

Soziotechnisches Design eines lernenden Bildverarbeitungssystems für einen Arbeitsplatz im Wareneingang eines Logistikzentrums

Dirk MARRENBACH, Martin BRAUN, Oliver SCHOLTZ

*Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart*

Kurzfassung: Die künstliche Intelligenz erlaubt die Entwicklung lernfähiger, adaptiver Technologien. Ziel einer humanzentrierten Entwicklung ist die schrittweise Adaption von technischen Systemen an das menschliche Verhalten. Assistenzsysteme übernehmen hierbei die Rolle eines Interaktionspartners zwischen künstlicher Intelligenz und arbeitendem Menschen. In diesem Kontext bilden das System of Systems Engineering, das System Thinking und der soziotechnische Ansatz eine bewährte Plattform zum integrierten Design von künstlicher Intelligenz, Arbeits- und Assistenzsystemen. Das Vorgehen wird pilothaft am Beispiel einer lernfähigen Bildverarbeitung im Wareneingang vorgestellt und nach arbeitswissenschaftlichen Kriterien diskutiert.

Schlüsselwörter: Systems Thinking, soziotechnisches Design, künstliche Intelligenz, Bildverarbeitung, Intralogistik

1. Ausgangssituation

Die fehlerfreie, sichere und zuverlässige Identifikation und Auszeichnung von angelieferten Gütern hat sich bei der Versorgung von Handwerk, Produktion und Handel als ein erfolgskritischer Faktor herausgestellt. Zu diesem Zweck wurden bisher in sämtlichen Bereichen eines hier betrachteten Logistikzentrums umfangreiche Prüfungen der Identitätsmerkmale der Schrauben manuell vorgenommen. Aufgrund langjähriger Erfahrungen sind die im Wareneingang tätigen Mitarbeiter in der Lage, die Schrauben anhand ihrer Form und Farbe schnell und zuverlässig zu identifizieren.

Alle Mitarbeiter im Wareneingang werden aktuell durch ein Assistenzsystem bei der systematischen Erfassung von Identitätsmerkmalen angeleitet und schrittweise durch den Erfassungsprozess geführt. Dennoch traten immer wieder Fehler auf, die erst beim Kunden erkannt wurden. Zusätzliche manuelle Identitätsprüfungen in der Kommissionierung, der Verpackung und dem Versand vermochten die Fehlerrate nicht zu senken. In den kommenden Jahren verlassen immer mehr erfahrene Mitarbeiter altersbedingt das Logistikzentrum. Im Zuge dieser Entwicklung soll eine künstliche Intelligenz zur automatisierten Identifikation von Schrauben eingesetzt werden. Die künstliche Intelligenz wird in ein Assistenzsystem integriert, das den Mitarbeiter bei der Erfassung von Gütern im Wareneingang unterstützt.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Technologien erlaubt die künstliche Intelligenz erstmals eine gewisse Adaption des Verhaltens eines technischen Systems an das Verhalten des Menschen (Wilson & Daugherty 2018). In diesem Zusammenhang stellt sich die *Forschungsfrage*, wie das Zusammenspiel von Mitarbeiter und Assistenzsystem im Wareneingang sowie das Zusammenspiel zwischen dem Assistenzsystem

und der lernenden Bildverarbeitung zur Erkennung von Gütern gestaltet werden muss, um optimale Identifikationsergebnisse zu erzielen.

Zu diesem Zweck werden Arbeitssysteme als ein Netzwerk autonom agierender Systeme verstanden, die zielgerichtet zusammenarbeiten, um eine gestellte Aufgabe zu erfüllen. Das soziotechnische Design bietet ein partizipatives Instrumentarium, um die drei Teilsysteme eines Wareneingangsarbeitsplatzes zu analysieren, zu gestalten und zu implementieren. Auf Grundlage der soziotechnischen Analyse der lernenden Bildverarbeitung, des assistierenden Identifikationssystems und des umgebenden Arbeitssystems wird die Gestaltung eines Wareneingangsarbeitsplatzes vorgestellt. Der Schwerpunkt liegt dabei in der systematischen Ermittlung der für die lernende Bildverarbeitung erforderlichen Daten sowie auf dem Zusammenspiel von Mitarbeiter, Identifikations- bzw. Informationssystem und lernender Bildverarbeitung.

2. Logistik als soziotechnisches System of Systems

Logistiksysteme beschäftigen sich mit der Schaffung der räumlichen und zeitlichen Ordnung zwischen Quellen und Senken in Wertschöpfung, Wirtschaft und Gesellschaft. Logistiksysteme stellen die Verfügbarkeit von materiellen und immateriellen Gütern für den richtigen Kunden, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, in der richtigen Menge, mit den richtigen Informationen, in der gewünschten Qualität bei niedrigen Kosten- und Ressourcenverbrauch zur Verfügung. (Marrenbach 2009; Arnold 2006; Braun & Marrenbach 2017)). In der Regel werden logistische Leistungen von inner- wie überbetrieblichen Kunden als eine jederzeit abrufbare Dienstleistung betrachtet und nur im Falle von Problemen wahrgenommen (Spath et al. 2009).

Aus systemtheoretischer Perspektive bildet der Wareneingang eines Logistikzentrums die operative Schnittstelle zwischen den inner- und überbetrieblichen Logistiksystemen. Logistikdienstleister betreiben derzeit einen hohen manuellen Aufwand, um die angelieferten Waren zuverlässig zu identifizieren. Sie verlassen sich dabei nicht nur auf die Identitätsmerkmale, die auf den Verpackungen aufgedruckt sind, sondern erfassen und prüfen die Artikel anhand ihrer spezifischen Geometrie, ihres Gewichts und ihrer Qualität. In einem Wareneingangsarbeitsplatz werden Anlieferungen manuell ausgepackt, identifiziert, gezählt, gewogen, vermessen, verglichen, vereinnahmt und ausgezeichnet. Die vereinnahmten Güter werden zur Einlagerung bzw. zur Weiterverarbeitung auf Ladungsträgern bereitgestellt. Die festgestellte und auf einem Etikett dokumentierte Identität der angelieferten Güter wird in den nachfolgenden Prozessen als Navigationsmittel genutzt. Entsprechend der Lean Management Strategien soll die Identität des Gutes in den nachfolgenden Prozessen nicht mehr geprüft werden. Fehler werden erst vom Kunden bei der Nutzung des Guts entdeckt und sorgen für hohe Aufwände und Kosten bei eiligen Nachlieferungen zur Vermeidung von Produktionsausfällen (Spath et al. 2019).

In der Arbeitswissenschaft haben sich soziotechnische Systeme als Modellierungsansatz zur Analyse, Gestaltung und Bewertung der Zusammenarbeit zwischen Menschen, Technologien und Organisation bewährt. In einem soziotechnischen Arbeitssystem arbeiten Menschen mit anderen Menschen und Maschinen zusammen, um gemeinsam Aufträge zu bearbeiten und dabei zielgerichtet Input in Output zu transferieren (Alter 2013; Sydow 1985). Dem soziotechnischen Ansatz entsprechend kann ein Arbeitssystem in ein soziales, technologisches und organisatorisches Teilsystem untergliedert werden. Die substituierende Einführung neuer Technologien führt zu einer Reorganisation der Funktionsteilung zwischen Menschen und

Maschinen. In diesem Fall werden manuelle Tätigkeiten durch die neue Technologie ersetzt, ohne die Organisation zu verändern. Die Einführung von lernfähigen Assistenzsystemen wirkt sich allerdings auf alle drei Teilsysteme aus.

Im soziotechnischen Arbeitssystem „Wareneingang“ finden aufgrund der großen Vielfalt an Dokumenten, Verpackungen und Gütern immer noch zahlreiche manuelle Tätigkeiten statt. Die große Vielfalt in Verbindung mit der geringen Standardisierung erschwert in diesem Bereich eine Automatisierung. Die ergonomische Gestaltung des Arbeitssystems „Wareneingang“ kann die physischen und mentalen Belastungen optimieren (Spath et.al. 2019). Tabelle 1 stellt die Komponenten des im Fallbeispiel betrachteten Wareneingangsarbeitsplatzes vor.

Tabelle 1: Komponenten eines Arbeitssystems im Wareneingang

Komponente	Beschreibung
Interne und externe Kunden	Intern: Lager- und Kommissioniersystem im Logistikzentrum Extern: Sortierung von Schrauben (Befestigungselementen)
Aktivitäten und Tätigkeiten	Auspacken, sichten, vereinzeln, sortieren, leben, aufnehmen, identifizieren, tippen, drucken, labeln und ablegen
Teilnehmer	Mitarbeiter des Logistikteams, tätig an 3 Arbeitsplätzen
Informationen	Bestelldaten (ERP-System), Frachtbrief und Lieferscheindaten, Artikeldaten (Etiketten, Beschriftung)
Technologien	Hardware: bildverarbeitenden Assistenzsystem, Juwelierlupe, Computer, Etikettendrucker Software: OCR, Barcode-Erkennung, Bildvergleichssystem, ERP-System
Umgebung	Handelsunternehmen für Befestigungssysteme, Logistikzentrum mit Wareneingang, Lager- und Kommissioniersystem, Verpackung und Warenausgang
Strategie	Arbeitsplatz: One-piece-flow, Gruppe: Kultur gegenseitiger Unterstützung

Zur zuverlässigen Versorgung aller inner- und außerbetrieblichen Kunden sind umfangreiche Kompetenzen der Mitarbeiter erforderlich, um fehlerhafte Anlieferungen schnell und treffsicher zu identifizieren und auszusortieren. Assistenzsysteme ermöglichen eine systematische Vereinnahmung durch einen strikten „One Piece Flow“ mit überprüfbaren Zwischenzuständen. Der Einsatz von Assistenzsystemen sorgt für eine Steigerung der Effizienz im Wareneingang und reduziert die Fehlerrate. Er birgt aber gleichzeitig das Risiko des Verlernens von erforderlichen Kompetenzen (Spath et al. 2019).

Das kameragestützte Assistenzsystem arbeitet mit Hilfe eines ausgeklügelten Bildvergleichs: Die angelieferten Güter werden mit im System hinterlegten Referenzbildern verglichen und mittels charakteristischer Merkmalen identifiziert, bevor sie anschließend vereinnahmt werden. Das Assistenzsystem kann zusätzlich mit Hilfe einer Barcode- und Texterkennung Begleitdokumente erfassen und Auftragsdaten ermitteln. Das kameragestützte Assistenzsystem arbeitet in zwei Betriebsarten: dem Trainingsmodus und dem Anwendungsmodus. Es wird in der Regel von einem erfahrenen Mitarbeiter genutzt, der nicht nur die umfangreiche Vergleichsbilddatenbank anlegt und pflegt, sondern auch die charakteristischen Produktmerkmale identifiziert. In der Trainingsphase werden die erzielten Identifikationsergebnisse kritisch geprüft und ggf. Merkmale korrigiert.

Ein trainiertes Assistenzsystem kann anschließend auch von weniger erfahrenen Mitarbeitern genutzt werden, um die im System hinterlegten Güter zu identifizieren. Die Güte der Identifikationsergebnisse hängt primär von der Qualität der hinterlegten Referenzbilder und -merkmale ab. Der Aufwand für Wartung und Pflege der Daten-

bank wächst mit der Vielfalt der Produkte und der Anzahl der Sortimentsveränderungen. Ein großes Sortiment gleichartiger Artikel kann nur mit einer großen Menge detaillierter Referenzbilder und zahlreicher Merkmalspunkte erfasst werden.

Dem Verlernen der Fähigkeiten zur schnellen, sicheren und zuverlässigen Identifikation von angelieferten Gütern kann nur durch die regelmäßige Anwendung dieser Fähigkeiten entgegengewirkt werden. Bei der Planung des Personaleinsatzes ist darauf zu achten, dass alle Mitarbeiter regelmäßig die manuellen Wareneingangsprüfungen vornehmen. Das Assistenzsystem ermöglicht es der Personaleinsatzplanung, möglichst alle verfügbaren Mitarbeiter an die Tätigkeiten im Wareneingang heranzuführen.

3. Künstliche Intelligenz bei der Produktidentifikation

Der Aufwand zur automatischen Identifikation des gesamten Handelssortiments steigt bei der Anwendung des skizzierten kameragestützten Assistenzsystems in extreme Höhen. An dieser Stelle setzt der Einsatz von künstlicher Intelligenz bei der Produktidentifikation an: Grundsätzlich besitzt jedes Produkt eine Sammlung von charakteristischen Merkmalen, die ein Identifikationsmuster bilden. Aufgabe der künstlichen Intelligenz ist es, in den Produktdaten und -bildern zuverlässige Erkennungsmuster zu identifizieren. Diese Erkennungsmuster werden von dem kameragestützten Assistenzsystem im Nutzungsmodus als Vergleichsreferenzen genutzt, um die angelieferten Produkte eindeutig zu identifizieren.

Über eine systematische Funktionszerlegung des kameragestützten Assistenzsystems wird die eigentliche Aufgabe der zu integrierenden künstlichen Intelligenz bestimmt, die Relationen zu anderen Teilsystemen des Assistenzsystems offengelegt und Interaktionsmöglichkeiten mit den Benutzern festgestellt (Alter 2013)

Die Entwicklung und Erprobung eines lernfähigen Algorithmus zur Erkennung von Produktmerkmalen erfolgt nach dem PDCA-Zyklus. Der zu entwickelnde, lernfähige Algorithmus zur Identifikationsmustererkennung erfüllt eine genau definierbare Teilfunktion des kamerabasierten Assistenzsystems. Im Zuge des Trainingsmodus wird die zur Verfügung stehende Produktdatenbasis auf eindeutig erfassbare Identifikationsmuster analysiert und entsprechende Muster als Referenzdatensatz generiert. An dieser Stelle ist zunächst zu klären, über welche eindeutigen Identifikationsmerkmale die zu erfassende Produktgruppe verfügt, und wie es von ähnlichen Produkten zuverlässig unterschieden werden kann. Prinzipiell lassen sich Schrauben anhand ihrer Geometrie (d. h. Kopfform, Gewindeform, Steigung, Länge, Durchmesser) und ihrer Farbe (d. h. Werkstoff, Oberflächenbehandlung) eindeutig voneinander unterscheiden. Erfahrene Mitarbeiter im Wareneingang identifizieren Schrauben sofort anhand ihrer Geometrie und Farbe. Sie müssen in der Regel nur wenige Kontrollprüfungen vornehmen, um ihre erste Eingabe zu checken.

In einem ersten Ansatz zum Aufbau einer Referenzdatenbasis wurde die normierte Geometrie von Schrauben herangezogen, die in zahlreichen CAD-Bibliotheken abrufbar sind. Die Schrauben liegen dem lernfähigen Algorithmus als 3D-Modell vor, an dem die Erkennungsmerkmale abgegriffen werden können. Die ermittelten Identifikationsmerkmale müssen in den vom kameragestützten Assistenzsystem aufgenommenen Bildern eindeutig wiedererkennbar sein. Schrauben werden in 3D-Modellen allerdings nur abstrahiert dargestellt und enthalten nicht alle zur eindeutigen Identifikation notwendigen Merkmale. Insbesondere die detaillierte Geometrie der Gewinde werden nur symbolisch abgebildet und weichen von einer realen Schraube

erheblich ab. Die Normteilebibliotheken enthalten ebenfalls keine Informationen über die in der Realität anzutreffenden Toleranzen. Die Farbe einer Schraube hängt wesentlich von dem verwendeten Werkstoff und der Oberflächenstruktur der Schraube ab. Dieser erste Ansatz erwies sich somit nicht als zielführend

In einem zweiten Ansatz wurden Fotos aus Produktkatalogen zur Ermittlung der Erkennungsmuster herangezogen. Die genutzten Fotos zeigen Schrauben aus verschiedenen Perspektiven und präsentieren die skizzierten Identifikationsmerkmale. Mit Hilfe dieser Fotos konnten nach eingehendem Training und Feinabstimmung von Kamera, Beleuchtung und Algorithmen die wiedererkennbaren Identifikationsmerkmale von Geometrie und Farbe nutzbar gemacht werden. Zur sicheren Erfassung der Identifikationsmerkmale von Schrauben wurden zusätzliche Beleuchtungselemente installiert und spezielle Vorrichtungen zur Auflage von Schrauben entwickelt.

Auf diese Weise konnte sukzessive eine Referenzdatenbasis für Schrauben aufgebaut und durch erfahrene Mitarbeiter geprüft werden. Inzwischen werden häufig nachgefragte Schrauben über diesen erweiterten Assistenten systematisch erfasst und vereinnahmt. Unternehmensspezifische Details werden im Vortrag erörtert.

4. Fazit

Derzeit haben Unternehmen in der Logistik nur geringe Erfahrungen mit der Anwendung künstlicher Intelligenz im Allgemeinen und deren Anwendung im Wareneingang im Besonderen. Es existieren keine erprobten Standardlösungen für diesen Anwendungsfall, so dass sich Ausrüster und Anwender den Piloten „zuverlässig erfassbare Identifikationsmuster“ mühsam erschließen mussten. Der Aufwand zum pilothaften Aufbau und Betrieb eines durch künstliche Intelligenz unterstützten kameragestützten Assistenzsystems wurde von allen involvierten Partnern unterschätzt. Insbesondere die Validierung der Referenzdatenbasis erwies sich als arbeitsintensiv, aber auch erkenntnisreich.

Das Systemdenken konnte in Verbindung mit dem soziotechnischen Ansatz und dem qualitätsorientierten PDCA-Zyklus für eine notwendige Klärung der eigentlichen Aufgabenstellung des lernfähigen Algorithmus sorgen und die für eine erfolgreiche Anwendung zu berücksichtigenden Relationen und Interaktionen aufzeigen. Auf diese Weise ließ sich nicht nur die eigentliche Anwendung des kameragestützten Assistenzsystems, beispielsweise durch einen „One Piece Flow“ oder zusätzliche Beleuchtung verbessern, sondern vor allem der experimentelle Trainingsmodus konnte rund um die Bedürfnisse des Algorithmus aufgebaut werden. Zur Generierung von wiedererkennbaren Mustern waren Algorithmus, Kamera und Beleuchtung optimal aufeinander einzustellen. Das kamerabasierte Assistenzsystem soll den Mitarbeiter zukünftig bei dieser diffizilen Aufgabe unterstützen.

Grundsätzlich lässt sich die dargestellte, zyklische Vorgehensweise auf andere Produkte übertragen. Neben der Qualität der Bilddatenbasis erwies sich der lernfähige Algorithmus als erfolgskritischer Faktor. Zur Bild- und Mustererkennung sind mittlerweile unterschiedliche Algorithmen auf Grundlage von neuronalen Netzen verfügbar.

Die erworbenen Kompetenzen zur zuverlässigen manuellen Identifikation von Waren werden auch zukünftig durch den Einsatz der künstlichen Intelligenz nicht obsolet, denn nur der erfahrene Mitarbeiter kann entscheiden, ob das Richtige erkannt und gelernt wird. Die Mitarbeiter bekommen somit eine neue Rolle zugewiesen: Sie agieren zukünftig als Trainer und Qualifizierer für die in Produktion und Logistik eingesetzten künstlichen Intelligenzen (vgl. Wilson & Daugherty 2018).

5. Literatur

- Arnold D (2006) Intralogistik. Berlin, VDI Springer.
- Alter S (2013) Work System Theory: Overview of Core Concepts, Extensions, and Challenges for the Future. Business Analytics and Information Systems. Paper 35.
- Braun M, Marrenbach D (2017) Präventive Arbeitsgestaltung in der Industrie 4.0: Ein kybernetischer Gestaltungsansatz am Beispiel der Intralogistik. Industrie 4.0 Management 33: 38-42.
- Marrenbach D (2009) Simulationsgestützte Logistiksystemplanung auf Basis eines modular aufgebauten Modells eines technisch vollständigen Anlagen-Entwurfs. Universität Stuttgart, Dissertation.
- Spath D (2009) Der Mensch in der Intralogistik. Bericht. Stuttgart: Intralogistik-Netzwerk in Baden-Württemberg.
- Spath D, Marrenbach D, Kille B, Emmert M, Mahanty W, Portmann S, Gerlmaier A, Wendehals T, Chrobok H, Iber B, Scholtz O (2019) Präventive Arbeitsgestaltung in Produktion und Logistik. Menschengerecht, produktiv und zukunftsfähig: Erfolgreiche Unternehmensbeispiele und Forschungsergebnisse. Stuttgart, Fraunhofer.
- Sydow J (1985) Der soziotechnische Ansatz der Arbeits- und Organisationsgestaltung. Frankfurt, Campus.
- Wilson J, Daugherty P (2018) Human & Machine. Künstliche Intelligenz und die Zukunft der Arbeit. München: DTV.

Förderhinweis: Im vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse des Forschungs- und Transferprojekts „PREVILOG: Präventive Intralogistik – Ganzheitliche Analyse, Gestaltung und Bewertung von Arbeitssystemen der Intralogistik“ veröffentlicht. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Kennzeichen 01FA15104 gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) fachlich betreut.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten

68. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
Fabrikautomatisierung IFF, Magdeburg

02. – 04. März 2022

GfA-Press

Bericht zum 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 02. – 04. März 2022

**Otto-von Guericke-Universität Magdeburg;
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2022
ISBN 978-3-936804-31-7

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin**

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de