

Nutzung von Realdaten in Simulationsmodellen durch industrielle Bildverarbeitung

Use of real data in simulation models by means of industrial image processing

Emre Koç, Cyril Alias, Yakup Kalkan, Bernd Noche,
Universität Duisburg-Essen, Duisburg (Germany),
emre.koc@uni-due.de, cyril.alias@uni-due.de, yakup.kalkan@uni-due.de,
bernd.noehe@uni-due.de

Carsten Stange, SDZ GmbH, Dortmund (Germany), c.stange@sdz.de

Abstract: Frequently, the application of simulation methods is not possible in small and medium sized companies because of lack of necessary data. This paper describes a method to acquire the necessary data for later use in material flow simulation of production and logistics systems by the use of industrial image processing. This solution was developed within the TiLO research project. A concept based on off-the-shelf cameras has been developed in order to capture data about the motion of objects in logistics systems. Subsequently, the recorded data is processed and prepared for use in the simulation, for which the simulator DOSIMIS-3 has been used. The solution concept has been applied and validated in an industrial use case, in which no data capturing was possible prior to the application of the presented method. By applying this method, current bottlenecks and existing potentials could be revealed with the help of simulation of the system.

1 Motivation

Die Logistik ist gekennzeichnet durch eine stetig steigende Komplexität der Verbindungen und Verflechtungen zwischen Akteuren und führt zu einer wachsenden Dynamik der Wertschöpfungsprozesse. Äußere Einflüsse und Prozessinstabilitäten machen eine erhöhte Transparenz und eine größere Reaktionsfähigkeit notwendig.

Diese Komplexität und Dynamik in der Logistik erfordern den verstärkten Einsatz von Entscheidungsunterstützungssystemen. Bei diesen Systemen handelt es sich um rechnerbasierte Konzepte, die Entscheidungsträger in Entscheidungssituationen mittels eines interaktiven Problemlösungsverfahrens unterstützen. Zielsetzung ist die Nutzung der Erfahrung der Entscheidungsträger, nicht deren Ersetzung.

2 Ausgangslage

Für die Planung und Optimierung von Logistiksystemen stellen Simulatoren eine derartige entscheidungsunterstützende Komponente dar. Simulation wird laut VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1 (2010) als „Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell“ definiert. Die Simulation bietet die Möglichkeit, Transparenz für Prozesse zu schaffen und Entscheidungsalternativen zu beurteilen (März 2011, S. 3-5). Nicht zuletzt aus diesen Gründen steigt die Bedeutung der Simulation und ihres Zusammenspiels mit den realen Prozessen. Letzteres bedingt eine korrekte und valide Abbildung der Realität im Modell.

Das Vorliegen von Ist-Daten eines realen Systems beschreibt Kühn (2006, S. 90) als einen wichtigen Aspekt für den Einsatz der Simulation zur Optimierung des laufenden Betriebs. Die Einbindung der betrieblichen Daten in Simulationsstudien und der Bedarf an Aktualität der Daten werden in der VDI-Richtlinie 3633 Blatt 5 (2000) beschrieben. Um die Qualität der Simulationsstudien sicherzustellen, stellen Wenzel et al. (2008a, S. 40) ein Vorgehensmodell für die permanente Validierung und Verifikation (V&V) der Daten und des Modells vor.

Die Simulation benötigt Daten. Gerade in kleinen und mittelständischen Unternehmen bestehen diesbezüglich auch heute noch Verfügbarkeitsprobleme und Qualitätsmängel. Um diesen Aspekt auszugleichen, erfolgt die Datenbeschaffung häufig ohne systemseitige Unterstützung und mit hohem Aufwand. Dadurch beschränkt man sich dabei auf Stichproben, die ungenau und fehlerbehaftet sind. Da die Datenqualität einen direkten Einfluss auf die Modell- und damit auf die Ergebnisqualität hat, besteht ein großer Bedarf an Strategien und Konzepten zu ihrer Erhöhung (Wenzel et al. 2008b, S. 491).

Eine geeignete Möglichkeit zur Erhebung und Sicherstellung einer verlässlichen Datenbasis ist die Nutzung neuer Technologien, die eine vollständige und genaue Erfassung mit geringem Aufwand erlauben. In vielen Konzepten und Lösungsansätzen werden unterschiedliche Sensor-Technologien zur Erfassung von Realdaten für die Simulationsstudien genutzt. Für die Ermittlung der verschiedenen Betriebsdaten und Ereignisse beschreiben Aufenanger et al. (2008, S. 427-438) in ihrem Paper die Konzeption und Implementierung eines Systems zur Datenerfassung. Den Einsatz der RFID-Technologie bei der Datenerfassung in Simulationsprojekten stellt Miller et al. (2006, S. 1365-1371) exemplarisch dar. Skoogh et al. (2012, S. 181-192) zeigen Beispiele aus der Industrie für die Nutzung der Unternehmensdaten aus ERP-Systemen in der Simulation.

Im Beitrag werden die Machbarkeit der Datenerfassung und -analyse durch die industrielle Bildverarbeitung und die Nutzung der Realdaten in Simulationsstudien nachgewiesen und anhand eines Beispiels vorgestellt.

3 Lösungsansatz

Der Lösungsansatz wurde in dem vom Lehrstuhl für Transportsysteme und -logistik der Universität Duisburg-Essen geleiteten Forschungsprojekts „Tracing intelligenter LogistikObjekte“ (TiLO ist ein Teilprojekt im „EffizienzCluster LogistikRuhr“, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Spitzencluster-Wettbewerbs) entwickelt. Das Forschungsprojekt beschäftigt sich mit

der Verwendung von Kamerasystemen zur Erfassung und kontinuierlichen Verfolgung von Objekten in logistischen Umgebungen. Dabei werden die relevanten Daten mit Hilfe von Kamera- und Bildverarbeitungstechnologien gesammelt, analysiert, als Informationen aufbereitet und für die weitere Verwendung an angebundene Zielsysteme übermittelt (Kalkan et al. 2013, S. 253).

Die Bildverarbeitung (Computer Vision) nutzt die Algorithmen zur Ermittlung von visuellen 2D- bzw. 3D-Informationen aus digitalen Bildern und befasst sich mit den Bildeigenschaften und den Bild-zu-Bild-Transformationen. Für die Objekterkennung, Verfolgung und Bewegungsanalyse in Bildverarbeitung gibt es vier Kriterien, die bei der Programmierung berücksichtigt werden sollen: Neben der Darstellung der Objektform und der Beachtung verschiedener Bildeigenschaften sind dies die Festlegung der Strategien für die Objekterkennung und die Berücksichtigung der bestehenden Tracing-Methoden. Weiterhin werden für die Erkennung und Verfolgung der Objekte vier Merkmale in der Bildverarbeitung betrachtet, mit deren Hilfe die Objekte aus dem Hintergrund extrahiert werden können. Diese Merkmale sind Farbe (RGB-Farbraum: Rot, Grün, Blau oder HSV-Farbraum: Farbwert, Farbsättigung, Hellwert), Kanten, Bewegung (auf Basis des Optical Flow und der dabei angegebenen Bewegungsvektoren) und Oberflächenstruktur (die Messung der Intensitätsvariation von Texturen, d.h. von Flächen dreidimensionaler Oberflächenmodelle mit zweidimensionalen Bildern) (Yilmaz et al. 2006, S. 4).

Im Forschungsprojekt TiLO werden Farb-, Bewegungs-, Konturerkennung, Template Matching, Hough-Transformation und markerbasierte Ortung als entscheidende Methoden für die Erkennung und Verfolgung der Objekte eingesetzt und in verschiedenen Anwendungsbereichen der Logistik getestet. In dem im Beitrag dargestellten Anwendungsbeispiel werden Template Matching und Hough-Transformation Methoden zur Erkennung der Objekte und Erfassung der verschiedenen Ereignisse angewendet.

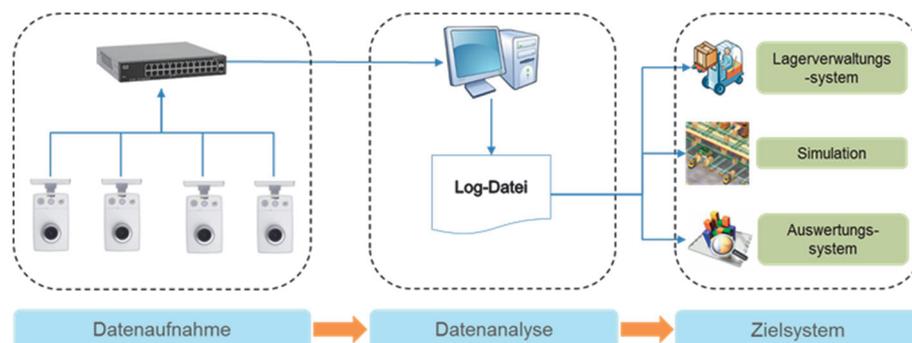


Abbildung 1: Technisches Konzept zur Nutzung von Realdaten in Zielsystemen

Mit Hilfe von Videokameras und den vielfältigen Möglichkeiten durch die industrielle Bildverarbeitung können unterschiedliche Objekte erkannt und verfolgt werden, so dass Realdaten eines Systems oder eines Prozesses gesammelt werden können, die ihrerseits wiederum in weiteren Zielsystem Verwendung finden können.

Das technische Konzept zur Nutzung von Realdaten in Simulationsmodellen wird in Abbildung 1 dargestellt und besteht aus drei Bereichen, der Datenaufnahme, der Datenanalyse und der Anbindung an das jeweilige Zielsystem (Kalkan et al. 2012, S. 313).

Die Datenaufnahme erfolgt in Form von Filmaufnahmen über handelsübliche Netzwerkkameras ohne eigenen Prozessor, die die Videodaten über einen Verteiler an einen Rechner übermitteln.

In der Datenanalyse werden die Videofilme mit Hilfe von verschiedenen Bildverarbeitungs-Algorithmen ausgewertet, in logistisch verwertbare Informationen umgewandelt und in einer Logdatei gespeichert. Die Bildverarbeitungs-Algorithmen entstammen der freien, auf die industrielle Bildverarbeitung spezialisierten Programmbibliothek Intel OpenCV, die zudem stetige Weiterentwicklungen und eine große Programmiergemeinschaft aufweist.

Die Anbindung an ein Zielsystem erfolgt über den Import der Logdatei in das jeweilige Zielsystem, so dass die aus den Videofilmen gewonnenen Informationen im Zielsystem durch die jeweilige Applikation verwendet werden können. Die konkrete Ausprägung des Zielsystems ist abhängig von der Anwendungsumgebung; so können Simulationsmodelle ebenso Adressaten der Logdatei sein wie Auswertungssysteme oder Lagerverwaltungssysteme und Staplerleitsysteme. Die konkrete Anbindung der Logdateien in die Simulationsmodelle wird im Beitrag näher erläutert.

Mit Hilfe der industriellen Bildverarbeitung lassen sich die wesentlichen Informationspunkte in einem logistischen System automatisiert messen. Kamerasysteme haben den Vorteil, dass sie nicht an die Steuerung der Anlage gekoppelt sein müssen und damit unabhängig von möglichen Anlagen und existierenden Automatisierungs- und Steuerungsdaten Informationen sammeln können. So können Kamerasysteme auch Daten über Sachverhalte sammeln, die heute noch nicht oder nur mit großem Aufwand informationstechnologisch erfasst werden können.

Es ist jedoch zu bedenken, dass für die Sammlung von qualitativ einwandfreien Daten mit Hilfe von Videofilmen und Bildverarbeitungs-Algorithmen auch technische Voraussetzungen bestehen (Spinnler 2012, S. 17). So bedarf eine konsistente Erfassung und Verfolgung von Objekten die Sicherstellung eines stabilen Umfelds. Ein stabiles Umfeld umfasst die stabile Installation der Kamera samt der korrekten Ausrichtung der Kamera auf das zu erkennende Objekt, die Vermeidung von Erschütterungen auf die Kamera, sowie die Sicherung geeigneter Lichtverhältnisse im Aufnahmebereich (sowohl hinsichtlich der Ausleuchtung der Erkennungsobjekte als auch der Umgebungshelligkeit) und die Vermeidung von Behinderungen der Sicht auf das zu erkennende Objekt, etwa durch Staub, Blendung oder Nebel.

Der Aufwand für die Konfiguration des Bildverarbeitungssystems kann in unterschiedlichen Umgebungen variieren. Abhängig vom Grad der Ähnlichkeit der Erkennungsobjekte und Umgebungen zu bestehenden Vorlagen aus verschiedenen Projekten lassen sich die Phase für die Anpassung der Algorithmen verkürzen und der Aufwand reduzieren.

Die Nutzung der Daten im Simulationsmodell wirkt sich direkt auf die Ergebnis- und Entscheidungsqualität aus und führt darüber hinaus zu Zeit- und

Kosteneinsparungen über den gesamten Ablauf einer Simulationsstudie. Dieses Konzept ermöglicht auch die Validierung von Systemlasten sowie die Bewertung von durchgeführten Maßnahmen anhand der Simulationsergebnisse.

Des Weiteren werden – angelehnt an VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1 (2010) - folgende mögliche Anwendungsfelder für das entwickelte Konzept und dessen Vorteile im Beitrag skizziert:

- Aufnahme, Analyse und Verständnis von logistischen Systemen
- Schaffung von Transparenz und eines Systemverständnisses durch die Aufnahme von Systemlasten, Routing von Flüssen und Verständnis der Verhaltensweise komplexer Anlagen
- Anlagenerweiterungen und Anlagenoptimierung bei Leistungssteigerungen
- Unterstützung von Inbetriebnahme- und Abnahmeprozessen
- Monitoring und Controlling von Prozessabläufen und Ermittlung von KPIs

4 Anwendungsbeispiel

Das im Rahmen des Forschungsprojekts „TiLO“ mit einem international agierenden Industrieunternehmen entwickelte Lösungskonzept wurde in einem Anwendungsbeispiel eingesetzt. Ziele dieses Anwendungsbeispiels waren die Sicherstellung einer zuverlässigen Datenbasis und die Durchführung von simulationsbasierten Auswertungen zur Prozessoptimierung einer Engpassanlage. Um diese Ziele erreichen zu können, sollten die verschiedenen Tätigkeiten an der Anlage und deren Zeitanteile aufgenommen werden. Die Erfassung der Einsatz- und Leerzeiten und die Bestimmung der Durchsätze der Anlage gehörten ebenfalls zu den Aufgaben.

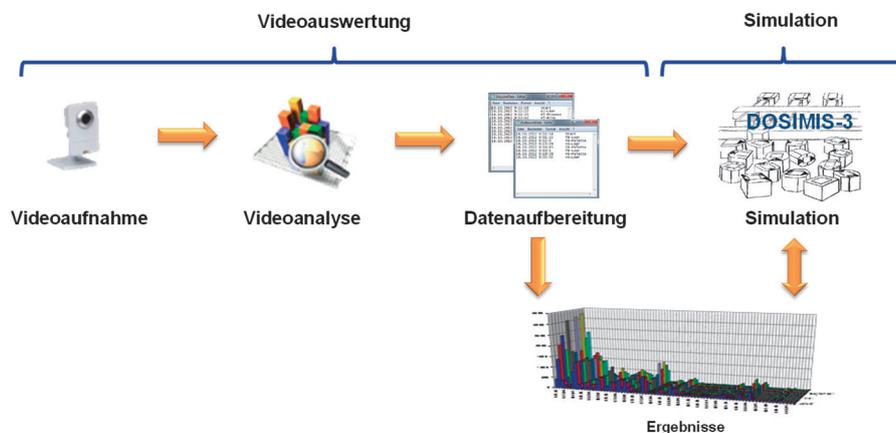


Abbildung 2: Lösungskonzept zur Einbindung der Videodaten in die Simulation

In Abbildung 2 wird die grundsätzliche Struktur des Lösungskonzepts dargestellt. Das im Kapitel 3 dargestellte kamerabasierte Analysesystem wurde für die automatische Datenerfassung und -analyse eingesetzt. Die Ereignisse im System

wurden erst durch die Kameras aufgenommen und als Filmmaterial an einen lokalen Rechner gesendet. Die Videoanalyse des aufgenommenen Filmmaterials erfolgt online an diesem Rechner. Als Ergebnis der Videoanalyse werden Logdateien erzeugt, die aus logistischer Sicht relevante Informationen enthalten. Dies sind typischerweise logistische Ereignisse wie Ein- oder Ausfahrten oder Zustandswechsel mit den zugehörigen Zeitstempeln. Diese Logdateien können entweder direkt zur Darstellung bzw. Analyse des Ist-Systems verwendet werden oder als Eingangsdaten für eine Simulation eingesetzt werden. Nachfolgend wird die Nutzung der Logdateien als Input für eine Simulation erläutert.

Im Projekt wurden die Prozessabläufe der Anlage mit Hilfe der Simulationssoftware DOSIMIS-3 modelliert. Neben der Auswertung der Logdateien konnte die Simulation auch für typische Fragestellungen, wie die Ermittlung von Kapazitätsgrenzen und Schwachstellen sowie zur Beurteilung der Auswirkungen von Systemanpassungen benutzt werden.

4.1 Beschreibung des untersuchten Systems

Das Anwendungsbeispiel stellt eine Verpackungsanlage dar, in der Ringe mit einem Stahlband umreift und anschließend palettiert werden. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt ein schematisches Layout der Anlage.

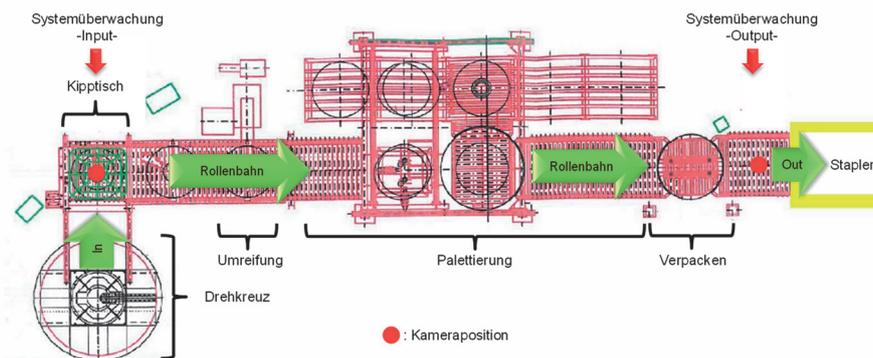


Abbildung 3: Layout der Verpackungsanlage

Die Prozessschritte lassen sich wie folgt skizzieren:

- Anlieferung von Ringen auf Drehkreuz
- Übernahme jeweils eines einzelnen Rings auf einen Kipptisch und Übergabe auf Rollenfördertechnik
- Liegender Transport der Ringe zur automatischen Umreifung
- Teilautomatische Palettierung der Ringe
- Abholung der Paletten per Stapler

Zur Datenermittlung wurden zwei Kameras installiert (siehe Abbildung 3). Eine Kamera befindet sich am Systemeingang oberhalb des Kipptisches und eine Kamera am Systemausgang oberhalb des Abholplatzes durch die Stapler.

Die Abbildung 4 zeigt jeweils zwei Screenshots, einmal für das Bildfenster der Kamera 1 am Systemeingang über dem Kipptisch (linkes Bild) und einmal für das Bildfenster der Kamera 2 am Systemausgang (rechtes Bild).



Abbildung 4: Aufgenommene Kamerabilder (Input links, Output rechts)

4.2 Logistische Informationen aus der Filmanalyse

Die rechnergestützte Analyse des Filmmaterials ermöglicht eine Generierung von logistischen Informationen, die im vorliegenden Beispiel in einer Logdatei gespeichert werden. Das Format der Datei ist recht simpel wie folgt definiert:

- Zeitpunkt eines Ereignisses
- Bezeichnung des Ereignisses

Eine Logdatei stellt also für jeweils eine Kamera eine Ereignisliste dar. Beispielhaft werden die möglichen Ereignisse der Kamera 1 am Systemeingang über dem Kipptisch dargestellt. Diese Logdatei enthält als mögliche Ereignisse je Zeitpunkt jeweils eine in der Tabelle 1 dargestellte Möglichkeit.

Tabelle 1: Mögliche Ergebnisse in einer Logdatei

| Ereignis | Beschreibung |
|-------------------|--|
| KT-Leer | Kipptisch ist leer |
| KT-Prozess | Kipptisch fährt hoch und beginnt mit der Übernahme eines Ringes |
| KT-Ring | Kipptisch hat den Ring übernommen |
| KT-Leer | Der zuvor übernommene Ring hat den Kipptisch verlassen |
| KT-Ring validiert | Ring wurde neben dem Kipptisch auf dem Rollengang erkannt. (Fall der Ring nicht auf dem Kipptisch erkannt wurde) |

Für dieses Beispiel bei der Kamera 1 am Systemeingang wurde eine intelligente Analyselogik zur Echtzeitauswertung der verschiedenen Ereignisse eingesetzt. In Abbildung 5 werden diese Analyselogik und die durch die industrielle Bildverarbeitung erkannten Zustände dargestellt.

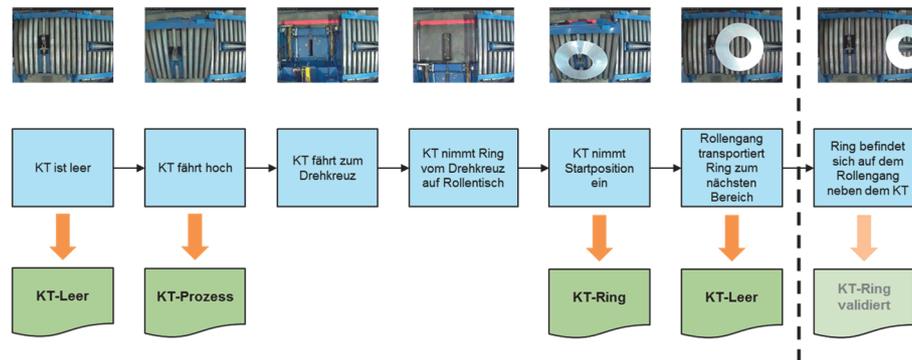


Abbildung 5: Analyselogik und aufgenommene Ereignisse

Ein Beispiel für eine Logdatei sieht wie in der Tabelle 2 aus.

Tabelle 2: Logdatei

| Datum | Uhrzeit | Ereignis |
|------------|----------|------------|
| 03.02.2013 | 12:13:00 | KT-Leer |
| 03.02.2013 | 12:13:11 | KT-Prozess |
| 03.02.2013 | 12:13:27 | KT-Ring |
| 03.02.2013 | 12:24:21 | KT-Leer |
| 03.02.2013 | 12:33:44 | KT-Prozess |
| 03.02.2013 | 12:33:56 | KT-Ring |
| 03.02.2013 | 12:34:03 | KT-Leer |
| ... | ... | ... |

Aus diesen Informationen können direkt oder mit Hilfe einer Simulation aussagekräftige Kennzahlen gewonnen werden, wie z.B. Systemdurchsätze, Auslastungen oder auch Durchlaufzeiten. Diese wiederum stellen das Systemverhalten dar und erlauben Rückschlüsse auf potentielle Optimierungspotentiale der untersuchten Anlage.

4.3 Simulationsergebnisse

Die zuvor beschriebenen Logdateien wurden als Eingabedaten für ein Simulationsmodell genutzt. Dadurch konnte das reale Systemverhalten bezüglich der Informationen aus den Logdateien realitätsnah in die Simulation integriert werden. Die nachfolgenden Charts zeigen erste Analyseergebnisse, die eine Systembewertung ermöglichen.

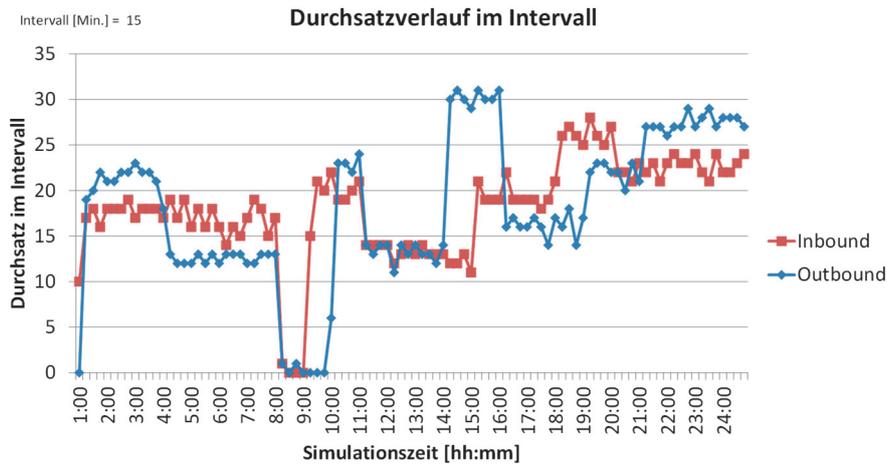


Abbildung 6: Systemdurchsatz

Die Abbildung 6 zeigt den Systemdurchsatz im Zeitverlauf für einen Tag, wobei der Durchsatz je 15-Min.-Intervall angegeben wird. Die Inbound Kurve zeigt den Durchsatz am Systemeingang, die Outbound Kurve den Durchsatz am Systemausgang.

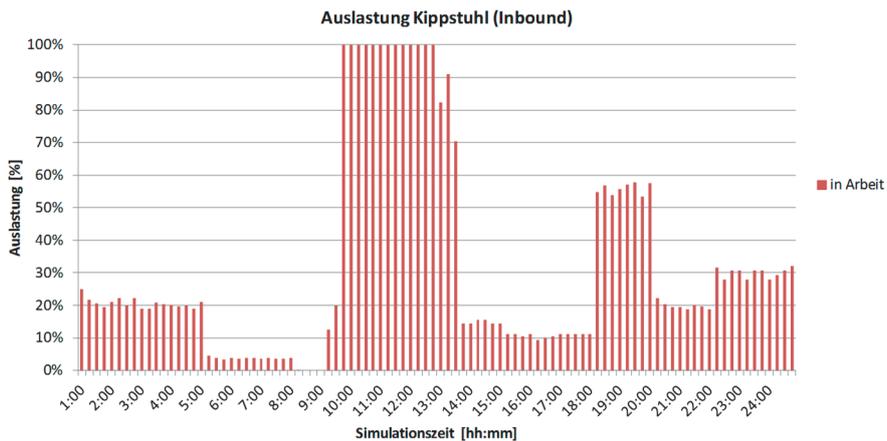


Abbildung 7: Auslastung Systemkomponente Kipptisch

In Abbildung 7 ist die Auswertung eines einzelnen Systemelementes (Kipptisch) dargestellt. Die Darstellung zeigt die Auslastung des Kipptisches im Verlauf eines Tages. Als Auslastung wird der prozentuale Zeitanteil angegeben, in dem der Kipptisch aktiv genutzt wird, d.h. mit der Kippbewegung (gleich Hebe- bzw. Senkfunktion) beschäftigt ist. Hieraus lässt sich ableiten, ob der Kipptisch ein Engpasselement im System ist oder, ob dieser noch Anteile freier Kapazität aufweist, die eine Leistungssteigerung zulassen.

4.4 Kopplung der Videoanalyse mit der Simulation

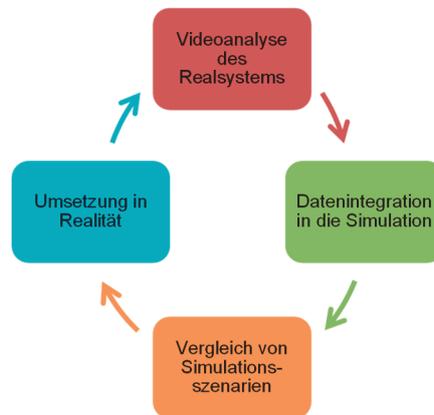


Abbildung 8: Kopplung der Videoanalyse mit der Simulation

Die Kopplung der Videoanalyse mit der Simulation führt zu einem Kreislauf, der es ermöglicht, die erwarteten Verbesserungen, die in der Simulation prognostiziert wurden, nach einer Umsetzung in der Realität zu überprüfen. Dies ermöglicht einen kontinuierlichen Optimierungskreislauf, der Grundlage eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses sein kann.

Die nachfolgende Auflistung zeigt eine Auswahl möglicher Simulationsszenarien:

- Szenario Ist-Situation
- Szenario Optimierung der Materialanlieferung und -abnahme
- Szenario Optimierung des teilautomatisierten Palettierprozesses

5 Ausblick auf weitere Entwicklungen und Anwendungen

Die ersten Einsätze der industriellen Bildverarbeitung erscheinen vielversprechend, so dass durch eine Erweiterung der Funktionalität und der Schnittstellen weitere Anwendungsfälle erkennbar werden:

- Datenerfassung bei diversen Planungs- und Simulationsprojekten
- Online-Monitoring & Controlling von Prozessabläufen und KPIs
- Unterstützung bei der Durchführung von verschiedenen QM-Methoden (wie z.B. Six-Sigma, KVP, Lean...)

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Verbundprojektes „Tracing intelligenter LogistikObjekte“ unter dem Förderkennzeichen 01IC10L27A im „Effizienz Cluster LogistikRuhr“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Literatur

- Aufenanger, M.; Wagner, J.B.; Lück, I.; Laroque, C.; Blecken, A.: Konzeption und Implementierung einer BDE-Schnittstelle zur flexiblen Datenerfassung. In: Rabe, M. (Hrsg.): *Advances in Simulation for Production and Logistics Applications*. Stuttgart: Fraunhofer IRB 2008, S. 427-438.
- Kalkan, Y.; Koç, E.; Alias, C.; Noche, B.: The logistic objects tracking by using image processing techniques. In: Gürsoy, G.; Tanyas, M. (Hrsg.): *Proceedings of the X. International Logistics & Supply Chain Congress - Sustainability of International Logistics Systems and Supply Chain in an Era of Global Crisis*, Istanbul (Turkey), 8.-9. November 2012, S. 311–317.
- Kalkan, Y.; Koç, E.; Alias, C.; Noche, B.: Smart tracking of objects in logistics processes with the help of image processing. In: Clausen, U.; ten Hompel, M.; Klumpp, M. (Hrsg.): *Efficiency and Logistics*. Berlin, Heidelberg: Springer 2013, S. 253–260.
- Kühn, W.: *Digitale Fabrik, Fabriksimulation für Produktionsplaner*. München, Wien: Carl Hanser 2006.
- März, L.: *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik. Praxisorientierter Leitfaden mit Fallbeispielen*. Berlin: Springer 2011.
- Miller, M.J.; Ferrin, D.M.; Flynn, T.; Ashby, M.; White, K.P.; Mauer, M.G.: Using RFID Technologies to Capture Simulation Data in a Hospital Emergency Department. In: Perrone, L.F.; Lawson, B.; Liu, J.; Wieland, F.P. (Hrsg.): *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference (WSC)*, Monterey, California (USA), 3.-6. December 2006, S. 1365-1371.
- Skoogh, A.; Perera, T.; Johansson, B.: Input data management in simulation - Industrial practices and future trends. *Simulation Modelling Practice and Theory* (2012) 29, S. 181-192.
- Spinner, K.: *Leitfaden zur industriellen Bildverarbeitung*. Stuttgart: Fraunhofer 2012.
- VDI: Richtlinie 3633 Blatt 5: *Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen - Integration der Simulation in die betrieblichen Abläufe*. Berlin: Beuth 2000.
- VDI: Richtlinie 3633 Blatt 1: *Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen - Begriffsdefinitionen*. Berlin: Beuth 2010.
- Wenzel, S.; Weiss, M.; Collisi-Böhmer, S.; Pitsch, H.; Rose, O.: *Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik: Planung und Durchführung von Simulationsstudien*. Berlin, Heidelberg: Springer 2008.
- Wenzel, S.; Bernhard, J.: Definition und Modellierung von Systemlasten für die Simulation logistischer Systeme. In: Nyhuis, P. (Hrsg.): *Beiträge zu einer Theorie der Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer 2008, S. 487-509.
- Yilmaz, A.; Javed, O.; Shah, M.: Object tracking: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)* 38 (2006) 4, Article 13.