

Entwicklung und Auswahl von Montageassistenzsystemen

Sven HINRICHSSEN, Daniel RIEDIGER, Alexander UNRAU

*Labor für Industrial Engineering, Hochschule Ostwestfalen-Lippe
Liebigstraße 87, D-32657 Lemgo*

Kurzfassung: Die Anforderungen an die Gestaltung von Montagesystemen verändern sich. Dazu tragen sich verkürzende Innovations- und Produktlebenszyklen sowie eine zunehmende Variantenvielfalt bei, mit der eine Montage von kleinen Losen bis hin zur kundenindividuellen Montage einhergeht. Den aktuellen Anforderungen an Montagesysteme steht die Weiterentwicklung der technologischen Möglichkeiten zur Gestaltung von manuellen und hybriden Montagesystemen gegenüber. Die große Anzahl der am Markt verfügbaren Assistenzsysteme für die Montage erschwert den Prozess der Auswahl und Konfiguration eines anforderungsgerechten Assistenzsystems. Daher zielt der vorliegende Beitrag darauf ab, aufbauend auf begrifflichen Grundlagen eine Klassifikation der Montageassistenzsysteme vorzunehmen und den Auswahlprozess zu unterstützen.

Schlüsselwörter: Manuelle Montage, Montageassistenzsysteme, Morphologie, Mensch-Maschine-Schnittstelle

1. Einführung

Viele Betriebe in Deutschland haben in Anlehnung an das Toyota-Produktionssystem eigene Produktionssysteme entwickelt (z. B. Rönnecke 2009). Diese legen zumeist einen besonderen Fokus auf die personalintensiven Tätigkeiten in der manuellen bzw. hybriden Montage. Auftragsinformationen und Montageanleitungen werden den Beschäftigten in der Montage zumeist immer noch papierbasiert bereitgestellt oder über Bildschirme angezeigt (Bannat 2014). Dabei werden nach einer Befragung von Wiesbeck (2014) vor allem traditionelle Gestaltungselemente wie Text, Tabellen oder Zeichnungen eingesetzt. Animationen oder Videos werden hingegen kaum zur Unterstützung der Werker in der Montage verwendet. Die bestehende Art der Informationsbereitstellung an die in der Montage Beschäftigten ist mit mehreren Nachteilen verbunden. So geht das wiederholte Hinwenden des Beschäftigten zum Bildschirm oder die Handhabung der Auftragspapiere mit zusätzlichen, nicht wertschöpfenden Körperbewegungen einher. Zudem kommt es infolge einer nicht anforderungsgerechten Darstellung der Montageinformationen zu Fehlinterpretationen und damit zu Montagefehlern, da die kognitiven Fähigkeiten des Behaltens von Zwischenresultaten begrenzt sind und mit der steigenden Anzahl der erforderlichen Transformationsschritte bei der Decodierung abstrakt-begrifflicher Informationen der Zeitbedarf und die Wahrscheinlichkeit eines Handlungsfehlers zunehmen (Hacker 1986). Ebenso können bei der Durchführung von komplexen Montageaufgaben mit sehr hohen Anforderungen an die fehlerfreie Aufgabenausführung (z. B. sicherheitsrelevante Produkte) belastende Situationen für die Beschäftigten entstehen.

Den aktuellen Anforderungen an Montagesysteme steht die Weiterentwicklung der technologischen Möglichkeiten zur Gestaltung von manuellen und hybriden Montagesystemen gegenüber. Diese umfassen insbesondere innovative Assistenzsysteme, die den Beschäftigten situationsbezogen bei der Durchführung der Montageaufgabe Hilfestellung geben. Zu diesen Montageassistenzsystemen zählen beispielsweise kollaborierende Roboter, Wearables oder licht- und lasergestützte Assistenzsysteme. In Kombination mit Methoden der Arbeitsgestaltung können Assistenzsysteme die Effektivität und Effizienz der Montage deutlich verbessern (Hinrichsen et al. 2016a). Unter Effektivität wird dabei die Güte der Aufgabebearbeitung, die Prozessfähigkeit, verstanden (z. B. geringe Fehlerquote), während Effizienz auf einen möglichst geringen Ressourceneinsatz (z. B. geringe Arbeitszeit für die Aufgabendurchführung) abzielt.

2. Begriff und Gestaltung von Assistenzsystemen

Unter einem Assistenzsystem wird ein technisches System verstanden, welches Informationen aus seiner Umgebung aufnimmt und verarbeitet, um den Menschen bei der Durchführung seiner Aufgabe zu unterstützen (vgl. Geiser 1997). Über Ausgabesysteme nimmt der Mensch Informationen auf, verarbeitet diese und gibt dem System eine Rückmeldung über Eingabesysteme. Die Informationsausgabe erfolgt in der Regel optisch, akustisch oder taktil. Die Informationen werden über die Sinne des Menschen aufgenommen und kognitiv verarbeitet. Die anschließende Informationseingabe erfolgt manuell oder per Fuß über Stellteile, verbal über Spracheingabe, gestikulär über Gestenerkennung oder über Tracking-Systeme, die menschliche Bewegungen erfassen (ebd. 1997). Nach der Art der Systemunterstützung kann zwischen energetischer (z. B. Heben einer Last durch kollaborierenden Roboter) und informatorischer (z. B. Darstellen der Inhalte des nächsten Arbeitsschritts) Unterstützung unterschieden werden (Reinhart et al. 2013; Müller et al. 2014). Energetische Assistenzsysteme dienen der Gewährleistung der Ausführbarkeit der Aufgabe und der Reduzierung der körperlichen Belastung für den Menschen (ebd. 2013). Informatorische Assistenzsysteme haben den Zweck, Unsicherheit und mentale Belastungen der Benutzer zu vermeiden, vor Gefährdungen zu warnen oder in Gefahrensituationen einzugreifen (vgl. Geiser 1997).

Bei der Gestaltung des Assistenzsystems ist dem Kompatibilitätsprinzip Rechnung zu tragen. Dieses besagt, dass Informationsdarstellung und Aktorik (bei energetischen Assistenzsystemen) so zu erfolgen haben, dass diese möglichst weitgehend dem zur Bewältigung der Arbeitsaufgabe gebildeten mentalen Modell und der Logik des Menschen entsprechen (Strasser 1993). In Anlehnung an Geiser (1997) sind bei der Gestaltung eines Assistenzsystems mit dem Aufgaben-, Benutzer-, Umgebungs- und Interaktionsmodell vier, voneinander abhängige Modelle zu unterscheiden (siehe Abbildung 1). Eine Modellbildung mit einer Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen wesentlichen Modellgrößen kann den Prozess der Anforderungsermittlung inkl. der Ermittlung des Nutzungskontextes und der Grobkonzeptionierung eines Assistenzsystems effektiv unterstützen.

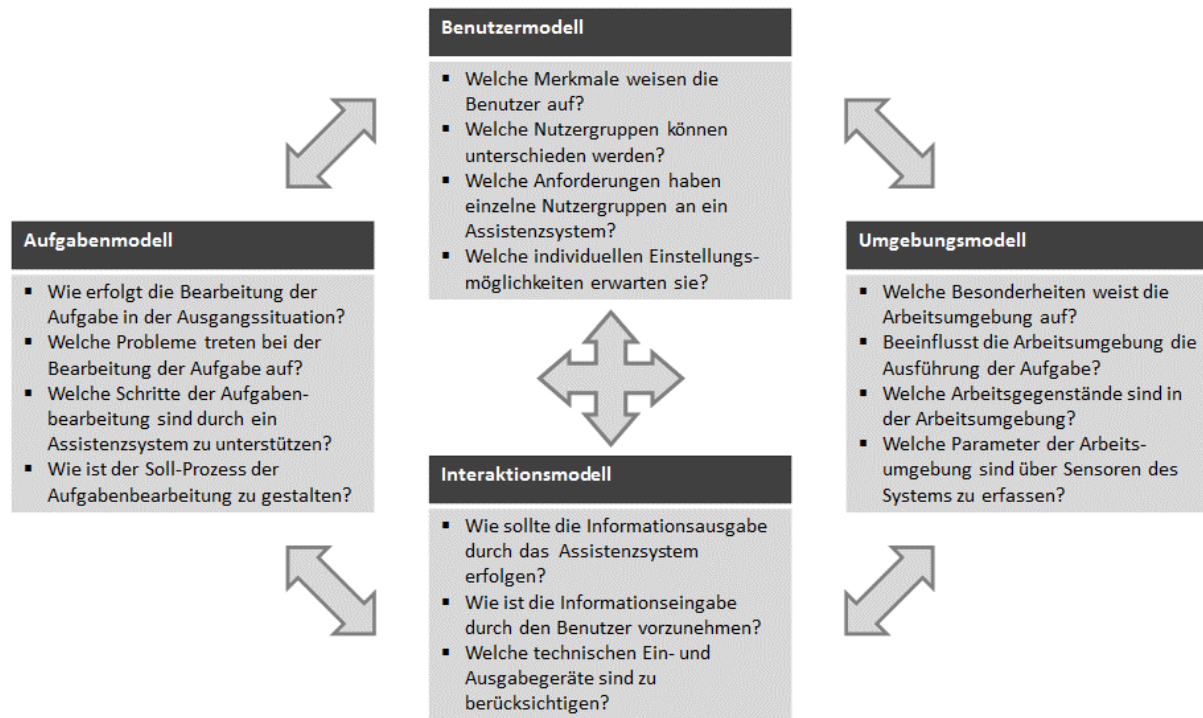


Abbildung 1: Modellbildung zur Unterstützung des Gestaltungsprozesses von Assistenzsystemen (Hinrichsen et al. 2016a)

3. Begriff und Morphologie der Montageassistenzsysteme

Montageassistenzsysteme sind technische Systeme, die Informationen aufnehmen und verarbeiten, um Mitarbeiter bei der Durchführung ihrer Montage-tätigkeit zu unterstützen. Die Tätigkeit der Montage bezeichnet dabei die Gesamtheit aller manuellen und maschinellen Vorgänge, die der Schaffung einer lösbaren oder unlösbaren Verbindung von geometrisch bestimmten Körpern dienen. Dabei kann zur Schaffung der Verbindung zusätzlich formloser Stoff eingesetzt werden (Seliger 1995). Montagevorgänge bestehen immer aus Füge- und Handhabungsvorgängen. Zusätzlich können in der Montage noch Vorgänge des Justierens, des Kontrollierens sowie diverse Hilfsvorgänge (z. B. Reinigen) auftreten (Lotter 2012, VDI 1990).

Montageassistenzsysteme lassen sich nach verschiedenen Kriterien klassifizieren. Die Ergebnisse können in einem morphologischen Kasten zusammengefasst werden. Die Methode der Morphologie hat den Zweck, einen Lösungsraum durch Zerlegung des komplexen Sachverhalts in einzelne Merkmale und Merkmalsausprägungen darzustellen (Schlicksupp 1998). Mit Hilfe der Morphologie können die Merkmalsausprägungen zu einem konkreten Assistenzsystem dargestellt werden, indem die Ausprägungen einzelner Merkmale miteinander verbunden werden. Eine Lösungsidee wird auf analytischem Wege durch eine Veränderung einer oder mehrerer Merkmalsausprägungen generiert, so dass auf diese Weise ein Benchmarking vorgenommen und das eigene Assistenzsystem weiterentwickelt werden kann. In Abbildung 2 ist ein Ausschnitt einer Morphologie zu Montage-assistenzsystemen dargestellt (vgl. Hinrichsen et al. 2016a).

Tabelle 1: Ausschnitt aus einer Morphologie zu Montageassistenzsystemen (Hinrichsen et al. 2016a)

MERKMAL	MERKMALSAUSPRÄGUNG					
ART DER SYSTEMUNTERSTÜTZUNG	Energetisch			Informativ		
AUSFÜHRUNG DES ASSISTENZSYSTEMS	Stationär (feste Installation)		Beweglich (bewegliche Installation)		Handgerät	Wearable - Kopf - Oberkörper - Arme/Hände - Beine/ Füße
DATENÜBERTRAGUNG	Kabelgebunden			Kabellos		
ART DER UNTERSTÜTZTEN VORGÄNGE	Fügen	Handhaben	Justieren	Kontrollieren	Hilfsvorgänge	Rüsten des Montagesystems
UMFANG DER PROZESS-UNTERSTÜTZUNG	Teilprozess(e)			Gesamtprozess		
MENSCH-MASCHINE-SCHNITTSTELLE	Unimodal			Multimodal		
ART DER INFORMATIONSAUSGABE	Visuell (optisch)		Auditiv (akustisch)		Taktile-kinästhetisch (haptisch)	
ART DER VISUELLEN INFORMATIONSAUSGABE	Bildschirm-Darstellung		Darstellung im Arbeitsbereich (z.B. Leuchtanzeige, Projektion)		Überlagerte Darstellung im Arbeitsbereich auf das Montageobjekt (z.B. In-Situ Projektion, AR-Darstellung)	
UMFANG DER VISUELLEN INFORMATIONSAUSGABE IM ARBEITSBEREICH	Keine Ausgabe		Punktueller Darstellung (z.B. Leuchtanzeige, Hilfsmarkierungen)		Begrenzte Anzeige von Symboliken, Bildern oder Zeichnungen	Umfangreiche Darstellung von u.a. Bildern, Videos und Animationen (multimedial)
ART DER INFORMATIONSEINGABE/ SYSTEMSTEUERUNG	Manuell (über Stellteile)		Verbal (Sprachsteuerung)		Gestikulär (Trackingsysteme)	Automatisch (Sensorik)
UMFANG DER BENUTZER-KONFIGURATION	Starre Konfiguration der Informationseingabe und -ausgabe		In			

Montageassistenzsysteme können in stationäre Assistenzsysteme, bewegliche Assistenzsysteme, Handgeräte und Wearables unterschieden werden. Die Datenübertragung erfolgt dabei entweder kabelgebunden oder kabellos (z. B. Ultraschall, Bluetooth, RFID oder WIFI). Stationäre Assistenzsysteme sind fest an einem Arbeitsplatz installiert (z. B. montiertes Projektionsgerät). Bewegliche Assistenzsysteme werden hingegen über mobile Lösungen zum Montageobjekt bewegt. Solche Lösungen können beispielsweise im Rahmen der Montage von Spritzguss- oder Stanz- und Umformwerkzeugen zum Einsatz kommen (Hinrichsen et al. 2016b). Handgeräte (z. B. Tablet-PC) oder Wearables (z. B. Smartwatch) können am Montageort entweder die für den Montageprozess benötigten Informationen in einer geeigneten Form anzeigen (z. B. AR Darstellung, bebilderte Montageanleitung) oder Informationen aus der Umgebung aufnehmen (Erkennung von Gesten etc.). Wearables können wiederum nach den Körperteilen, von denen sie getragen werden, klassifiziert werden. Relevant sind derzeit vor allem Kopf („smart glasses“), Hand („smart glove“) und Handgelenk („smart watch“).

Nach der Art der unterstützten Vorgänge kann sich die Unterstützung auf das Fügen, Handhaben, Justieren, Kontrollieren und/ oder Hilfsvorgänge beziehen. Zudem kann das Rüsten eines Montagesystems über Assistenzfunktionen unterstützt werden. Der Umfang der Prozessunterstützung wird darin unterschieden, ob das Assistenzsystem den gesamten oder einen bzw. mehrere Teilprozesse des

betrachteten Montageprozesses unterstützt (z. B. Pick-to-light Funktion unterstützt den Teilprozess „gezieltes Hinlangen zu einem Behälter“).

Zudem kann unterschieden werden, ob die Mensch-Maschine-Schnittstelle unimodal oder multimodal konzipiert ist. Unimodal bedeutet, dass ein spezifischer Kanal zur Informationsaufnahme, häufig der visuelle, und ein weiterer zur Informationseingabe, meist der manuelle, bereitstehen. Multimodale Schnittstellen berücksichtigen hingegen unterschiedliche Eingabe- und Ausgabemodalitäten (Schlick et al. 2010). Eine weitere Klassifikation kann nach der Art der Informationsausgabe vorgenommen werden. Optische, akustische und haptische Anzeigen werden vom Menschen über die visuelle, auditive und taktil-kinästhetische Sinnesmodalität erfasst (Geiser 1997). Werden unterschiedliche Codierungsformen – wie zum Beispiel Text, Sprache und Bild – eingesetzt, wird von Multimedia gesprochen (ebd. 1997).

Eine einfache Art der visuellen Informationsdarstellung erfolgt über Bildschirme, mit denen Informationen zur Montage dargestellt werden. Weitere Arten der Informationsdarstellung, die die Orientierung von Beschäftigten steigern können, sind beispielsweise Leuchtanzeigen (z.B. Pick-to-light) oder Projektionen direkt im Arbeitsbereich oder sogar überlagerte Darstellungen auf das Montageobjekt, die mithilfe einer In Situ Projektion oder AR-Darstellung umgesetzt werden können. Nach dem Umfang der visuellen Informationsausgabe kann unterschieden werden, ob es sich um eine punktuelle Darstellung oder um eine begrenzte Anzeige von Symboliken, Bildern oder Zeichnungen handelt, wie sie beispielsweise bei Laserprojektoren der Fall ist, oder ob multimediale Darstellungen in Form von Bildern, Videos und Animationen möglich sind. Analog kann nach der Art der Informationseingabe differenziert werden. Die Informationseingabe erfolgt manuell über Stellteile (z. B. Tasten), verbal über Spracheingabe, gestikulär über Gestenerkennung, über Tracking-Systeme, die menschliche Bewegungen erfassen (z. B. Schlick et al. 2010), oder automatisch durch Sensorik, indem der Zustand des Arbeitsobjektes bzw. der Status des Arbeitsprozesses überwacht wird.

4. Kritische Würdigung und Ausblick

Mit Hilfe von Aufgaben-, Benutzer-, Umgebungs- und Interaktionsmodellen und einer Beschreibung ihrer Wechselwirkungen kann der Prozess der Anforderungsermittlung und Grobkonzeptionierung eines Assistenzsystems effektiv unterstützt werden. Darüber hinaus bietet die Morphologie mit den genannten Merkmalen und Merkmalsausprägungen Unterstützung bei der Auswahl und beim Vergleich von Montageassistenzsystemen. Zudem kann mit Hilfe der Morphologie das Weiterentwicklungspotenzial eines bestehenden Assistenzsystems dargestellt werden, indem das System über die Merkmale und Merkmalsausprägungen der Morphologie beschrieben wird und aus Nutzersicht alternative Merkmalsausprägungen ermittelt werden. Um detaillierte Vergleiche vornehmen zu können, ist die Morphologie weiter zu konkretisieren und zu ergänzen. Zudem bezieht sich die dargestellte Morphologie in erster Linie auf informatorische Montageassistenzsysteme und ist um Merkmale und Merkmalsausprägungen energetischer Assistenzsysteme zu ergänzen. Bei der Gestaltung und Implementierung von Assistenzsystemen ist zudem darauf zu achten, dass die Nutzer in hohem Maße in den Entwicklungs- und Veränderungsprozess einbezogen werden, damit das System ihren Anforderungen entspricht und eine hohe Akzeptanz erfährt. Zudem müssen vor Einführung von Assistenzsystemen zunächst Potenziale der Arbeitsgestaltung identifiziert und umgesetzt werden.

5. Literatur

- Bannat, A. (2014) Ein Assistenzsystem zur digitalen Werker-Unterstützung in der industriellen Produktion. Diss. TU München.
- Geiser, G. (1997) Informationstechnische Arbeitsgestaltung. In: Luczak, H.; Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch Arbeitswissenschaft. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, S. 589 - 594.
- Hacker, W. (1986) Arbeitspsychologie – Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. Bern, Stuttgart, Toronto: Hans Huber.
- Hinrichsen, S.; Riediger, D.; Unrau, A. (2016a): Assistance Systems in Manual Assembly. In: Villmer, F.-J.; Padoano, E. (Hrsg.): Production Engineering and Management. Proceedings 6th International Conference. 29.-30.09.2016 in Lemgo, Germany, Publication Series in Direct Digital Manufacturing, Volume 01/2016, S. 3 - 14.
- Hinrichsen, S., Riediger, D., Unrau, A. (2016b) Rechnergestütztes System zur Unterstützung der Ausführung, der Auftragssteuerung und der kontinuierlichen Verbesserung von an einem mobilen oder stationären Arbeitsplatz auszuführenden Montage-, Demontage-, Bestückungs- und Qualitätsprüfungsprozessen. Gebrauchsmuster Bundesrepublik Deutschland mit der Nr. 20 2016 000 613. Tag der Anmeldung: 01.02.2016.
- Lotter, B. (2012) Einführung. In: Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion - Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 1 – 8.
- Müller, R., Vette, M., Mailahn, O., Ginschel, A., Ball, J. (2014) Innovative Produktionsassistenz für die Montage - Intelligente Werkerunterstützung bei der Montage von Großbauteilen in der Luftfahrt. In: wt Werkstattstechnik online 104 H.9. Düsseldorf: Springer-VDI 2014. S. 552 - 560.
- Reinhart, G., Shen, Y., Spillner, R. (2013) Hybride Systeme – Arbeitsplätze der Zukunft. Nachhaltige und flexible Produktivitätssteigerung in hybriden Arbeitssystemen. In: wt Werkstattstechnik online 103 H.6. Düsseldorf: Springer-VDI 2013. S. 543 - 547.
- Rönnecke, T. (2009) Ganzheitliche Produktionssysteme. In: Westkämper, E., Zahn, E. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen – Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 25 - 46.
- Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. Berlin, Heidelberg: Springer 2010.
- Schlicksupp, H. (1998) Innovation, Kreativität und Ideenfindung. 5. Aufl. Würzburg: Vogel.
- Seliger, G. (1995) Montage. In: Beitz, W.; Küttner, K.-H. (Hrsg.): Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau. 18. Aufl. Berlin u.a.: Springer.
- Strasser, H. (1993) Kompatibilität. In: Hettinger, Th., Wobbe, G. (Hrsg.): Kompendium der Arbeitswissenschaft. Ludwigshafen: Kiel.
- VDI 2860 (1990) Montage- und Handhabungstechnik: Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole. Düsseldorf: Beuth.
- Wiesbeck, M. (2014) Struktur zur Repräsentation der Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung. Diss. TUM, München: Herbert Utz.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft

63. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

GfA Press

Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

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.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

Screen design und Umsetzung

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de