

Smart Workbench: Ein multimodales und bidirektionales Assistenzsystem für den industriellen Einsatz

J. Höcherl¹, S. Niedersteiner¹, S. Haug², C. Pohl¹, T. Schlegl¹, K. Weber², T. Berlehner³

¹Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg,
Regensburg Robotics Research Unit (RRRU)
Galgenbergstraße 30, 93053 Regensburg
johannes3.hoecherl@oth-regensburg.de, sascha2.niedersteiner@oth-regensburg.de,
clemens2.pohl@oth-regensburg.de, thomas.schlegl@oth-regensburg.de

²Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg,
Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST)
Seybothstraße 2, 93053 Regensburg
sonja.haug@oth-regensburg.de, karsten.weber@oth-regensburg.de

³Infineon Technologies AG
thomas.berlehner@infineon.com

Kurzzusammenfassung

Bei monotonen Aufgaben in der industriellen Produktion lässt sich eine Konzentrationsabnahme der Arbeitenden beobachten, welche zu Qualitätsmängeln der Produkte führt. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Entwicklung eines Systems zur Beobachtung des Arbeitsfortschritts, um eine schritthaltende Qualitätskontrolle und Unterstützung des Personals zu ermöglichen. Der bidirektionale Informationsaustausch erfolgt erstens über ein bildverarbeitungsgestütztes Gesteninterface und zweitens über die Darstellung visueller Handlungshilfen direkt auf der Arbeitsfläche. Die praktische Anwendbarkeit des Systems wird an einem industriellen Verpackungsprozess demonstriert. Eine Evaluation der Robustheit der Nutzerschnittstelle, der Benutzerakzeptanz und die daraus gewonnenen Erkenntnisse für das Anlagendesign, den Entwicklungsprozess und die Mitarbeiterbegleitung komplettieren den Artikel.

Abstract

“Smart Workbench: A multimodal and bidirectional assistance system for industrial applications“

Manual tasks in industrial production are often monotonous, leading to a decrease in concentration and therefore to quality deficiencies in the products. This paper presents the development of a system to track the work progress, enabling an online quality control and support of the worker. The bidirectional flow of information is handled first via an image-based gestural interface and second a direct presentation of advice on the work surface. To demonstrate the practical applicability, an industrial packaging task is implemented. The article concludes with an evaluation of the interface robustness and the user acceptance of the framework.

Keywords: Kontextsensitive Arbeiterunterstützung, Inline-Qualitätskontrolle, Nutzerfreundlichkeit, Bedienerakzeptanz, Interaktives Assistenzsystem

1 Motivation, Einordnung und Ziele der Smart Workbench

Um die heutigen hohen Anforderungen an die Qualität der industriellen Fertigung zu erfüllen, werden in vollautomatisierten Produktionsanlagen unterschiedliche Methoden zum Überwachen der qualitätskritischen Parameter der Erzeugnisse implementiert. Doch obwohl die Automatisierung weiter zunimmt, gibt es viele Tätigkeiten, die auf absehbare Zeit hin nicht wirtschaftlich automatisiert werden können. Die Teilautomatisierung von Prozessen durch eine Zusammenarbeit von Mensch und Maschine ist hierbei vielversprechend. Dadurch können (a) Arbeiter bei den vorher manuell durchgeführten Aufgaben entlastet, (b) eine automatische Qualitätssicherung oder (c) eine höhere Wirtschaftlichkeit erreicht werden. Bei manuellen Tätigkeiten in der industriellen Produktion müssen mitunter monotone Aufgaben durchgeführt werden, welche zu einer Konzentrationsabnahme der Arbeitenden und damit zu Qualitätsmängeln führen. Abbildung 1.1 zeigt das vorgeschlagene System zur kontextsensitiven Arbeiterunterstützung mit integrierter, kamerabasierter schritthaltender Qualitätskontrolle. Damit soll die Qualität und, über eine kognitive Arbeiterentlastung, die Ergonomie verbessert werden.

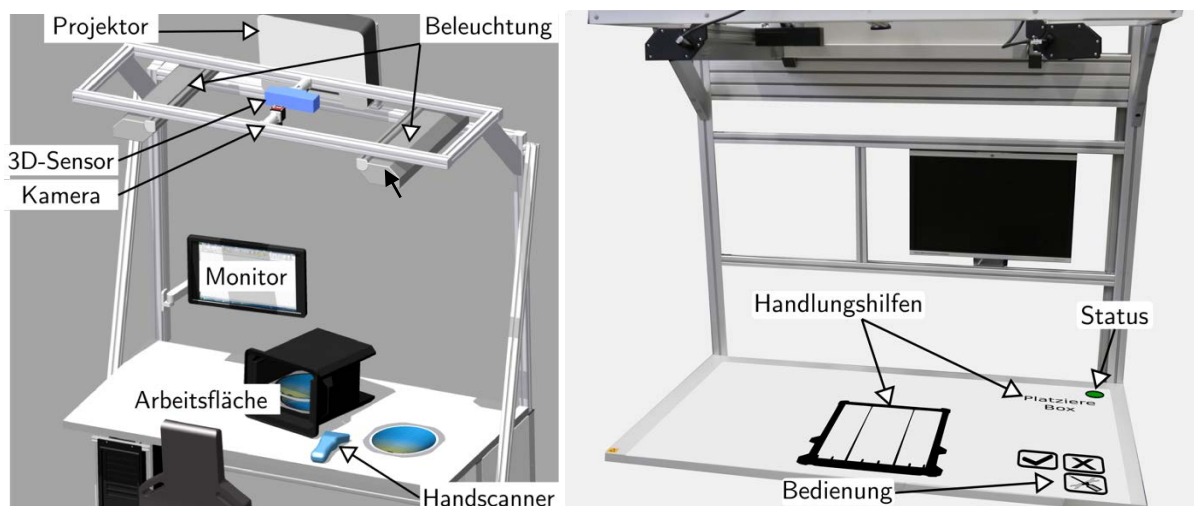


Abbildung 1.1: Entwickeltes industrielles Assistenzsystem
(links: Konzept; rechts: Umsetzung)

1.1 Stand der Technik von Assistenzsystemen mit integrierter Handlungshilfe

Industrielle intelligente Arbeitstische stellen z. B. das Local Positioning System [1], das Light Guide System [2], „Der Schlaue Klaus“ [3] oder der Arbeitsplatz 4.0 [4] dar. Diese Systeme unterstützen den Beschäftigten durch visuelle Handlungshilfen; je nach Anwendung können damit auch neue Arbeiter angeleitet werden. Stork und Schubö berichten in [5] von einem Demonstrator mit an das menschliche Aufmerksamkeitsvermögen angepassten Handlungshilfen. Ähnliche Systeme sind auch für die Unterstützung von Behinderten bei alltäglichen Aufgaben bekannt. So beschreiben Peters et al. in [6] ein System, welches Menschen mit kognitiven Einschränkungen durch Verhaltensbeobachtung und verhaltensspezifische Hinweise beim Zähneputzen hilft. Ferner stellen Büttner et al. in [7] ein Datenbrillen-basiertes und ein Projektor-basiertes Assistenzsystem mithilfe einer Nutzerstudie gegenüber. Weiterhin zeigen Bächler et al., dass zusätzlich zur technischen Umsetzung auch eine partizipative Entwicklung möglich ist [8]. Das in diesem Artikel beschriebene System hat eine ähnliche Zielsetzung: Technische und soziale Aspekte der Entwicklung eines teilautomatischen Arbeitstisches für die Industrie werden anhand durchgeführter Tests und Nutzerstudien im Realumfeld evaluiert.

1.2 Ziele und Herausforderungen des vorgestellten Ansatzes

Die Ziele des Projekts Smart Workbench liegen in der Qualitätsverbesserung und, daraus folgend, in der Kostenverminderung bei händischen sowie teilautomatisierten Verpackungs- und Montageaufgaben. Dabei sollen Arbeiter, die nicht mit der Aufgabenstellung vertraut sind, von der Anlage angeleitet und entlastet werden. Um dies zu erreichen, werden kontextsensitiv textuelle, piktografische oder animierte Arbeitsanleitungen gezeigt. Nötig ist dazu eine durchgehende Beobachtung der Arbeitsfolge des Anlagenbedieners anhand definierter Schlüsselaktionen, die vorab durch eine Prozessanalyse identifiziert werden. Dieses generische Konzept wird auf eine Tätigkeit in der Industrie angewendet, bei der eine finale Qualitätskontrolle und die Verpackung der Produkte stattfinden. In diesem Artikel werden insbesondere die Nutzerfreundlichkeit und -akzeptanz evaluiert. Eine wesentliche technische Herausforderung stellt dabei die Bereitstellung einer robusten industrietauglichen Gestenschnittstelle dar. Ferner wurden die Evaluationen im Realumfeld mit dem tatsächlichen Personenkreis an einem realen Anwendungsfall durchgeführt. Nach reiflicher Recherche sind die Autoren überzeugt, dass es noch keine Publikation mit dieser Zielsetzung und den beschriebenen Randbedingungen gibt.

2 Systembeschreibung des vorgestellten kontextsensitiven Unterstützungssystems

Das in Abbildung 1.1 gezeigte System besteht aus einem standardisierten industriellen Arbeitstisch mit Beleuchtung, einem Arbeitsplatzrechner sowie einem Handscanner. Um dem Arbeiter eine intuitive, natürliche Schnittstelle zur Verfügung zu stellen, ist die Benutzung von 3D-Sensoren notwendig. Zusätzlich zu einem 3D-Sensor ist eine 2D-Kamera am Aufbau des Arbeitstisches montiert. Die Kamera wird primär für die Objekterkennung auf der Arbeitsoberfläche genutzt. Die Anzeige von Informationen für den Arbeiter und Bedienelementen wie Knöpfen auf der Arbeitsoberfläche (siehe Abbildung 1.1 rechts) erfolgt über einen handelsüblichen Weitwinkelprojektor. Zusätzlich ist seitlich des Arbeitsplatzes ein Monitor angebracht, um weiterführende Informationen oder eine Schnittstelle zur eventuellen Diagnose und Störungsbeseitigung bereitzustellen. Im Gegensatz zur Schnittstelle, die über den Projektor dargestellt wird, werden diese Funktionen mit herkömmlichen Eingabegeräten, wie Maus und Tastatur, bedient. Die Anlagensoftware ist modular aufgebaut. Das Modul *2D-Objekterkennung* ist mit der kommerziellen Bildverarbeitungsanwendung Cognex Vision Pro realisiert.

2.1 Robuste industrietaugliche Gestenschnittstelle zur Anlagenbedienung

Zur Bereitstellung einer intuitiven Schnittstelle wird das in Abbildung 2.1 abstrahiert dargestellte *Gestenerkennungssystem* genutzt. Der Arbeiter artikuliert zunächst einen Wunsch an das System. Dieser wird analysiert, d. h. es findet eine Segmentierung und Formextraktion statt. Die resultierenden Merkmale werden in der Klassifizierung mit hinterlegten Parametern verglichen und generieren eine Aktion, welche weiterverarbeitet wird und eine durch den Beschäftigten

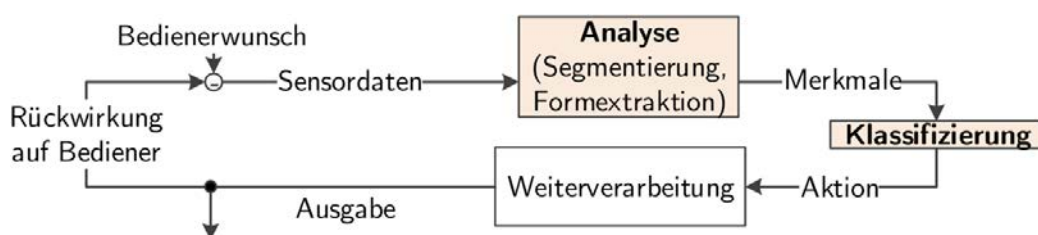


Abbildung 2.1: Geschlossener Wirkungsablauf der Beobachtung von menschlichen Extremitäten

wahrnehmbare Ausgabe auslöst. Die Ausgabe hat dabei eine direkte Rückwirkung auf den Folgewunsch des Anlagenbedieners und bildet so einen geschlossenen Wirkungsablauf.

2.2 Kontextsensitive Arbeiterassistenz durch kontinuierliche Fortschrittsüberwachung

Um dem Arbeiter die passende Unterstützung zu bieten sowie die Qualität des Produktes zu überwachen, benötigt das System Wissen darüber, welcher Arbeitsschritt gerade ausgeführt wird und wann dieser beendet ist. Grundlage hierfür ist ein Modell des Arbeitsprozesses, welches alle Arbeitsschritte sowie vorhersehbare Bedienungsfehler und qualitätskritische Abweichungen der ausgeführten Arbeiten vom Normablauf repräsentiert.

Das implementierte Modell abstrahiert den Arbeitsprozess als deterministischen endlichen Automaten. Einzelne Zustände des Automaten stellen dabei auszuführende Arbeitsschritte dar. Transitionen dienen der Erkennung des Abschlusses eines Arbeitsschrittes und der Abfrage von detektierbaren Fehlerzuständen. Um den aktuellen Zustand zu bestimmen, werden verschiedene Aspekte des Arbeitsablaufs beobachtet. Die 2D-Objekterkennung liefert zu allen bekannten und dem Arbeitsablauf zugeordneten Objekten deren Position und Orientierung auf dem Tisch. Zusätzlich stellt sie zu manchen Objekten weitere Informationen zur Verfügung, wie z. B. bei einer Kiste deren Öffnungszustand. Aus diesen Informationen und unter der Voraussetzung eines bekannten Anfangszustandes der Anlage, welcher durch den definierten Normablauf gegeben ist, kann in den meisten Fällen auf die erfolgreiche Beendigung eines Arbeitsschrittes geschlossen werden.

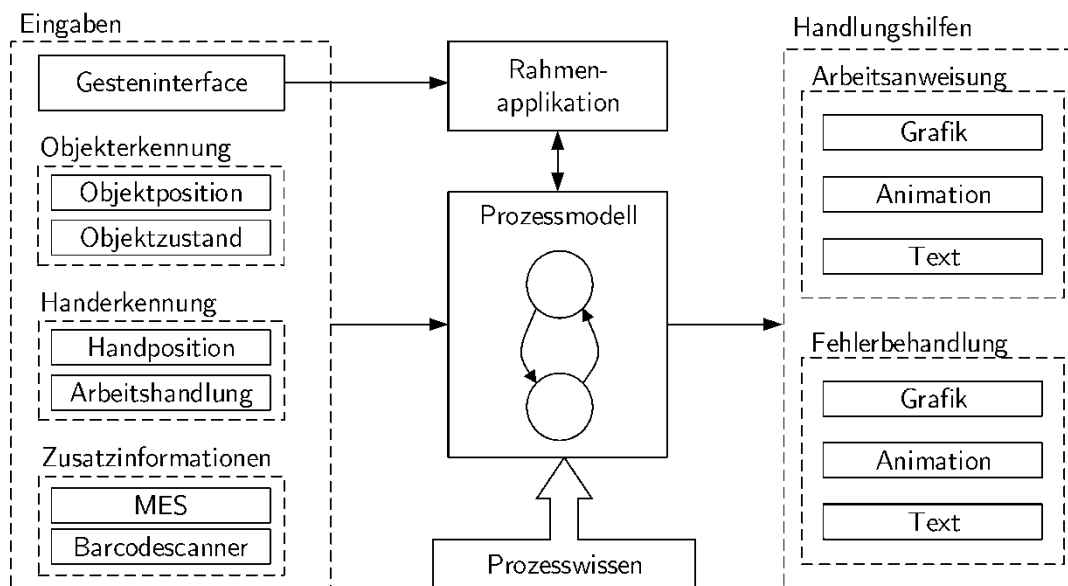


Abbildung 2.2: Einflussfaktoren auf das Prozessmodell sowie die daraus resultierenden Ausgaben

Wo dies aufgrund der Komplexität eines Teilprozesses nicht möglich ist oder eine Unterscheidung zwischen zwei möglichen Folgeschritten nicht vom System getroffen werden kann, wird der Beschäftigte über die interaktive Benutzerschnittstelle zu einer Eingabe aufgefordert. Bei manchen Prozessen ist es zudem möglich, weitere spezifische Informationen als Transitionsbedingungen zu nutzen, wie z. B. die Ausgabewerte zusätzlich benötigter Peripheriegeräte oder die Kommunikation mit einem übergelagerten Fertigungsmanagementsystem.

Der Zustand bzw. Zustandsübergänge des Automaten steuern das System. Eingangsaktionen der einzelnen Zustände werden benutzt, um einmalige Aktionen auszulösen. Solche Aktionen

sind zum Beispiel die Änderung der angezeigten Hinweise und Grafiken oder die Kommunikation mit einem übergeordneten MES. Eingabeaktionen dienen Steuerungsaufgaben, die während einem Arbeitsschritt durchgehend ausgeführt werden müssen, beispielsweise das Nachführen einer grafischen Markierung auf einem Objekt. Eine prinzipielle Darstellung der beschriebenen Einflussfaktoren ist in Abbildung 2.2 zu sehen.

3 Anwendungsfall: Inspektion und Kommissionierung von Produktionsgütern

Die Anwendung des beschriebenen Arbeitsplatzkonzepts erfolgt auf einen Verpackungsprozess mit abschließender optischer Kontrolle der Produkte durch den Mitarbeiter. Beispielhaft für am Prozess beteiligte Objekte ist in Abbildung 3.1 die Versandverpackung zu sehen, in welche die Produkte transferiert werden. Diese kann in den Positionen *Oben*, *Seite* und *Front* sowie den Zuständen *geöffnet* und *geschlossen* sowie *mit Etikett* und *ohne Etikett* vorhanden sein. Der Deckel der Box stellt, wenn diese geöffnet ist, ein eigenständiges Objekt dar.

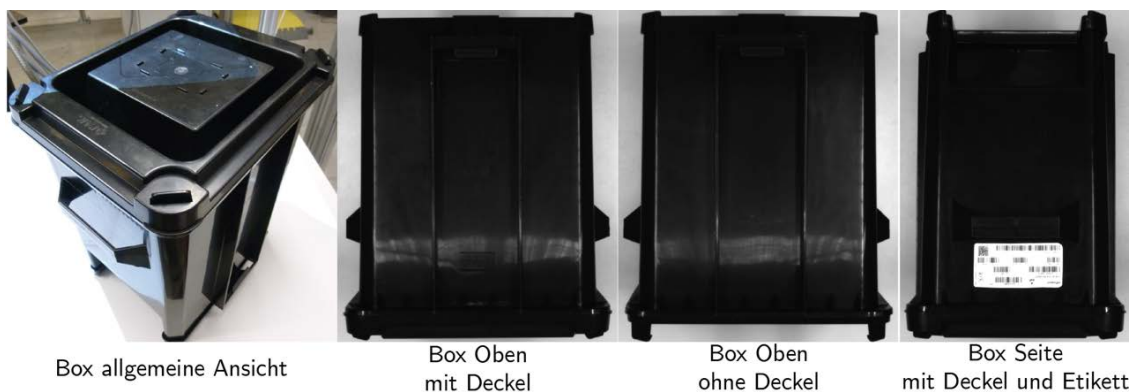


Abbildung 3.1: Exemplarische Positionen und Zustände der Versandverpackung

Der Ablauf des Arbeitsprozesses besitzt 20 Schritte und deckt 12 zusätzlich mögliche Fehlerfälle ab. Die vom System zu erfüllenden Aufgaben sind (I) die Ausgabe von In-situ-Handlungshilfen, (II) die Inline-Qualitätskontrolle und (III) die Fehlerkommunikation.

(I) Dem Arbeiter wird textuell, grafisch oder als Animation mitgeteilt, welcher Arbeitsschritt als Nächstes durchzuführen ist. Abbildung 3.2 zeigt Standbilder einer solchen Animation. Im dargestellten Arbeitsschritt werden die bereits erwähnten Etiketten ausgedruckt und müssen vom Operator auf die Versandverpackung aufgeklebt werden. Zusätzlich zur Einblendung der Animation wird dem Arbeiter die Klebeposition mit einem direkt auf die Box projizierten, farbigen Rechteck angezeigt. Die Markierung folgt der Box bei Verdrehungen oder Positionsänderungen dynamisch, um eine fehlerhafte Positionierung zu vermeiden.

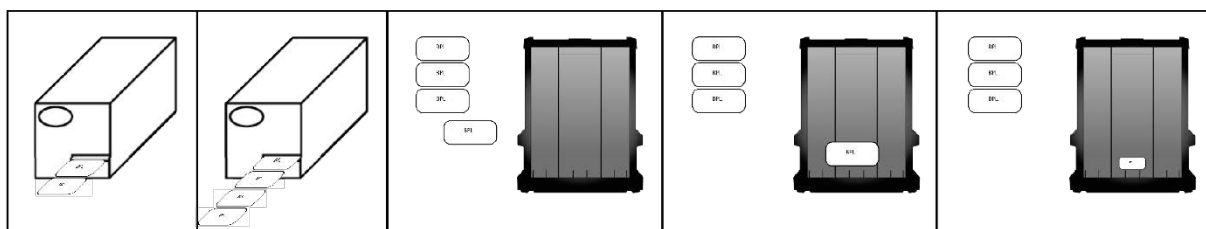


Abbildung 3.2: Animationsstandbilder zum Aufkleben eines Etiketts auf die Versandverpackung

(II) Bestimmte qualitätskritische Parameter des Arbeitsprozesses werden ebenfalls durch das System überwacht. In den meisten Fällen wird dies durch die Benutzung passender Transitionsbedingungen realisiert. Zu dem vorher genannten Beispiel, in welchem ein Etikett auf die Verpackung aufgebracht wird, ist die Bedingung für Transition ein Erkennen des aufgeklebten Etiketts. Somit wird effektiv verhindert, dass der Arbeiter das Aufbringen des Etiketts vergisst, da er erst nach der erfolgten Arbeitshandlung mit dem Prozess fortfahren kann.

(III) Für den Fall, dass bei der vom Arbeiter durchgeführten optischen Kontrolle ein Problem, wie z. B. Flecken oder Kratzer, festgestellt werden, ist eine Nacharbeit des Produktes nötig. Das System ersetzt die hierfür bisher benötigten Formulare in Papierform, auf welchen die Art und Position des Fehlers spezifiziert werden, durch die Einblendung einer entsprechenden grafischen Oberfläche in der Nutzerschnittstelle. Es wird so eine weitere Fehlerquelle beseitigt und der Gedanke einer papierlosen Fertigung unterstützt.

4 Evaluation der Robustheit der gestenbasierten Nutzerschnittstelle

Eine möglichst hohe Erkennungsrate der benutzten Gesten ist entscheidend zur Bedienbarkeit des Systems und zur Verringerung der Produktionsfehlerrate; eine Evaluation ist erforderlich.

4.1 Methodik zur Bestimmung der Erkennungsrate der genutzten Gesten

Für die Überprüfung wurden mit sieben Testpersonen jeweils mindestens zwei Testläufe durchgeführt; insgesamt ergaben sich 26 Testläufe. Die Testgruppe setzt sich einerseits aus Entwicklern sowie andererseits aus Führungskräften und Arbeitern, welche beide mit der Bedienung des Systems nicht vertraut sind, zusammen. Ein Testlauf beinhaltet jeweils eine komplette Durchführung des Prozesses. Im vorher beschriebenen Anwendungsfall sind zwei verschiedene Gesten zur Bedienung der Anlage erforderlich (Abbildung 4.1: Tipp-, Wischgeste). Zusätzlich wird das Einlegen eines Trockenmittels in die Versandverpackung überwacht (siehe Abbildung 4.1). Dies geschieht über die Verfolgung der Handposition und wird ausgelöst, wenn die Hand die Verpackung erreicht, nachdem sie zuvor beim Trockenmittelvorrat war.

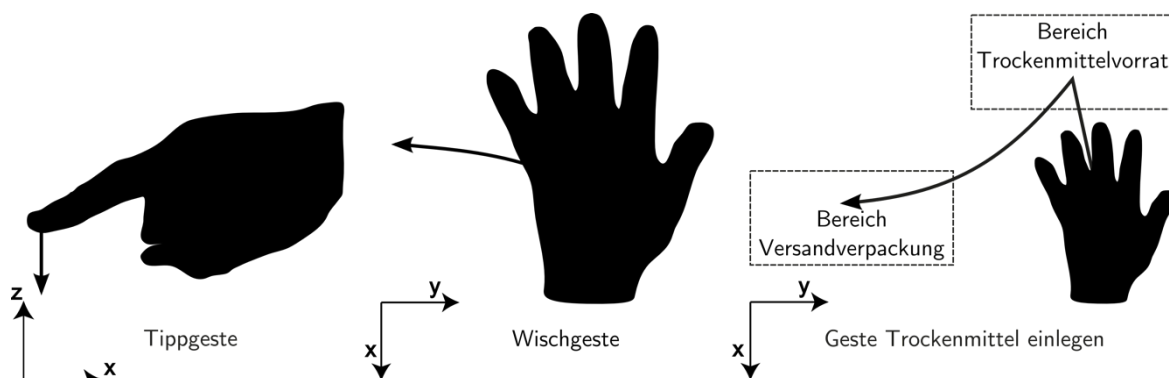


Abbildung 4.1: Tippgeste (Seitenansicht), Wischgeste und Geste Trockenmittel einlegen (Draufsicht)

4.2 Bewertung der Industrietauglichkeit sowie Rückschluss auf die Produktqualität

Wie in Tabelle 4.1 zu sehen ist, ist die Erkennungsrate der Gesten sehr hoch. Die Wischgeste, welche benutzt wird, um das Menü zu öffnen, erreicht mit 96,0 % das schlechteste Ergebnis. Die Erkennungsrate der Tippgeste ist jedoch weitaus kritischer für den Ablauf, da diese für die meisten Eingaben des Arbeiters genutzt wird. Mit nur 2,1 % Fehldetektion wurde hier ein praxistauglicher Wert erzielt. Das Einlegen des Trockenmittels in die Versandverpackung wurde

in allen Fällen korrekt detektiert. Dies ist von hoher Wichtigkeit, da es sich hierbei um einen für die Qualität des Produkts signifikanten Arbeitsschritt handelt. Falsch positive Erkennungen der Gesten traten während der Tests in keinem Fall auf.

Tabelle 4.1: Gestenerkennungsrate und Gestenvorkommen im vorgestellten Anwendungsfall

Aktion	Erkannt	Nicht erkannt	Erkennungsrate	Gestenhäufigkeit
Wischen	25	1	96,0 %	6,9 %
Tipp	320	7	97,9 %	86,3 %
Trockenmittel	26	0	100,0 %	6,9 %

5 Evaluation des Gesamtaufbaus Smart Workbench in einem Technologieunternehmen

Das Ziel der Untersuchung ist die Verbesserung der Mensch-Technik-Interaktion am Arbeitsplatz. Mit dem Feedback der qualitativen Evaluation können nutzerzentrierte Technologien zur Produktionsverbesserung geschaffen werden. Die Erhebung ist somit im Rahmen einer partizipativen Technikentwicklung zu sehen. Die theoretische Grundlage der Studie ist das Technology Acceptance Modell von Davis [9]. Nachfolgend werden die Befragungsergebnisse und der Versuch einer Generalisierung auf technische Unterstützungssysteme vorgestellt.

5.1 Methodik der durchgeführten empirischen Studie

Bei der Datenerhebung wurde vom Forschungsdesign einer Evaluationsstudie ausgegangen. Hierbei fand vor, während und nach der Einführung der Technik eine sozialwissenschaftliche Befragung statt [10]. Die Teilnahme an der Befragung war freiwillig; von den fünf der Untersuchungseinheit angehörigen Operatorinnen haben sich vier, von den drei Schichtleitern der Abteilung zwei zur Verfügung gestellt. Die Datenerhebung mit sechs Testpersonen (vier Operatorinnen und zwei Schichtleiter) (siehe Tabelle 5.1) wurde vom IST begleitet. Damit wird die Perspektive der Anwender wie auch der Verantwortlichen in den Fokus genommen. Zum Einsatz kamen die Erhebungsmethoden leitfadengestütztes, persönlich-mündliches Interview (A), Beobachtung (B) und schriftlicher Fragebogen (C). Es wurden die Einstellung gegenüber der Smart Workbench, dessen Nutzerfreundlichkeit, ein Abgleich mit dem Unterstützungswunsch der Arbeiter sowie die Vorgehensweise bei der Technikimplementierung untersucht. Die Entwicklungs- und Implementierungsbegleitung ist an den Leitfaden Usability [11] angelehnt.

Tabelle 5.1: Aufbau, Ablauf und Umfang der Erhebung

Instrument	Interview (A)		Beobachtung (B)	Fragebogen (C)
Zeit	1 Woche vor Einführung		Bei Einführung	Nach Einführung
Teilnehmer (TN)	3 Operatoren (TN 1,2,3)	2 Schichtleiter (TN 5,6)	3 Operatoren (TN 2,3,4)	3 Operatoren (TN 2,3,4)
Alter	40+	40+	40+	40+
Geschlecht	W	M	W	W
Erfahrung Tätigkeit	~ 6 Jahre	~ 1&4 Jahre	~ 6 Jahre	~ 6 Jahre
Verantwortung	-	~ 20 Mitarbeiter	-	-
Erfahr. Automatisierung	Nein	Ja	Nein	Nein

5.2 Analyse der Daten hinsichtlich Usability und Bedienerakzeptanz

In diesem Abschnitt wird die Nutzerfreundlichkeit und Akzeptanz der Technologie analysiert. Tabelle 5.2 zeigt Auszüge aus den Bedienerinterviews. Gebildet wurden die Kategorien subjektiver *Nutzen* des Systems, *Wünsche* bzw. *Bedenken*, *Fragen* bezüglich der neuen Technologie sowie die Vorgehensweise bei der Technikimplementierung (*Implem.*).

Tabelle 5.2: Analyse der Interviews mit drei Operatorinnen und zwei Schichtleitern (A)
 [Tabelle 5.2, Tabelle 5.3 und Tabelle 5.4 enthalten exemplarische Aussagen von allen TN]

Nr.	Äußerung/Beobachtung (Operatorinnen)	Interpretation/Grund	Kategorie
1	„Wenn man halt schon wüsste, was es kann...“	Informationslücke	Nutzen
2	„... wenn man vielleicht mal eingewiesen wird.“	Unmut Firmenpolitik	Nutzen
3	„Wo automatisiert wird, werden Leute abgebaut.“	Angst um Arbeitsplatz	Bedenken
4	„...ich befürchte, dass die Arbeit langsamer wird.“	Angst um Arbeitsplatz	Bedenken
5	„Normalerweise sollten alle einbezogen werden.“	Unmut Entwicklung	Implem.
6	„Ideen konnten wir nicht mit einbringen.“	Unmut Entwicklung	Implem.
7	„Erklären aller Abläufe und wie das gehen soll.“	Anregung	Implem.
8	„Ich weiß nicht, was verbessert wird.“	Informationslücke	Fragen

Nr.	Äußerung/Beobachtung (Schichtleiter)	Interpretation/Grund	Kategorie
1	„Es muss eine Gewöhnung geben.“	Erfahrung	Bedenken
2	„... muss in Köpfe eindringen ... Hilfestellung.“	Erfahrung	Bedenken
3	„Man muss explizit auf den Menschen eingehen.“	Fehlerpotential	Implem.
4	„...Schulungen, Einweisungen, Ansprechpartner...“	Fehlerpotential	Implem.
5	„Man muss alle schulen: Wartung, Nutzer, Leitung.“	Unmut Firmenpolitik	Implem.

Es ist ersichtlich, dass einerseits eine Informationslücke und eine Nichteinbeziehung der Stakeholder stattfand (Tabelle 5.2). Andererseits erkennen die Schichtleiter das Potential der Anlage, fordern allerdings eine umfangreiche Technologieeinführung (Tabelle 5.2).

Tabelle 5.3: Exmpl. Beobachtungen und Äußerungen bei der Technologieeinführung (B)

Nr.	Situation/Tätigkeit	Äußerung / Beobachtung	(+ o -)	Kategorie
1	Objektpositionierung	Falsche Objekte → kein Hinweis	(o)	Nutzen
2	Oberflächen-Inspektion	Fehler werden nicht erkannt	(-)	Nutzen
3	Protokoll beilegen	Verwunderung automatischer Druck	(+)	Nutzen
4	Objektpositionierung	„Es muss immer exakt drin liegen.“	(-)	Nutzen
5	Fehlererkennung	„Er erkennt zu wenige Fehler.“	(-)	Nutzen
6	Prozesshinweise	Verkomplizierung der Arbeit	(-)	Nutzen
7	Wiederholtes Prüfen	„Da wirst du nicht fertig.“	(-)	Tauglichkeit
8	Gestensteuerung	„... kein Gefühl für die Steuerung.“	(o)	Tauglichkeit
9	Prozessreihenfolge	„Wir machen das andersherum.“	(-)	Nutzerfreu.
10	Prozesshinweise	„...ungewohnt, so viel zu lesen.“	(o)	Nutzerfreu.
11	Wiederholtes Bestätigen	„Ständiges Bestätigen nervt!“	(-)	Nutzerfreu.

Tabelle 5.3 zeigt die Analyse der erhobenen Daten bezüglich Usability. Die Kategorien gefühlter *Nutzen* der Technologie, *Tauglichkeit* für die Tätigkeit und Nutzerfreundlichkeit (*Nutzerfreu.*) wurden gebildet; in diesen bewerteten die TN das System positiv (+), neutral (o) oder

negativ (-). Es wird ersichtlich, dass die Bediener beim Kontakt mit der Anlage verbal oder über Gestik/Mimik vorwiegend negatives Feedback bzw. Änderungsvorschläge geäußert haben.

5.3 Analyse der Benutzerbedürfnisse an technische Unterstützungssysteme

Nachfolgend werden vor allem die Bewertung des Arbeitsumfeldes und Äußerungen zu gewünschter Arbeitsunterstützung vorgestellt (siehe Tabelle 5.4). Insbesondere die Assistenz bei motorischen Aufgaben wird gefordert. Das Hauptanwendungsgebiet der Smart Workbench – die in-situ Anleitung mit Inline-Qualitätskontrolle – wurde als weniger wichtig empfunden.

Tabelle 5.4: Unterstützungswunsch bei Kommissionier- und Inspektionsaufgaben (A,B,C)

Nr.	Tätigkeit	Geäußerter Unterstützungs- bzw. Verbesserungswunsch
1	Allgemein	Personalisierte Benutzerprofile, Optimierung der Hardware-Verfügbarkeit
2	Allgemein	Arbeitsplatz erkennt automatisch, welches Teil gerade angeliefert wird
3	Allgemein	Weniger Variantenvielfalt → Einheitlichkeit, vereinfachte Beschaffung
4	Prüfen	„Nach längerem Sitzen schmerzt der Rücken“ → bessere Ergonomie
5	Prüfen	Barcodes automatisch scannen und Informationen übermitteln
6	Inspektion	Ergonomische Vergrößerung zur einfacheren Sichtkontrolle
7	Inspektion	Visumotorische Inspektion von Markierungen mit Mikroskop
8	Handling	Automatischer An- und Abtransport von zu inspizierenden Teilen
9	Handling	Positionierung der zu inspizierenden Teile in ergonomischer Lage
10	Handling	Wiederholte nicht ergonomische Verpackung → Handling-Unterstützung

5.4 Erkenntnisse für die Smart Workbench und andere Unterstützungssysteme

Zusammenfassend ist zu sagen, dass hinsichtlich Mitarbeiterbegleitung ein Schritt in Richtung menschenzentrierter Produkteinführung gelungen ist. Zum normgerechten Anlagendesign gab es kaum Rückmeldung. In zukünftigen Vorhaben ist geplant, die soziotechnische Verzahnung weiter zu verstärken, z. B. durch noch frühzeitigeres Einbeziehen der Stakeholder und Abgleichen der Nutzerbedürfnisse mit den Systemfähigkeiten. Grundsätzlich ist festzustellen, dass Arbeiter bei ihren täglichen Tätigkeiten viele Verbesserungsvorschläge haben, die für die Anpassung der Technik genutzt werden können. Es ist daher sinnvoll, alle Beteiligten so frühzeitig und oft wie möglich einzubinden. Bereits häufiges Informieren wird vermutlich zu einer deutlichen Steigerung der Bedienerakzeptanz führen. Testläufe bei Arbeitern mit anderer Tätigkeit, z. B. Montage, könnten weitere aufschlussreiche Ergebnisse erzielen. Zusätzlich zur sozialwissenschaftlichen Begleitung ist auch umfassender technischer Support notwendig: Handbücher, Anweisungen, Schulungen, Ansprechpartner und die kontinuierliche Möglichkeit Feedback zu geben. Ohne Mitarbeiterbegleitung und Support wird auch eine gute Anlage schlecht angenommen. Somit wird das Potential der Mensch-Technik-Kooperation zur Erhöhung der Bedienerleistung und folglich zur Produktionssteigerung nicht ausgeschöpft. Die Benutzerakzeptanz ist also für die Einführung einer Innovation in der Produktion essentiell.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Vorliegender Artikel zeigt die Motivation, Umsetzung und Evaluation eines Prototyps zur kontextsensitiven Arbeiterassistenz. Fokussiert werden die Robustheit der Interaktion, die Nutzerfreundlichkeit und -akzeptanz *im beschriebenen Realumfeld* sowie die Erkenntnisse für Anlagenentwicklung und -einführung. Diese Ergebnisse stellen den wesentlichen Beitrag zum Stand

der Wissenschaft dar. Durch die Bereitstellung von kontextsensitiver Arbeiterunterstützung ist eine Qualitätssteigerung der Produkte möglich. Mithilfe der kontinuierlichen Fortschrittsbeobachtung können Abweichungen frühzeitig erkannt und somit Produktionsfehler präventiv vermieden werden. Der Systemeinfluss auf die kognitive Last des Nutzers ist noch zu prüfen (vgl. [12]). Bei den Evaluationen wurden Operatorinnen und direkte Führungskräfte (Schichtleiter) befragt und beobachtet. Aufgrund des Prototypenstatus sind höhere Führungsebenen ohnehin involviert; das Wartungspersonal wurde deswegen noch nicht miteinbezogen. Kapitel 4 zeigt, dass der qualitätskritische Prozessschritt *Trockenmittel einlegen* durchgehend korrekt erkannt wird. Der Einfluss auf die Produktionsfehlerrate war im Bearbeitungszeitraum jedoch nicht bestimmbar, da bereits 0,001 % Rate erreicht wird und somit ein Beobachtungszeitraum über Jahre hinweg notwendig wäre. Die Benutzung der gestenbasierten Benutzerschnittstelle ist responsiv und für die industrielle Nutzung geeignet. Hinsichtlich Nutzerakzeptanz zeigt dieser Artikel einen ersten Schritt in Richtung partizipative Technikentwicklung bzw. menschenzentriertes Systemdesign und Produktion auf. Eine verstärkte Einbeziehung der Stakeholder wird in Zukunft vorgenommen, damit Technologien mit einer noch besseren Resonanz in der Industrie implementiert werden können. Die Autoren sind der Meinung, dass dies zu einer weiteren Verbesserung der Leistung der Arbeiter und somit zu einer Verbesserung der Produktion führen wird. Die gewonnenen Ergebnisse werden außerdem in weiteren Projekten genutzt, in welchen die Akzeptanz einer Assistenz durch Roboter untersucht wird.

7 Literatur

- [1] V. Jauch: Positionserkennung von Werkzeugen in der Montage. In: ATZproduktion 5 2, S. 110-15, 2012.
- [2] OPS Solutions LLC: Light Guide Systems. URL: www.ops-solutions.com, 2016.
- [3] OPTIMUM GmbH: Der Schlaue Klaus. URL: www.optimum-gmbh.de, 2016.
- [4] Bedrunka+Hirth GmbH: Arbeitsplatz 4.0. URL: www.bedrunka-hirth.de, 2016.
- [5] S. Stork, A. Schubö: Human cognition in manual assembly: Theories and applications. In: Advanced Engineering Informatics 24 3, S. 320-28, 2010.
- [6] C. Peters, T. Hermann, S. Wachsmuth, J. Hoey: Automatic Task Assistance for People with Cognitive Disabilities in Brushing Teeth - A User Study with the TEBRA System. In: ACM Trans. Access. Comput. 5 4, S. 1-34, 2014.
- [7] S. Büttner, M. Funk, O. Sand, C. Röcker: Using Head-Mounted Displays and In-Situ Projection for Assistive Systems-A Comparison: Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, 2016.
- [8] A. Bächler, T. Hörz, G. Krüll, S. Authenrieth, L. Bächler, T. Heidenreich, P. Kurtz: Assistenzsysteme für manuelle Industrieprozesse: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen, 2014.
- [9] F. D. Davis: Massachusetts Institute of Technology: A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems. Theory and results, 1986.
- [10] R. Stockmann, W. Meyer: Evaluation: eine Einführung. Opladen u.a., 2014.
- [11] Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH: Leitfaden Usability, Guideline. Berlin, 2010.
- [12] J. Höcherl, T. Schlegl, T. Berlehner, H. Kuhn, B. Wrede: Smart Workbench: To-ward Adaptive and Transparent User Assistance in Industrial Human-Robot Applications: 47th International Symposium on Robotics (ISR 2016). Munich, Germany, 2016.