

Praxisperspektive: Potenziale von automatisierten Datenanalysen für die manuelle Montage

Automatisierte Datenanalyse in der manuellen Montage

K. Nordwig, P. Berkhan, M. Maurer, T. Bauernhansl

ZUSAMMENFASSUNG Manuelle Montage bietet eine enorme Flexibilität und kann dort angewendet werden, wo sich Automatisierungen kostenseitig nicht lohnen oder sich die Prozesse (meist aufgrund ihrer Komplexität) nicht dafür eignen. Allerdings fehlen in diesem Bereich oftmals Schnittstellen sowie automatisch generierte Kennzahlen, sodass eine automatisierte Datenanalyse nicht möglich ist. In diesem Beitrag werden bestehende Ansätze zur automatisierten Datenanalyse in der manuellen Montage erklärt und deren Potenziale anhand der Auswertung einer Unternehmensbefragung aufgezeigt und bewertet.

STICHWÖRTER

Automatisierung, Datenanalyse, Montage

Potential for automating data analysis in manual assembly

ABSTRACT Manual assembly offers considerable flexibility and therefore remains an indispensable aspect of production, when automation is not economically viable, particularly when the intricacies of the processes involved render it unfeasible. Consequently, integrating interfaces and automated key figures remains a challenge in this domain, thereby limiting the scope for automated data analysis. This article elucidates the existing approaches to automated data analysis in manual assembly and presents a critical assessment of their potential, based on an empirical investigation through a company survey.

1 Einleitung

In vielen Produktionsbereichen werden bereits automatisierte Prozesse eingesetzt [1]. Die Entscheidung, ob automatisierte Technologien Einsatz in der Produktion finden, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Diese sind sowohl technischer, als auch wirtschaftlicher Natur [2]. Beispiele dafür sind möglichst geringe Kosten, Erleichterungen von Arbeitsschritten (zum Beispiel Ergonomie) und die Machbarkeit im Hinblick auf die Komplexität und den Aufwand für möglicherweise notwendige Änderungen des Produktdesigns, also frühzeitiges Auseinandersetzen mit Automatisierungspotenzialen [3].

Ein Bereich, in dem die genannten Kriterien (Kostensparnis, Erleichterungen in den Arbeitsschritten und die Machbarkeit) häufig nicht erreicht werden, ist die manuelle Montage. *Lotter* und *Schilling* haben bereits 1994 festgestellt, dass in der manuellen Montage kaum Automatisierungen stattfinden [4]. Diese Erkenntnis scheint auch knapp 30 Jahre später noch in großen Teilen zuzutreffen. Die Gründe dafür sind neben einer hohen Komplexität der Arbeitsschritte oftmals zu hohe Kosten potenzieller Automatisierungslösungen gegenüber den zu fertigenden Stückzahlen [5].

Automatisierte Prozesse bieten neben der Ausführung des Prozessschrittes jedoch die Möglichkeit, umfangreiche Datensätze zur Informationsgewinnung und -verarbeitung zu nutzen. Diese Datensätze entstehen etwa durch die Nutzung automatisierter Werkzeuge oder Maschinendaten. In der manuellen Montage gibt es keine automatisch erstellten Leistungsdaten. Möchte man in

der manuellen Montage Daten gewinnen, zum Beispiel Zeitdaten für anschließende Analysen, so müssen diese manuell erfasst werden. Dies ist zeitaufwendig und kostenintensiv.

Vor diesem Hintergrund sollte das Potenzial automatisierter Analysemethoden für die manuelle Montage genauer beleuchtet werden und mittels einer Unternehmensbefragung die Bewertung aus der Praxis mit einfließen.

2 Ansätze zur automatisierten Datenanalyse in Montagesystemen

Es existieren bereits Ansätze für derartige automatisierte Datenanalysemethoden in der manuellen Montage. Einige Beispiele werden nachfolgend kurz vorgestellt.

Eine Methode, die durch die Aufnahme der Körperhaltung eines Werkers Rückschlüsse auf dessen Tätigkeit schließen lässt, wurde von *Gudehus* entwickelt [6]. Diese Idee wurde von *Jose Antonio Diego-Mas* und *Jorge Alcaide-Marzal* aufgegriffen und mit besonders kostengünstigen Entfernungssensoren in Anwendung gebracht [7]. Allerdings gelang es mit diesem Verfahren nicht, in der realen Produktionsumgebung zuverlässig KPIs zu generieren.

Die MotionMiners GmbH bietet ein System mit Wearable Activity Tracking an. Bei diesem werden physische Trackinggeräte genutzt. Der Fokus liegt auf Bewegungsdaten und ergonomischen Aspekten der Mitarbeitenden [8]. Nach einem ähnlichen Prinzip hilft das Videoanalyse-System „Action Recognition“ von *Drishti* Mitarbeitenden an Fließbändern, Fehler zu reduzieren und ihre Produktivität zu steigern [9]. Ebenfalls mit Echtzeit-

Ortungstechnologien arbeitet das System von Ubisense. Es ermöglicht detaillierte Einblicke in die Bewegungen und Interaktionen von Objekten und Personal in industriellen Umgebungen und hilft damit bei der Optimierung von Arbeitsabläufen und Prozessen [10]. Dieses System wird bevorzugt in der Automobilmontage eingesetzt.

Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) hat ein System mit dem Namen „LeanDA“ (Lean Data Acquisition) entwickelt. Dieses kann über verschiedene Sensoren an Bauteilen und Werkzeugen Prozesse automatisch erkennen [11]. Die gesammelten Daten werden an ein Edge Device übermittelt [12]. Das System nutzt KI-basierte Algorithmen, um Ereignisse aus den Sensordaten zu extrahieren und zu analysieren und kann zusätzlich Daten über optionale Schnittstellen einbeziehen [11]. LeanDA ist modular und skalierbar, erfordert keine spezifischen IT-Kenntnisse des Anwenders und funktioniert unabhängig von bestehenden Infrastrukturen [13].

Bereits identifizierte Anwendungsbereiche für die Montage sind etwa die Identifikation und Unterscheidung von wertschöpfenden Tätigkeiten, Nebearbeiten und Verschwendung, Transparenz im Montageprozess, eine Aktualisierung von Plan- und Rückmeldedaten, bis hin zur Montageablaufplanung [14].

Die genannten Ansätze und Systeme zur automatisierten Datenanalyse in der manuellen Montage sind noch relativ jung. Daher gibt es bisher wenige Anwendungsbeispiele und noch keine Langzeiterfahrungswerte im Umgang mit solchen Systemen. Zudem sollten die Potenziale einer automatisierten Datenanalyse nicht nur an der Funktionalität eines Systems gemessen, sondern auch anhand ihres potenziellen Nutzens bewertet werden. Zu diesem Zweck wurde eine Unternehmensbefragung durchgeführt, deren methodisches Vorgehen und Ergebnisse im Folgenden aufgezeigt werden.

3 Methodisches Vorgehen

In diesem Kapitel wird das methodische Vorgehen zur Erstellung, Durchführung und Auswertung der Befragung erläutert. Zunächst wurden die Zielgruppe festgelegt und ein geeignetes Befragungstool ausgewählt. Außerdem wurden relevante Fragen zur Bewertung des Potenzials einer automatisierten Datenanalyse in der manuellen Montage formuliert. Im zweiten Schritt wurde die Befragung durchgeführt. Dazu wurden Personen aus Unternehmen der festgelegten Zielgruppe per Mail kontaktiert. Abschließend erfolgte die Auswertung der Befragung sowie die Interpretation der Ergebnisse.

3.1 Gestaltung und Aufbau der Befragung

Ziel der Unternehmensbefragung war eine Bewertung der Potenziale automatisierter Datenanalysen in der manuellen Montage aus der Praxis. Daher war es für die Auswahl der Zielgruppe wichtig, dass die Befragungsteilnehmer über Erfahrung in der manuellen Montage verfügen. Folglich lag der Fokus auf produzierenden Unternehmen mit einem hohen manuellen Montageanteil. Ein weiterer wichtiger Punkt war es, sprachliche Barrieren beim Beantworten der Fragen zu vermeiden. Dies führte zu einer räumlichen Begrenzung der Befragung auf die DACH-Region (Deutschland, Österreich, Schweiz), da davon ausgegangen wurde, dass es in diesen Ländern keine Verständnisprobleme mit der deutschen Sprache gibt. Weiterhin wurde angenommen, dass

Unternehmen in der DACH-Region aufgrund ihrer internationalen Konkurrenzfähigkeit von einem starken Innovationswillen geprägt sind, sodass gegebenenfalls bereits Vorwissen, in jedem Falle aber Interesse am Thema automatisierte Datenanalysen vorhanden ist. Die Branchen Automobil, Maschinenbau, Elektronik, Energie und Medizintechnik sind in der DACH-Region umfangreich vertreten und häufig von Bereichen mit manueller Montage geprägt. Die Zielgruppe für die Befragung waren Unternehmen beziehungsweise Führungskräfte aus diesen Branchen in der DACH-Region.

Für die Anforderungen an das Befragungstool wurden folgende Kriterien festgelegt: Zwingend erforderlich ist eine ausreichende Datenschutzkonformität. Mit dem Ziel eine hohe Rücklaufquote zu erreichen, scheinen ein ansprechendes Design sowie eine möglichst gute Kompatibilität mit mobilen Endgeräten wichtige Kriterien für eine hohe Akzeptanz zu sein. Ein weiterer wichtiger Faktor in Bezug auf die Auswertung der Befragung war eine möglichst umfangreiche und unkomplizierte Analysemöglichkeit. Diese Kriterien wurden mit diversen Befragungstools abgeglichen. Ausgewählt wurde mit „SoSciSurvey“ ein Befragungstool, auf das alle Kriterien zutreffen.

Für die Erfassung des Potenzials automatisierter Datenanalysen in der manuellen Montage wurden die Herausforderungen der manuellen Montage und deren Wahrnehmung in der Praxis beleuchtet. Hinsichtlich des Bedarfs und der möglichen Implementierung von Systemen zur automatisierten Generierung von Daten wurde die bisher bestehende Datengrundlage hinterfragt um, insbesondere in Bezug auf Zeitdaten, ihr Potenzial zielgerichtet zu nutzen. Mit Blick auf eine mögliche Implementierung sind außerdem die (technischen) Herausforderungen und die Investitionsbereitschaft der Unternehmen wichtige Faktoren. Mit Blick auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde bevorzugt ein geschlossenes Antwortformat angewendet.

3.2 Durchführung der Befragung

Die Befragung lief über einen Zeitraum von zwei Monaten. Insgesamt wurden 2056 Unternehmen kontaktiert. Davon haben 64 Befragungsteilnehmer einen Fragebogen vollständig ausgefüllt. **Bild 1** zeigt die Branchenverteilung der kontaktierten Unternehmen. Die meisten Unternehmen (730) lassen sich dem Maschinen- und Anlagenbau zuordnen. 366 der Unternehmen gehören dem Automobilsektor an. Aus der Elektronik und Mikrosystemtechnikbranche wurden 282 Unternehmen kontaktiert. Die Medizin- und Biotechnikbranche ist mit 195 kontaktierten Unternehmen deutlich geringer vertreten. 22 kontaktierte Unternehmen gehören zum Energiesektor. 461 der kontaktierten Unternehmen lassen sich nicht eindeutig einer der aufgeführten Branchen zuordnen und laufen unter „Sonstiges“.

3.3 Auswertung der Befragung

Zur Auswertung der Befragung wurden die beantworteten Fragebögen in Tabellenform heruntergeladen und mithilfe von Microsoft Excel aufbereitet. Dies ermöglichte eine grafische Darstellung und visuelle Interpretation der Ergebnisse. Fragen mit Mehrfachantwortmöglichkeiten wurden sowohl mit absoluten Zahlen wie auch mit einer prozentualen Verteilung der gegebenen Antworten dargestellt. Für Fragen mit einfacher Antwortmöglichkeit oder mit offenen Antwortformaten wurden individuelle Dar-

Branchenverteilung der kontaktierten Unternehmen

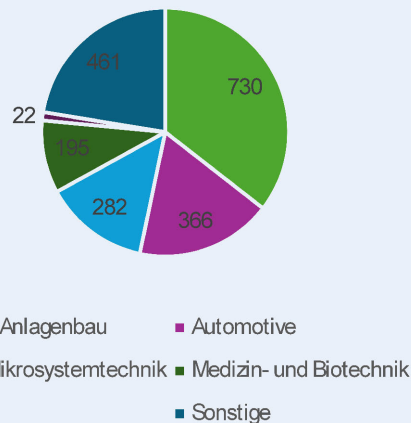


Bild 1. Branchenverteilung der kontaktierten Unternehmen. Grafik: Fraunhofer IPA

Bedeutung einzelner Herausforderungen der manuellen Montage

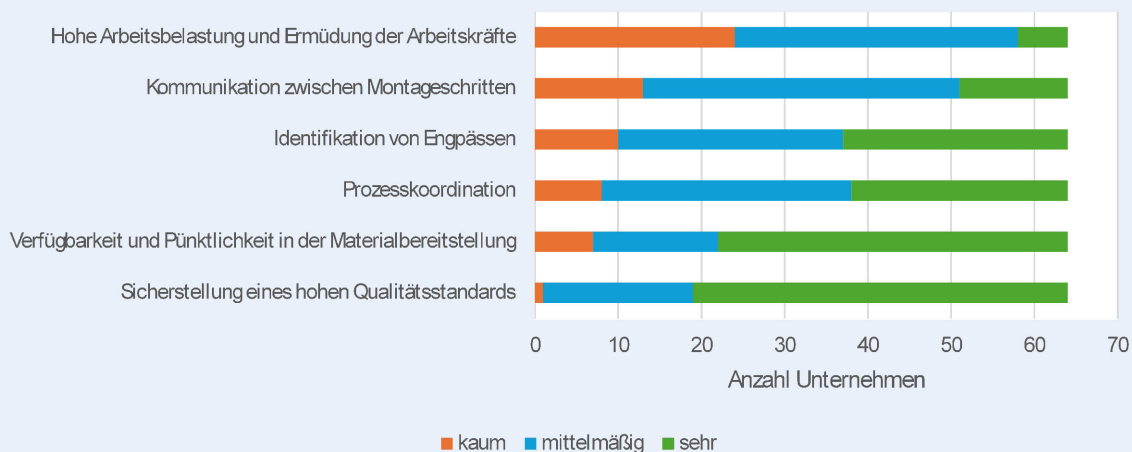


Bild 2. Bedeutung einzelner Herausforderungen der manuellen Montage. Grafik: Fraunhofer IPA

stellungslösungen gefunden. Ebenso für weiterführende Analysen oder zum Herausstellen besonderer Erkenntnisse. Einige als besonders relevant erachtete Grafiken werden im nächsten Kapitel gezeigt, siehe Bild 2 – Bild 8 (Verweis).

Wichtig für eine aussagekräftige Auswertung ist die Festlegung der Bedingungen für einen gültigen Fragebogen. Hierfür wurden nur vollständig ausgefüllte Fragebögen berücksichtigt.

4 Darstellung und Interpretation der Ergebnisse

Die Herausforderungen in der manuellen Montage wurden nach ihrer Bedeutung sortiert. Dies ist in **Bild 2** dargestellt. Die größte Herausforderung ist demnach die Sicherstellung eines hohen Qualitätsstandards. Die Bedeutung dieser Herausforderung wird nochmals verstärkt vor dem Hintergrund, dass lediglich ein Unternehmen aus der Gesamtmenge von 64 Befragten diese Herausforderung als „kaum relevant“ einstufte. Als weitere wichtige Herausforderung in der manuellen Montage konnte die Verfügbarkeit und Pünktlichkeit der Materialbereitstellung identifiziert

werden. Dies hebt die Bedeutung von Qualitäts- und Zeitdaten für die manuelle Montage hervor. Diese sind wesentliche Parameter zur Bewertung der als Schlüsselherausforderung identifizierten Verfügbarkeit und Pünktlichkeit der Materialbereitstellung. Die Prozesskoordination und die Identifikation von Engpässen konnten als wichtige Herausforderungen, die aber keine Schlüsselherausforderungen darstellen, identifiziert werden. Die Kommunikation zwischen den Montageschritten im Sinne eines echtzeitnahen Informationsaustausches, der zur Erreichung der Lean-Prinzipien beiträgt, wurde in ihrer Relevanz als mittelmäßig eingestuft. Die Herausforderung der hohen Arbeitsbelastung und der Ermüdung der Arbeitskräfte wurde als weniger bedeutend bewertet. Nur etwa 9 % (6 von 64) der befragten Unternehmen sahen diese Herausforderung als sehr bedeutend an. Dies zeigt, dass die hohe Arbeitsbelastung und Ermüdung der Arbeitskräfte im Vergleich zu anderen Herausforderungen eine untergeordnete Rolle zu spielen scheint. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass diese Herausforderung in vielen Unternehmen bereits über Optimierungen der Ergonomie angegangen wurde und entsprechende Verbesserungen für die Arbeitskräfte erreicht werden konnten.

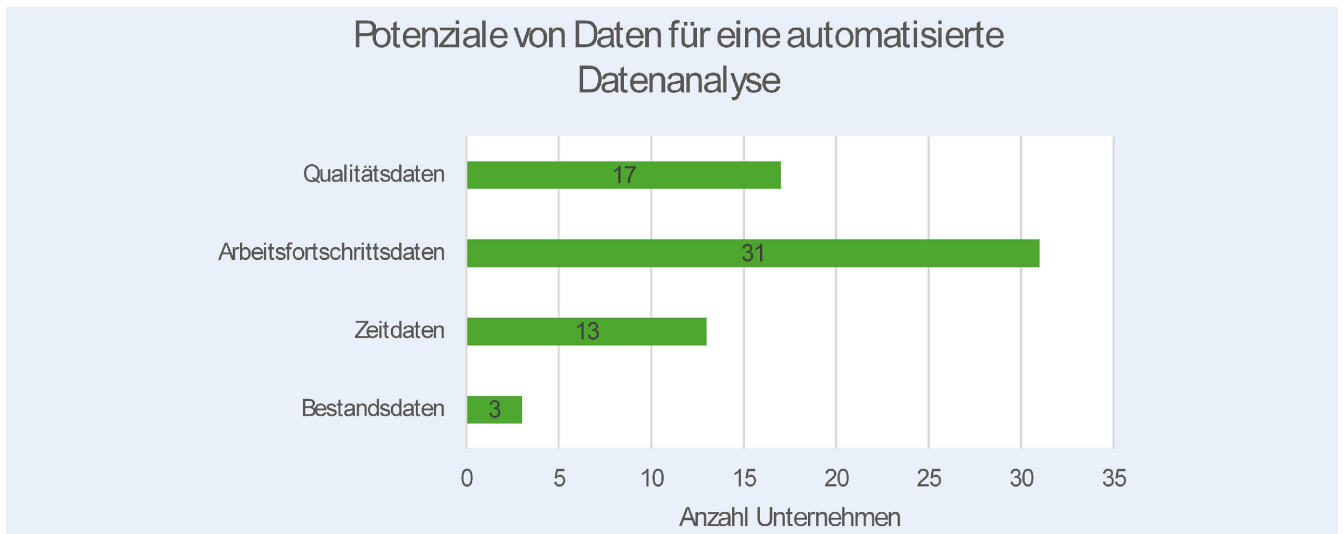


Bild 3. Größtes Potenzial jeweiliger Daten für automatisierte Datenanalysen. *Grafik: Fraunhofer IPA*

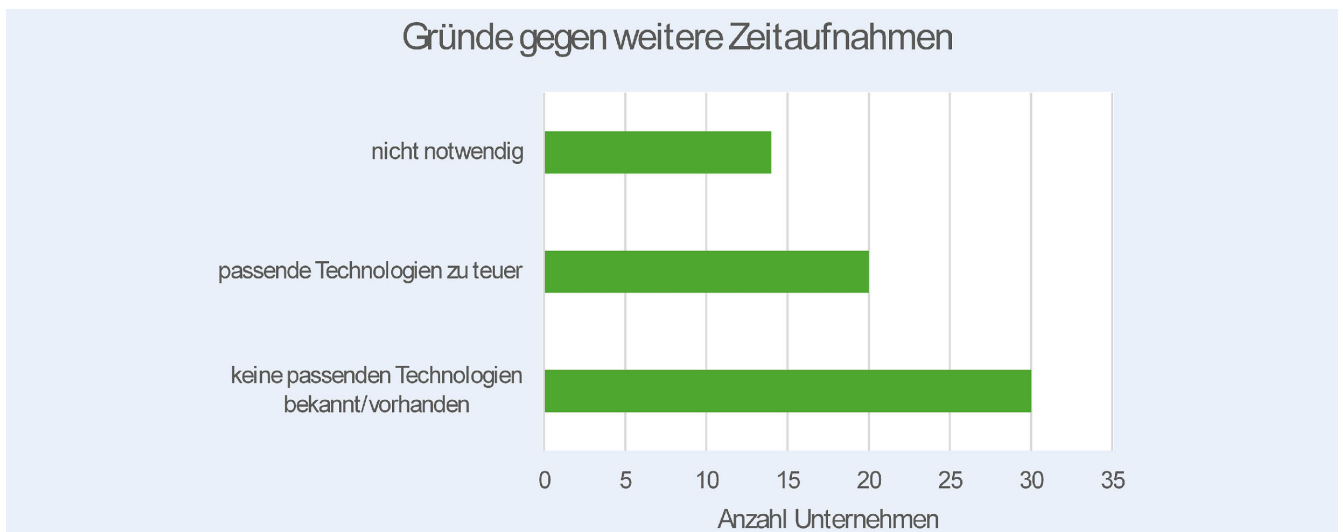


Bild 4. Gründe gegen weitere Zeitaufnahmen. *Grafik: Fraunhofer IPA*

Die Unternehmen wurden außerdem danach gefragt, welche Daten sie bereits automatisiert erheben. Die häufigste Antwort war, dass Bestandsdaten bereits automatisiert erfasst werden. Für Qualitäts-, Arbeitsfortschritts- und Zeitdaten sieht dies häufig anders aus. Vor diesem Hintergrund ist es wenig überraschend, dass nur drei der 64 Unternehmen in Bestandsdaten das größte Potenzial für eine automatisierte Datenanalyse sehen, wie **Bild 3** zeigt. Knapp die Hälfte der Unternehmen nennt Arbeitsfortschrittsdaten als größtes Potenzial für eine automatisierte Datenanalyse. Zeitdaten und Qualitätsdaten werden mit 20 % beziehungsweise 27 % weniger häufig das größte Potenzial zugeschrieben. Insgesamt lässt sich daraus ein Bedarf für Methoden zur automatisierten Erfassung und Weiterverarbeitung ableiten. Am wichtigsten für die Unternehmen sind dabei Arbeitsfortschrittsdaten, es wird aber auch bei Zeit- und Qualitätsdaten ein großes Potenzial gesehen.

Ein wichtiger Faktor für die Automatisierung von Datenanalysen ist, dass diese Daten nicht auf andere Weise, etwa in Form automatisch generierter Maschinendaten oder automatisiert erhobene Werkzeugdaten oder Logistikkdaten, erhoben werden. Deshalb wurden die Gründe erfragt, weshalb nicht mehr Zeitdaten in den

Unternehmen aufgenommen werden. Die Ergebnisse dazu zeigt **Bild 4**. Etwa die Hälfte der Unternehmen gibt als Grund an, dass keine passende Technologie bekannt oder vorhanden ist. Etwa ein Drittel der Unternehmen gibt an, dass es zwar eine passende Technologie geben würde, diese aber zu teuer ist. Dies hebt besonders den Bedarf nach kostengünstigen Lösungen hervor. Nur 14 der 64 Unternehmen (22 %) geben an, dass diese Systeme für sie nicht notwendig wären. Dies verdeutlicht das Potenzial für Systeme zur automatisierten Datenerfassung und -analyse für die manuelle Montage. Besonders interessant ist, dass nur vier der zehn Unternehmen, die bisher keinerlei Zeitdaten aufnehmen, die Option „nicht notwendig“ ausgewählt haben. Demnach haben 60 % der Unternehmen, die bisher keine Zeitdaten aufnehmen, einen Bedarf nach (kostengünstigen) Lösungen für eine entsprechende Datenerfassung und -analyse.

Wichtig zur umfassenden Bewertung der Potenziale einer automatisierten Datenanalyse in der manuellen Montage sind auch die Anwendungsbereiche, denen der größte Nutzen zugeschrieben wird. Die Ergebnisse sind in **Bild 5** dargestellt. Allen abgefragten Themenbereichen (Optimierung von Arbeitsabläufen,

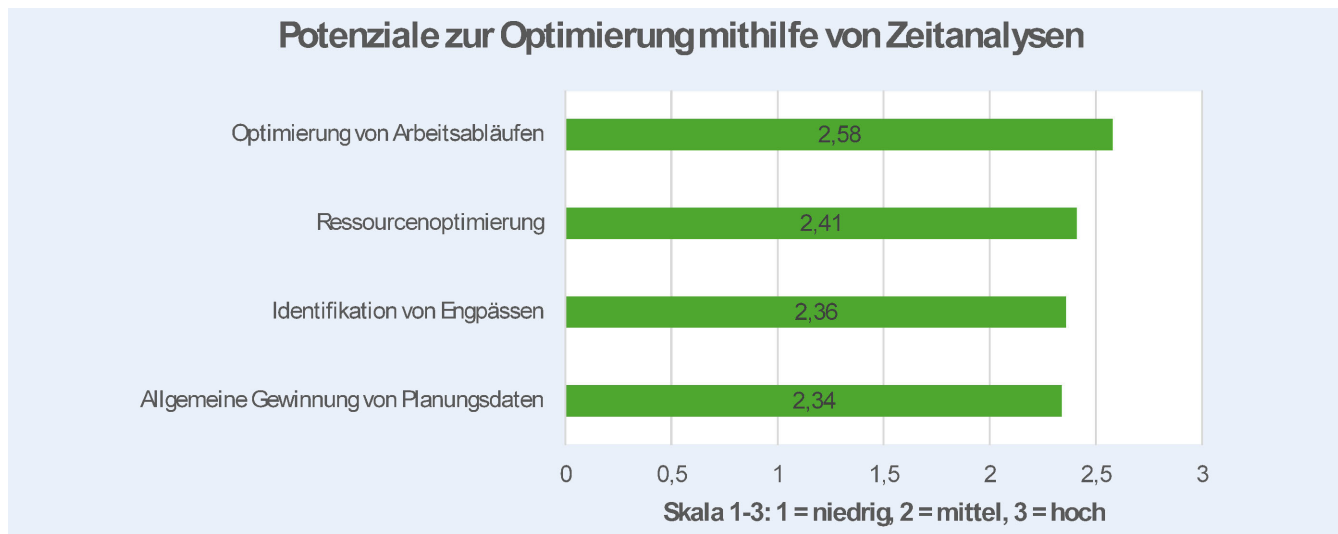


Bild 5. Potenziale zur Optimierung mithilfe von Zeitanalysen. Grafik: Fraunhofer IPA

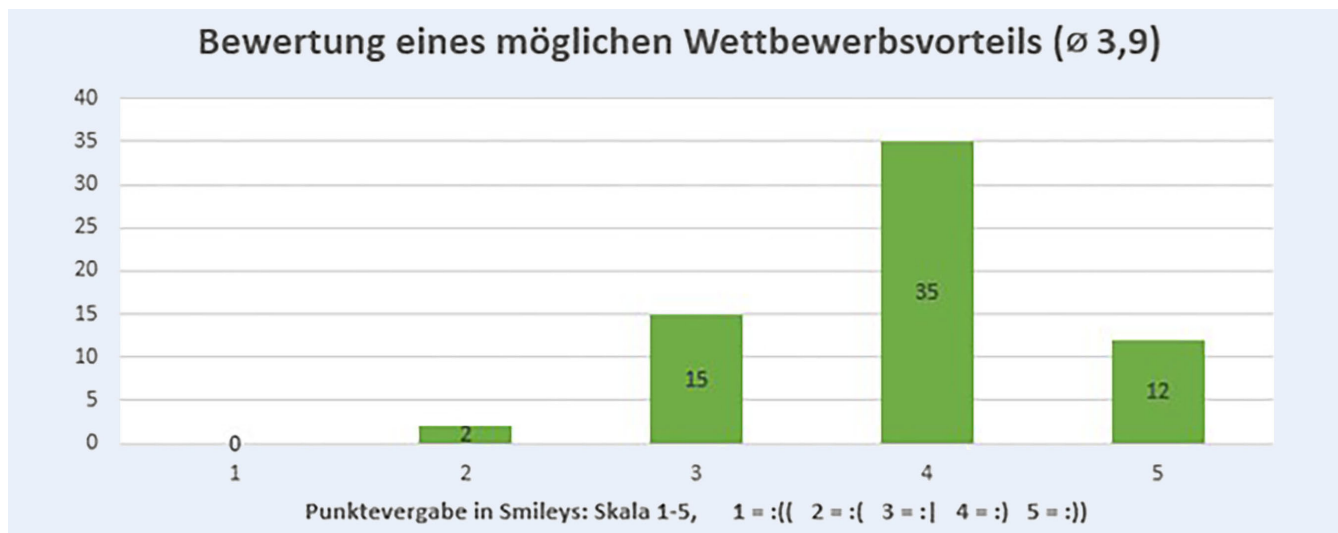


Bild 6. Investitionsbereitschaft nach Branchen. Grafik: Fraunhofer IPA

Ressourcenoptimierung, Identifikation von Engpässen und allgemeine Planungsdatengewinnung) wird eine vergleichbare Bedeutung zugeschrieben. Dennoch können diese in eine Reihenfolge gebracht werden. Die Optimierung der Arbeitsprozesse nimmt die Spitzenposition ein. Etwas dahinter reihen sich die Ressourcenoptimierung, die Identifikation von Engpässen und die allgemeine Planungsdatengewinnung als wesentliche Anwendungsfelder ein.

Ebenfalls wichtig für die Abschätzung der Potenziale ist die Investitionsbereitschaft. Diese steht in engem Zusammenhang mit der Einschätzung des Wettbewerbsvorteils durch automatisierte Datenanalysen. Der Wettbewerbsvorteil, der durch die Anwendung von Technologien zur automatisierten Datenanalyse entsteht, wurde von den befragten Unternehmen im Durchschnitt mit 3,9 von 5 Punkten bewertet. Diese Bewertung ist in **Bild 6** zu sehen. Keines der Unternehmen schätzte den Wettbewerbsvorteil als sehr gering und nur zwei als gering ein. Zwölf der Unternehmen gaben im Gegensatz dazu an, einen sehr hohen und 35 einen hohen Wettbewerbsvorteil mit der Anwendung derartiger Technologien erreichen zu können. Dies lässt auf einen hohen

Bedarf sowie ein hohes Potenzial von automatisierten Datenanalysen in der manuellen Montage schließen.

Dies lässt darauf schließen, dass auch die Investitionsbereitschaft entsprechend hoch ist. In **Bild 7** ist diese nach Branchen unterteilt dargestellt (Hinweis: Es sind die absoluten Zahlen der befragten Unternehmen dargestellt.). In der Elektronik- und Mikrosystemtechnikbranche sind im Verhältnis die meisten Unternehmen bereit, in Technologien zur automatisierten Datenanalyse in der manuellen Montage zu investieren. In der Automobilbranche ist etwa die Hälfte der befragten Unternehmen bereit, in Technologien zur automatisierten Datenanalyse in der manuellen Montage zu investieren, während die andere Hälfte sich unsicher ist. Ähnlich verhält es sich bei der Maschinen- und Anlagenbaubranche. Auffallend gering ist die Investitionsbereitschaft in der Medizin- und Biotechnikbranche. Allerdings ist hier anzumerken, dass lediglich zwei Unternehmen aus dieser Branche an der Befragung teilgenommen haben, somit ist die Aussagekraft dieser Stichprobe nicht hoch.

Außerdem sind für die Bewertung des Potenzials von automatisierten Datenanalysen in der manuellen Montage die Herausfor-

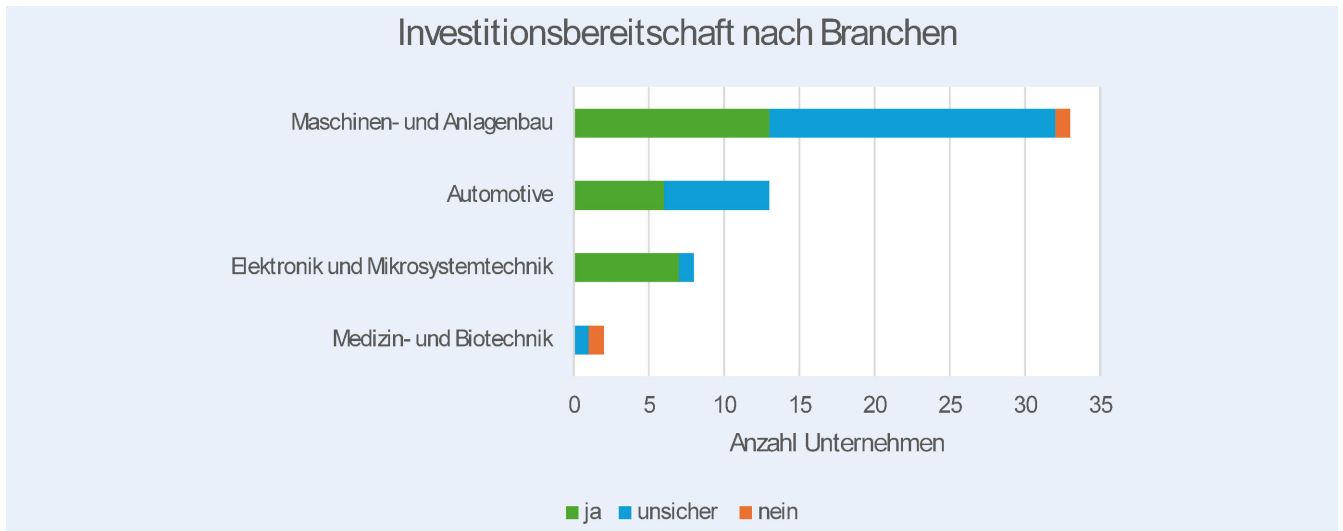


Bild 7. Herausforderungen bei der Integration neuer Technologien. Grafik: Fraunhofer IPA

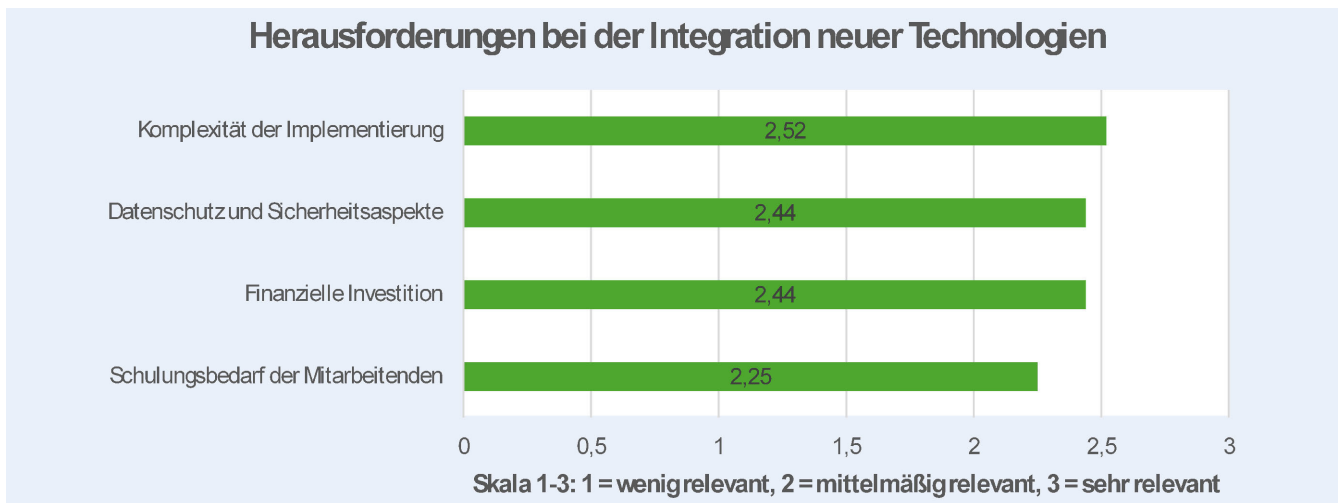


Bild 8. Wettbewerbsvorteil durch automatisierte Datenanalysen. Grafik: Fraunhofer IPA

derungen und Risiken wichtig, die bei der Integration der entsprechenden Technologien gesehen werden. Diese sind in **Bild 8** dargestellt. Die Komplexität der Implementierung wird als größte Herausforderung bei der Integration von Technologien zur automatisierten Datenanalyse wahrgenommen. Ein weiterer wichtiger Faktor sind die damit verbundenen finanziellen Investitionen. Dies verdeutlicht nochmals den Bedarf an kostengünstigen Lösungen. Eine ebenso große Herausforderung liegt im Datenschutz- und Sicherheitsaspekten. Es ist darauf hinzuweisen, dass gerade in der manuellen Montage die Datenerfassung häufig Rückschlüsse auf die Arbeitskraft zulässt. Auch bei Videoanalysen ist der Datenschutz ein großes Thema. Es ist also anzunehmen, dass der Bedarf der Unternehmen in Richtung Technologien zur Datenerfassung geht, die die Arbeitskräfte möglichst wenig beeinflussen und deren Datenschutz möglichst wenig tangieren. Eine weitere, etwas weniger wichtig eingestufte Herausforderung ist der Schulungsbedarf der Mitarbeiter. Die von den Unternehmen genannten Herausforderungen und Sorgen müssen von der Entwicklung bis zur Anwendung eines Systems zur automatisierten Datenanalyse berücksichtigt werden.

In einem freien Textfeld am Ende der Befragung bestand die Möglichkeit, noch offen gebliebene Themen zu adressieren. Einige relevante Beispiele und sich daraus ergebende Möglichkeiten werden im Folgenden diskutiert. Eine Anmerkung war, dass die bekannten Lösungen zur automatisierten Datenanalyse in der manuellen Montage für ein Unternehmen, das nur geringe Stückzahlen fertigt, zu teuer seien. Dies verdeutlicht nochmals den Bedarf nach simplen und kostengünstigen Lösungen. Ein weiterer Aspekt war die teils fehlende Maschinenlesbarkeit als Herausforderung für die Erfassung von Materialdaten. Außerdem wurde die übermäßig große Rolle des Betriebsrates und des Datenschutzes als Hindernis zur Aufnahme relevanter Daten angesprochen. Diese Einschätzung passt mit der Wahrnehmung des Datenschutzes und der Sicherheitsaspekten als eine der größten Herausforderungen bei der Implementierung eines entsprechenden Systems zusammen. Außerdem verdeutlicht es den Bedarf an Technologien, die keine direkten Rückschlüsse auf die Arbeitskräfte zulassen und somit deren Datenschutz gewährleisten.

5 Fazit und Ausblick

Die Potenziale einer automatisierten Datenanalyse in der manuellen Montage werden von den Unternehmen klar erkannt. Um diese jedoch vollständig nutzen zu können und in eine flächendeckende Industrieanwendung zu bringen, müssen die Technologien kostengünstiger werden und es muss den Herausforderungen der Unternehmen noch besser begegnet werden. Zum Beispiel sollten die Analyseverfahren an die spezifischen Bedürfnisse und Rahmenbedingungen der Unternehmen anpassbar sein. Wichtig für das Ausschöpfen der Potenziale ist das Einbeziehen einer größeren Anzahl von Unternehmen, etwa im Rahmen von Fallstudien, um den Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf die Integration solcher Systeme, bestmöglich zu begegnen.

Für ein noch besseres Verständnis der spezifischen Anforderungen und Herausforderungen der Unternehmen sollte dies für unterschiedliche Industriezweige erfolgen, und so zur Entwicklung branchenspezifischer Lösungen beitragen.

DANKSAGUNG

Vielen Dank an alle Unternehmen, die sich an der Befragung beteiligt haben.

Literatur

- [1] Brecher, C.; Weck, M.: Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 3. Mechatronische Systeme, Steuerungstechnik und Automatisierung. Berlin, Heidelberg: Springer 2021
- [2] Awad, R.; Wößner, J.: Montage systematisch und wirtschaftlich automatisieren. etz 138 (2017) Nr. 10, Special: Robotik und Handlings-Automation, S. 4–7
- [3] Röhrich, K.: Besinnung auf das Wesentliche: Automatisierung nur, wenn sich der Prozess nicht vermeiden lässt. Industrieanzeiger (2020) 6, S. 34–35
- [4] Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2006
- [5] Bornewasser, M.: Informatrische Assistenzsysteme in der Variantenreichen Montage. Theorie und Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer 2020
- [6] Gudehus, T. C.: Entwicklung eines Verfahrens zur ergonomischen Bewertung von Montagetätigkeiten durch Motion-Capturing. Kassel: Kassel Univ. Press 2009
- [7] Diego-Mas, J. A.; Alcaide-Marzal, J.: Using Kinect™ sensor in observational methods for assessing postures at work. Applied ergonomics 45 (2014) 4, pp. 976–985
- [8] MotionMiners | Das Prozess-Analyse Tool. Stand: 12.08.2024. Internet: <https://www.motionminers.com/>. Zugriff am 12.08.2024
- [9] Fuchs, A.: Videoanalyse in der Montage senkt Fehlerrate um 50 %. springerprofessional.de (2022)
- [10] Ubisense: Ubisense Tool Control for Vehicle Assembly - Ubisense. Stand: 10.07.2024. Internet: <https://ubisense.com/vehicle-assembly/>. Zugriff am 12.08.2024
- [11] Berkhan, P.; Kärcher, S.; Maier, J. et al.: Sensorbasierte Montageanalyse. wt Werkstatttechnik online 112 (2022) 1/2, S. 55–60
- [12] Kärcher, S.; Grabi, F.: Sensorik hilft bei der Montageoptimierung: Datengetriebene Fertigung. Automationspraxis (2020) Nr. 5, S. 22
- [13] Kärcher, S.; Cuk, E.; Denner, T. et al.: Sensor-driven Analysis of Manual Assembly Systems. Procedia CIRP 72 (2018), S. 1142–1147
- [14] Kärcher, S.; Grabi, F.; Gessert, S. et al.: Use Cases eines Sensorsystems für die Produktion. wt Werkstatttechnik online 110 (2020) 6, S. 407–412



Kristina Nordwig, M.Sc. 
 kristina.nordwig@ipa.fraunhofer.de
 Tel. +49 711 / 970-3534
 Foto: Fraunhofer IPA

Patricia Berkhan, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl 

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
 und Automatisierung IPA
 Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
 www.ipa.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Universität Stuttgart
 Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF
 Allmandring 35, 70569 Stuttgart
 www.iff.uni-stuttgart.de

Markus Maurer, B.Sc. 

(Die Inhalte dieser Arbeit sind während der Studienzeit an der Universität Stuttgart und in Kooperation mit dem Fraunhofer IPA entstanden.)

TMG Consultants GmbH
 Schrempfstr. 9, 70597 Stuttgart

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
 Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)