Abbildung von Prüftätigkeiten, das ebenfalls Zeit in Anspruch nimmt, allerdings dazu dient, zuvor verursachte Fehler zu detektieren und Korrekturen zu veranlassen.

Das *Kommissioniermodul* repräsentiert sämtliche, vom Kommissionierer zur Erfüllung der Kommissionieraufgabe abzuarbeitenden Tätigkeiten und weist diesen separate Wahrscheinlichkeiten für die Verursachung unterschiedlicher Fehlerarten zu. Dabei ist nach LOLLING (2003, S. 128) zwischen vier Fehlerarten zu unterscheiden:

- *Mengenfehler*: Eine Auftragsposition liegt in abweichender Quantität vor.
- *Auslassungsfehler*: Eine Auftragsposition fehlt.
- *Typfehler*: Ein nicht vorgesehener Artikel wird kommissioniert.
- *Zustandsfehler*: Die Beschaffenheit eines kommissionierten Artikels ist fehlerhaft.

Wird ein Kommissioniermodul in eine Prozesskette eingebunden, so ist vom Anwender abhängig von der Tätigkeit die Auftretenswahrscheinlichkeit für jede der oben genannten Fehlerarten separat einzupflegen. Auf Basis dieser Daten werden in späteren Simulationsläufen Fehler generiert und die Grundlage für die Qualitätsbewertung geschaffen. Um darüber hinaus auch den Beitrag einer Kommissioniertätigkeit auf die Leistung des Systems abbilden zu können, sind dem Modul zusätzlich Tätigkeitszeiten zu hinterlegen.

Neben der Fehlerentstehung ist auch die Fehlerentdeckung im Modell abzubilden. Die zugehörigen Prozesse sind sämtliche Tätigkeiten, die darauf gerichtet sind, zuvor generierte Fehler zu detektieren. Wie bereits erwähnt ist hierfür das *Prüfmodul* implementiert worden. Die Anwendung ist vergleichbar mit der des Kommissionier-Moduls: Liegt in einem Kommissionierprozess eine Prüftätigkeit vor, so wird das Modul in die Prozesskette eingefügt, um anschließend die Entdeckungswahrscheinlichkeiten der verschiedenen Fehlerarten separat zu hinterlegen. Zudem ist auch hier die Tätigkeitszeit zur Bearbeitung der Prüfaufgabe einzupflegen und darüber hinaus der Prüfumfang zu definieren, um nur stichprobenartig durchgeführte Prüfungen modellieren zu können.

Unter Rückgriff auf die beiden Module kann die Modellierung des gesamten Kommissionierprozesses verwirklicht werden, indem die reale Prozesskette durch entsprechende Verknüpfungen einzelner Module, die jeweils einen Prozessschritt

repräsentieren, nachgebildet wird. Die Vorgehensweise ist zur Veranschaulichung in Abbildung 1 anhand eines Prozesskettenausschnitts vereinfacht dargestellt.

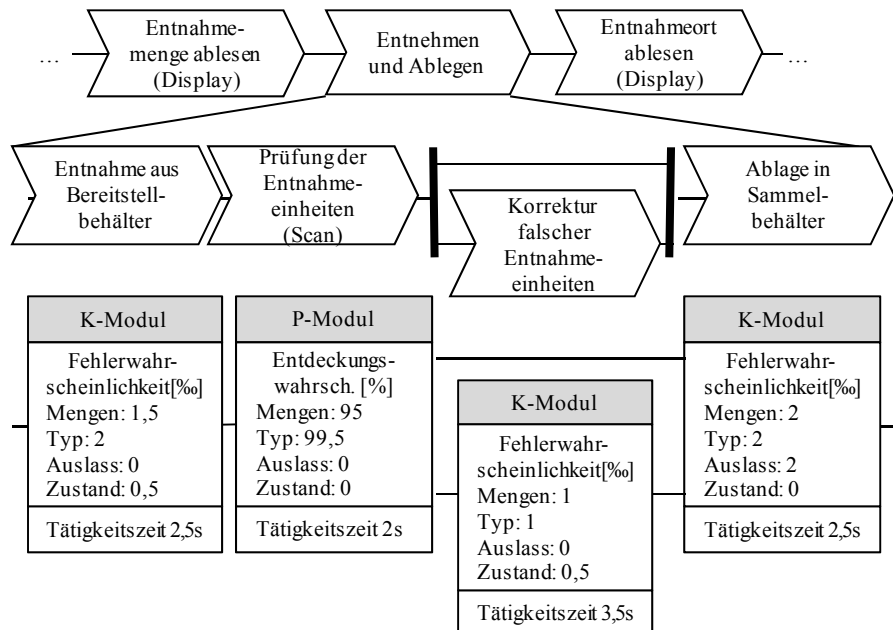


Abbildung 1: Modellierung mittels Prüf- und Kommissioniermodulen

Werden nun Kommissionieraufträge durch die modellierte Prozesskette geschleust, so werden diese bei Passieren der Kommissioniermodule entsprechend der hinterlegten Wahrscheinlichkeiten mit Fehlern belegt. Wird ein Fehler innerhalb eines nachfolgenden Prüfmoduls entdeckt, führt er zu leistungsmindernden Korrekturtätigkeiten. Bei Nicht-Entdecken tritt dagegen ein qualitätsmindernder Fehlerdurchschlupf auf.

3 Simulationsexperimente

Um eine kurzfristige Anpassung der Prüfstrategie an die Systemlastschwankungen vornehmen zu können, ist unmittelbar auf die Information zurückzugreifen, wie sich eine bestimmte Prüfstrategie in der gegenwärtigen Situation auf die Zielgrößen auswirkt. Eine verzögerungsfreie Anpassung bedingt demnach, dass die Prüfstrategien vorab simuliert wurden und ein Pool an bewerteten, potenziell einsetzbaren Prüfstrategien vorliegt. Im Rahmen der Simulationstätigkeit des Flexkom-Projekts wurden für die untersuchten Referenzsysteme sämtliche Prüfstrategien simuliert. Nachfolgend wird der Simulationsumfang für ein Pick-by-Scan-Kommissioniersystem dargestellt. Bei derartigen Systemen erfolgt die Kommissioniererführung mittels Scanner und angeschlossenem Datenterminal, das vom Kommissionierer mitzuführen ist und die erforderlichen Daten bereitstellt.

Grundvoraussetzung für eine realitätsnahe Abbildung des Kommissionierprozesses, ist eine hohe Qualität der Daten, die den Modulen vor jedem Simulationslauf auf die bereits geschilderte Weise zuzuordnen sind. Bei der Erhebung dieser Daten für die Referenzmodelle wurde der Einsatz etablierter Methoden zur Bestimmung von Zeiten und Fehlerwahrscheinlichkeiten durch eigene Unternehmensbefragungen ergänzt, um ein möglichst repräsentatives Daten-Grundgerüst zu erhalten.

Die angestrebte Auswahl der situationsspezifisch besten Prüfstrategie erfordert, dass jede Situation in einem eigenen Szenario und innerhalb dieser Szenarien jede der potentiell einsetzbaren Prüfstrategien einzeln simuliert wird. Die Gesamtanzahl der durchzuführenden Simulationsläufe entspricht folglich der Anzahl zu untersuchender Szenarien multipliziert mit der Anzahl möglicher Prüfstrategien.

Die von der Systemlast abhängigen unterschiedlichen Szenarien wirken sich unmittelbar auf den Kommissionierprozess und die dabei zu verrichtenden Tätigkeiten aus. Das Handling der Entnahme-, Abgabe- und Ablegevorgänge verändert sich abhängig von der vorliegenden Artikel- und Auftragsstruktur sowie der angewendeten Kommissionierstrategie. Zur Abbildung eines Szenarios sind den Kommissionier-Modulen daher spezifische Werte zuzuweisen. Insgesamt wurden für das Pick-by-Scan-Referenzsystem systemlastabhängig elf unterschiedliche Entnahme-, fünf Ablage- und zwei Abgabesituationen hinterlegt, aus deren Kombinationsmöglichkeiten 110 unterschiedliche Szenarien resultieren.

Hinsichtlich der Prüfstrategien war zunächst zu untersuchen, welche Prüfmethoden bei einem Pick-by-Scan-System praxisrelevant sind. Dabei konnten fünf potentielle Prüfpunkte ausfindig gemacht werden, an denen Prüfungen sinnvoll in den Kommissionierprozess zu integrieren sind. An diesen Prüfpunkten kommen unterschiedliche Prüfmethoden zum Einsatz. Da eine Prüfstrategie – wie eingangs definiert – eine bestimmte Kombination von Einzelprüfungen repräsentiert und jede dieser Strategien untersucht werden soll, sind durch Aktivierung und Deaktivierung der potentiellen Prüfungen insgesamt $2^6=64$ Prüfstrategien zu berücksichtigen. In Kombination mit sämtlichen abzubildenden Szenarien ergibt sich so ein Simulationsumfang von $64 \cdot 110=7.040$ Simulationsläufen. Da hiermit ein erheblicher Aufwand einhergeht, wurde die vor jedem Simulationslauf vorzunehmende Modifikation der Daten automatisiert, um nach Vorgabe der Ausgangsdaten ohne weitere manuelle Eingaben eine Simulationsdatenbank zu generieren, in der die einzelnen Prüfstrategien für jedes Szenario hinterlegt und anhand der bekannten Zielgrößen Leistung und Qualität bewertet sind. Ergebnis der Simulationstätigkeit war somit für jede simulierte Situation ein Pool bestehend aus 64 Wertepaaren (Bearbeitungszeit/Auftragsposition und Fehlerdurchschlupfrate), die zur Strategiewahl herangezogen werden können. Dabei stellt sich der eingangs bereits erläuterte Zielkonflikt ein: Mit steigender Anzahl an Prüfungen, die in den Kommissionierprozess eingebunden werden, nimmt die Kommissionierleistung ab, während sich die Kommissionierqualität erhöht. Dieser Umstand ist in Abbildung 2 für den Fall des Pick-by-Scan-Referenzsystems veranschaulicht. Die vereinfachte Darstellung klassifiziert die Prüfstrategien dabei lediglich nach der Anzahl implementierter Einzelprüfungen und bildet anschließend einen Mittelwert bezüglich der Zielgrößen.

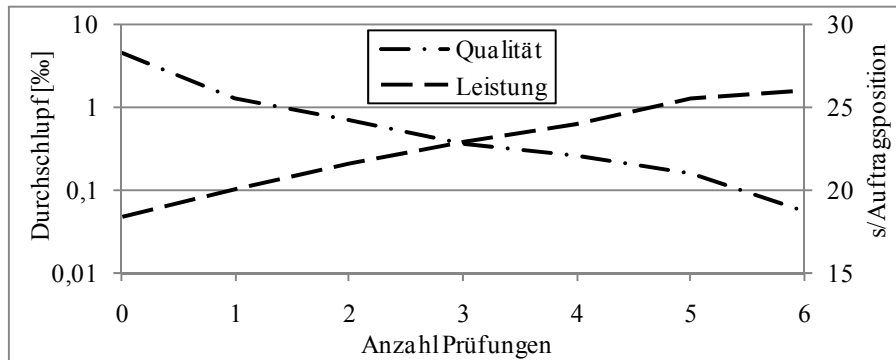


Abbildung 2: Zielgrößen in Abhängigkeit der Prüffintensität

4 Aufbereitung der Simulationsergebnisse

Die Simulationsergebnisse (vgl. Abb. 2) verdeutlichen, dass stets ein Kompromiss aus Leistung und Qualität zu treffen ist und keine generell überlegene Prüfstrategie existiert. Um die Ergebnisse nutzbar zu machen, ist eine Methodik anzuwenden, die es erlaubt, unter Rückgriff auf die Simulationsdatenbank sämtliche Prüfstrategien situationsbedingt zu beurteilen und so in jedem beliebigen Szenario die optimale Prüfstrategie zu ermitteln. Dieser Ansatz macht es sich zunutze, dass dank der vorgelagerten Simulationstätigkeit sämtliche Prüfstrategien für jedes betrachtete Szenario vorliegen. Aus dem Bestand an bewerteten Prüfstrategien ist also lediglich eine Auswahl zu treffen. Zu diesem Zweck wurde ein Auswahlalgorithmus implementiert, der den dargestellten Zielkonflikt löst.

Eine große Bedeutung innerhalb des Auswahlalgorithmus kommt der *Systemauslastung* zu. Diese Einflussgröße der Systemlast wurde bisher vernachlässigt, da sie weder Leistung noch Qualität des Prozesses unmittelbar beeinflusst, sondern als Anforderung an das Kommissioniersystem hinsichtlich der insgesamt zu erbringenden Leistung aufzufassen ist. Aus einer vorliegenden Menge an Auftragsereignissen kann auf einfache Weise die für deren Abarbeitung minimal erforderliche Kommissionierleistung – die *Leistungsgrenze* – errechnet werden. Unter der Prämisse, dass Aufträge nicht so schnell wie möglich sondern lediglich so schnell wie nötig abzuarbeiten sind, da ansonsten ungenutzte Kapazitäten brachliegen, kann diese Leistungsgrenze den Zielkonflikt zwischen Leistung und Qualität lösen. Die optimale Prüfstrategie ist gefunden, wenn nur so viel fehlervermeidende Maßnahmen in den Kommissionierprozess eingebunden werden, dass der vorliegenden Systemlast mit der Sicherstellung der Erzielung einer ausreichenden Leistung genüge getan wird. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass jederzeit die situationsbedingt maximal mögliche Qualität des Kommissionierprozesses erzielt wird. Um den Qualitätsaspekt bei der Prüfstrategieauswahl nicht zu vernachlässigen, bietet es sich an, außerdem eine *Qualitätsgrenze* zur Erfüllung von Mindestqualitätsanforderungen aufzustellen.

Der Algorithmus zur Prüfstrategieauswahl anhand der genannten Kriterien gliedert sich in vier chronologisch abzuarbeitende Schritte und wird nachfolgend kurz dargestellt:

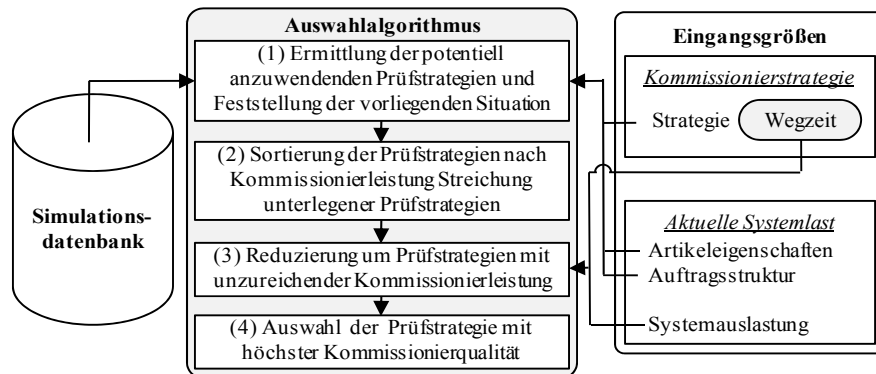


Abbildung 3: Auswahlalgorithmus zur Prüfstrategiewahl

Ausgangspunkt sind die der Datenbank zu entnehmenden Simulationsergebnisse, aus denen diejenigen Datensätze herausgefiltert werden, die der aktuell vorherrschenden Situation entsprechen (1). Für das Beispiel des Pick-by-Scan-Referenzsystems liegen anschließend 64 Datensätze vor, die jeweils eine Prüfstrategie repräsentieren und die Ausprägung der Zielgrößen bei dieser Strategiewahl enthalten.

Zur Vorbereitung der Prüfstrategieauswahl werden die Datensätze anhand ihrer Kommissionierleistung sortiert, um anschließend diejenigen Prüfstrategien aus der Liste zu streichen, die mindestens einer anderen sowohl bezüglich Leistung als auch bezüglich Qualität unterlegen sind (2).

Aus den übrigen, anhand der Leistung sortierten Prüfstrategien geht nicht hervor, welche Strategie konkret anzuwenden ist. Hierzu ist wie erläutert auf die Systemauslastung zurückzugreifen und die Liste der Prüfstrategien durch Abgleich der erforderlichen mit der erbrachten Leistung um diejenigen zu reduzieren, deren Kommissionierleistung unzureichend ist (3). Allerdings liefert die Simulationsdatenbank lediglich die für die betrachteten Kommissioniertätigkeiten benötigte Zeit ohne Wegzeiten zu berücksichtigen, da diese von der Kommissionierstrategiewahl abhängen und in einem gesonderten Simulationsmodell untersucht wurden. Folglich müssen die Wegzeiten im Rahmen einer Rückkopplung mit dem Simulationsmodell zur Abbildung der Kommissionierstrategien übergeben werden.

Abschließend greift der Auswahlalgorithmus auf die Kommissionierqualität zurück, die jeder Prüfstrategie in Form von Durchschlupfraten zugeordnet ist. Da nach der Streichung sämtlicher unzulässiger Prüfstrategien alle verbleibenden Prüfstrategien dem Kriterium der Kommissionierleistung genügen, ist vom Algorithmus diejenige Strategie zu identifizieren, die die höchste Kommissionierqualität aufweist (4).

5 Zusammenfassung

Die vorgestellte Methodik bietet die Möglichkeit, auf Basis von Simulationsexperimenten Prüftätigkeiten flexibel an die aktuelle Systemlast des Kommissioniersystems anzupassen. Unter Verwendung der bereitgestellten Module kann die individuelle Modellierung von Kommissionierprozessen auf einfache Weise verwirklicht werden. Die praktische Umsetzung wurde anhand eines Pick-by-Scan-

Referenzsystems demonstriert. Die anschließend durchgeführten Simulationsexperimente führten zu einer Datenbank, die unter Rückgriff auf den vorgestellten Algorithmus eine flexible Prüfstrategieauswahl ermöglicht. Der Anwender wird so in die Lage versetzt, die Prüftätigkeiten an vorherrschende Gegebenheiten anzupassen. Er erhält etwa Informationen, welche Prüfungskombination die höchste Kommissionierqualität erzielt, oder auf welche Prüfungen er bei kurzfristigem Anstieg des Auftragsaufkommens temporär verzichten sollte.

Der Beitrag basiert – wie eingangs erwähnt – auf dem Flexkom-Projekt, beschränkt sich dabei aber auf den Aspekt der Prüfstrategiewahl und vernachlässigt die simulative Analyse von Kommissionierstrategien, die in einem separaten Beitrag vorgestellt wird (vgl. ZELLERHOFF, TEN HOMPEL 2010). Obwohl die eigentliche Simulationstätigkeit und das prinzipielle Vorgehen bei der Prüfstrategieauswahl von einer integrierenden Betrachtung beider Strategietypen unberührt bleibt, macht es diese dennoch erforderlich, weitere Wechselwirkungen zwischen Kommissionier- und Strategieauswahl zu berücksichtigen. Hinsichtlich einer solchen, vollständig integrierenden Betrachtung, sei auf AIF (2010) verwiesen.

Literatur

- AIF – Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V.: Optimierung von Kommissionierung und Verpackung durch geeignete Strategien für die Qualitätsprüfung unter Berücksichtigung der Retourenabwicklung. Abschlussbericht AIF-Vorhaben-Nr. 14368, Technische Universität Dortmund, 2007.
- AIF – Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V.: Strategien für die flexible, auftragsweise Kommissionierung mit integrierter Prüfung. Abschlussbericht AIF-Vorhaben-Nr. 15811N, Technische Universität Dortmund, 2010.
- CROSTACK, Horst-Arthur; GOLDSCHIED, Christian; SCHLÜTER, Nadine: Quality excellence by simulation - An approach in the field of Failure Management. Proceedings of the The 10th International QMOD Conference. Helsingborg: Linköping University Electronic Press, 2007.
- CROSTACK, Horst-Arthur.; GOLDSCHIED, Christian; SCHLÜTER, Nadine: Damit die Lieferung stimmt - Simulation der Qualität von Kommissionierung und Verpackung. In: QZ, München, 53(2008)4, S. 181-183.
- LOLLING, Andreas: Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten. Aachen: Shaker, 2003.
- NOE, Manfred: Projektbegleitendes Qualitätsmanagement. Der Weg zum besseren Projekterfolg. Erlangen: Publics, 2006.
- ZELLERHOFF, Jörg; TEN HOMPEL, Michael: Simulation zur Bestimmung des Leistungsgewinns bei kombiniertem Einsatz mehrerer Kommissionierstrategien – in Abhängigkeit von Layout und Auftragslast. In: Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. Hrsg.: ZÜLCH, Gert; STOCK, Patricia. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2010, S. 285-292.