

Montage, Sensoren, Arbeitsplanung

Kognitive Assistenzsysteme in der manuellen Montage *

Adaptive Montageführung mittels zustandsbasierter, umgebungsabhängiger Anweisungsgenerierung

M. F. Zäh, M. Wiesbeck, F. Engstler, F. Friesdorf, A. Schubö, S. Stork, A. Bannat, F. Wallhoff

Als Teil des DFG-Exzellenzclusters Cognition for Technical Systems (CoTeSys) untersucht das Projekt ACIPE (Adaptive Cognitive Interaction in Production Environments) die Einbindung kognitiver Systeme in zurzeit von Menschen dominierten manuellen Montageumgebungen. Kernziel des Projektes ist die Umsetzung von Konzepten zur Generierung von an Werker und Umgebung adaptierten Montageanweisungen. Basis ist die umgebungsabhängige und situationsgetriebene Anweisungserstellung durch Zustandsgraphen.

Cognitive assistance in manual assembly – Adaptive assembly guidance through a context-sensitive generation of instructions

As part of the Cluster of Excellence Cognition for Technical Systems (CoTeSys), the integration of cognitive systems in currently humanly dominated, manual assembly environments is the core issue of the project ACIPE (Adaptive Cognitive Interaction in Production Environments). A crucial goal is to develop concepts and prototypical technical implementations, which will allow the realization of a truly context-sensitive guidance and assistance system for manual workplaces.

Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh, Dipl.-Wi.-Ing. Mathey Wiesbeck
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
(iwb) – Technische Universität München
Boltzmannstr. 15, D-85748 Garching
Tel. +49 (0)89 / 289-15550
Fax +49 (0)89 / 289-15555
E-Mail: michael.zaeh@iwb.tum.de
oder mathey.wiesbeck@iwb.tum.de
Internet: www.iwb.tum.de

Dipl.-Ing. Florian Engstler, Dipl.-Ing. Florian Friesdorf
Lehrstuhl für Ergonomie – Technische Universität München
Boltzmannstr. 15, D-85748 Garching
Tel. +49 (0)89 / 289-15413 oder -15419
Fax +49 (0)89 / 289-15389
E-Mail: engstler@lfe.mw.tum.de oder friesdorf@lfe.mw.tum.de
Internet: www.lfe.mw.tum.de

Dr. Anna Schubö, Dr. Sonja Stork
Lehrstuhl für Allgemeine und Experimentelle Psychologie
Ludwig-Maximilians-Universität München
Leopoldstr. 13, D-80802 München
Tel. +49 (0)89 / 2180-6048 oder -4836
Fax +49 (0)89 / 2180-5211
E-Mail: anna.schuboe@lmu.de oder sonja.stork@lmu.de
Internet: www.psy.uni-muenchen.de

Dipl.-Ing. Alexander Bannat, Dr.-Ing. Frank Wallhoff
Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation
Technische Universität München
Arcisstr. 21, D-80333 München
Tel. +49 (0)89 / 289-28319 oder -28552
Fax +49 (0)89 / 289-28535
E-Mail: bannat@tum.de oder wallhoff@tum.de
Internet: www.mmk.ei.tum.de

Danksagung

Die hier vorgestellten Arbeiten werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Exzellenzclusters 142 „Cognition for Technical Systems - CoTeSys“ gefördert.

Info

* Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen „reviewten“ Fachaufsatz: Autoren-unabhängig von Experten auf diesem Fachgebiet wissenschaftlich begutachtet und freigegeben.

1 Einleitung

Vollautomatisierte Produktionssysteme ohne menschliche Arbeitskräfte wurden lange Zeit als überzeugende und brauchbare Vision zukünftiger Produktionsstrukturen angesehen. Obwohl diese Konzepte für sich wiederholende Aufgaben, wie zum Beispiel in der Massenfertigung, sinnvoll sind, werden dabei die immensen kognitiven Fähigkeiten des Menschen zur Reaktion auf unvorhersehbare Ereignisse, zur Planung weiterer Schritte, zum Lernen, zum Sammeln von Erfahrungen und zur Kommunikation mit anderen außer Acht gelassen. Um ihre Wettbewerbsfähigkeit und somit ihre Existenz zu sichern, müssen sich Unternehmen durch die Wahl geeigneter Strategien an die veränderten Bedingungen des globalen Umfeldes anpassen [1, 2]. Die Konkurrenzfähigkeit der deutschen Betriebe hängt laut einer aktuellen Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) [3] entscheidend davon ab, „mit technologisch führenden Produkten und einer flexiblen und leistungsfähigen Produktion kundenspezifische Produkte höchster Qualität herstellen zu können“.

Während diese Fähigkeiten die Werkstattfertigung zur flexibelsten, anpassungsfähigsten und zuverlässigsten Form der Produktion machen, sind sie gleichzeitig ein Grund für die hohen Herstellungskosten in Hochlohnländern und werden daher hauptsächlich in der Kleinserienfertigung, im Prototypenbau oder der Einzelfertigung eingebracht. Um diesem Missstand entgegen zu treten und die Vorteile von automatisierten Systemen mit den kognitiven Fähigkeiten bestehender menschlicher Arbeitsplätze zu vereinen, verlangt die Produktion nach neuen Ansätzen. Dieser Artikel stellt ein neues Paradigma der Produktionsforschung vor, das die Bestrebungen verschiedener Fachrichtungen, zum Beispiel Neurokognitive Psychologie, Robotik, Informatik, Mensch-Maschine-Kommunikation, Ergonomie und Maschinenwesen, verbindet, um das Konzept der „Kognitiven Fabrik“ umzusetzen.

Den Rahmen des vorzustellenden Forschungsansatzes bildet eine kurze Definition der Begriffe Kognition und Kognition in technischen Systemen. Das Paradigma der kognitiven

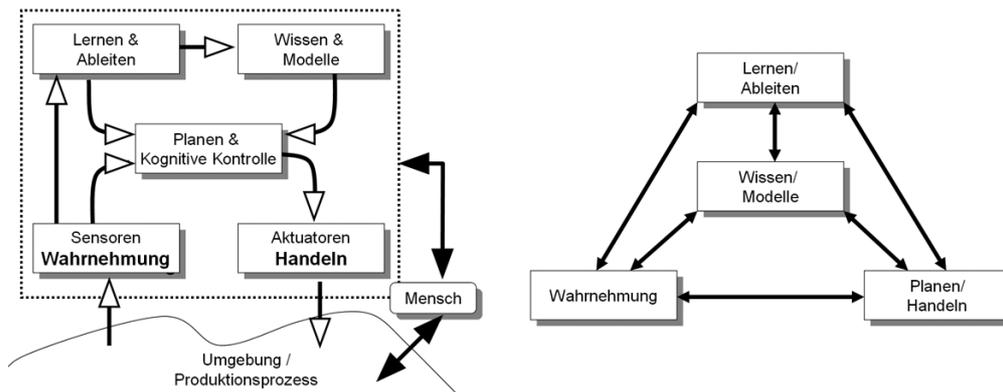


Bild 1. Kognitive Systemarchitektur: geschlossener Wahrnehmungs-Handeln-Kreis (links) und die Wechselwirkungen zwischen den kognitiven Fähigkeiten (rechts)

Fabrik wird in Abschnitt 1.2 erläutert. Im Anschluss erfolgt die detaillierte Vorstellung der interdisziplinären Forschungsarbeiten in dem Projekt Adaptive Cognitive Interaction in Production Environments (ACIPE), welches den auf die manuelle Montage fokussierten Bereich der kognitiven Assistenzsysteme bearbeitet. Den Abschluss des Beitrags bildet eine Zusammenfassung aller relevanten Aspekte.

1.1 Was sind kognitive technische Systeme?

Kognition steht im Fokus diverser wissenschaftlicher Forschungsrichtungen, wie zum Beispiel der kognitiven Psychologie, der kognitiven Wissenschaften, der kognitiven Wirtschaftswissenschaften und der kognitiven Methodenforschung (siehe beispielsweise [4, 5]). Während Roboter gelernt haben zu laufen, Wege zu finden, zu kommunizieren, gemeinsam Aufgaben zu erledigen, Sozialverhalten auszuüben und Roboter-Fußball zu spielen [6], gibt es nur einige wenige Anwendungsfälle für die Umsetzung künstlicher Kognition in Produktionsumgebungen. Die Notwendigkeit dessen wird jedoch von verschiedenen Autoren aus der Automation [7], der Mensch-Maschine-Interaktion [8] und der Fertigungsplanung [9] gesehen.

Kognitive technische Systeme sind mit künstlichen Sensoren und Aktoren ausgestattet, sie sind in physischen Systemen integriert und eingebettet und agieren in der realen Umgebung. Sie unterscheiden sich durch kognitive Kontrollmechanismen und kognitive Fähigkeiten von anderen technischen Systemen. Kognitive Kontrollmechanismen umfassen rückbezügeliche und situationsabhängige Verhaltensweisen in Übereinstimmung mit langfristigen Absichten. Kognitive Fähigkeiten, wie zum Beispiel Wahrnehmung, Schlussfolgerung, Lernen und Planen (siehe **Bild 1**) ermöglichen es technischen Systemen „zu wissen, was sie tun“. Genauer gesagt ist ein kognitives technisches System ein technisches System, das

- auf Basis wesentlicher Anteile an geeignet dargestelltem Wissen Schlüsse ziehen kann;
- aus seinen Erfahrungen lernt, so dass es morgen besser arbeitet als heute;
- sich selbst erklären kann und dem erklärt werden kann, was seine Aufgabe ist;
- sich seiner eigenen Fähigkeiten bewusst ist und diese im Rahmen seines Verhaltens beachtet;
- robust auf unvorhergesehene Situationen reagiert.

Somit erlaubt Kognition eine bessere Zusammenarbeit von

Menschen mit technischen Systemen und macht den Gesamtprozess zugleich robuster, flexibler und effizienter.

Gerade für Fabrikumgebungen weisen kognitive technische Systeme ein herausragendes Anwendungspotential auf und daher werden diese im Folgenden genauer vorgestellt.

1.2 Was ist die „Kognitive Fabrik“?

Automatisierte Prozesse und Fertigungsabläufe sind ein Schlüsselfaktor für eine kosteneffiziente Produktion. Solche Systeme sind in der industriellen Massenproduktion weit verbreitet und erreichen gegenüber menschlichen Arbeitern weit bessere Durchlaufzeiten und höhere Qualität. Bei der Fertigung von Prototypen oder geringen Losgrößen jedoch, ist der Einsatz menschlicher Arbeitskräfte mit ihren Fähigkeiten zur Problemlösung und Kognition weiter die einzige Möglichkeit, um die Forderungen nach Flexibilität, Anpassungsfähigkeit und Zuverlässigkeit zu erfüllen.

Prinzipiell kann die kognitive Fabrik als Multi-Agenten-System verstanden werden und ist in technischer Hinsicht von besonderem Interesse. Diese Produktionsumgebung wird mit einem Sensornetzwerk und einer informationstechnischen Infrastruktur ausgestattet und ermöglicht es den Ressourcen und Prozessen, zu bestimmen was sie tun, sich selbst zu kontrollieren, weitere Aktionen zu planen und mit dem Menschen intuitiv zu interagieren.

Hierzu werden Wissens- und Lernmodelle in die Kognitive Fabrik eingebracht, um so die Fähigkeiten von Maschinen und Prozessen zu erweitern. Ständige Informationen über den Erfolg bestimmter Aktionen und Fertigungsschritte werden dafür genutzt, die Parameter der Maschinen ohne menschlichen Eingriff zu verbessern und erlauben eine selbstständige Instandhaltung auf Basis von Prognosemodellen. Mit dem Wissen aus vorher durchgeführten Aufgaben kann die kognitive Fabrik lernen, sich schneller an neue Produkte anzupassen und dadurch die Fertigung von kleinen Losgrößen oder sogar stark individualisierten Produkten zu wettbewerbsfähigen Preisen ermöglichen.

Die Kognitive Fabrik wird die Vorteile automatisierter Systeme (wie zum Beispiel niedrige Stückkosten, hohe Effizienz und kurze Fertigungszeiten) mit der Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Reaktionsfähigkeit manueller Arbeitsplätze kombinieren. Durch die Bereitstellung von Maschinensteuerungen, automatisierten Produktionsressourcen, Assistenzsystemen für den Menschen, Planungsprozessen und einer Fa-

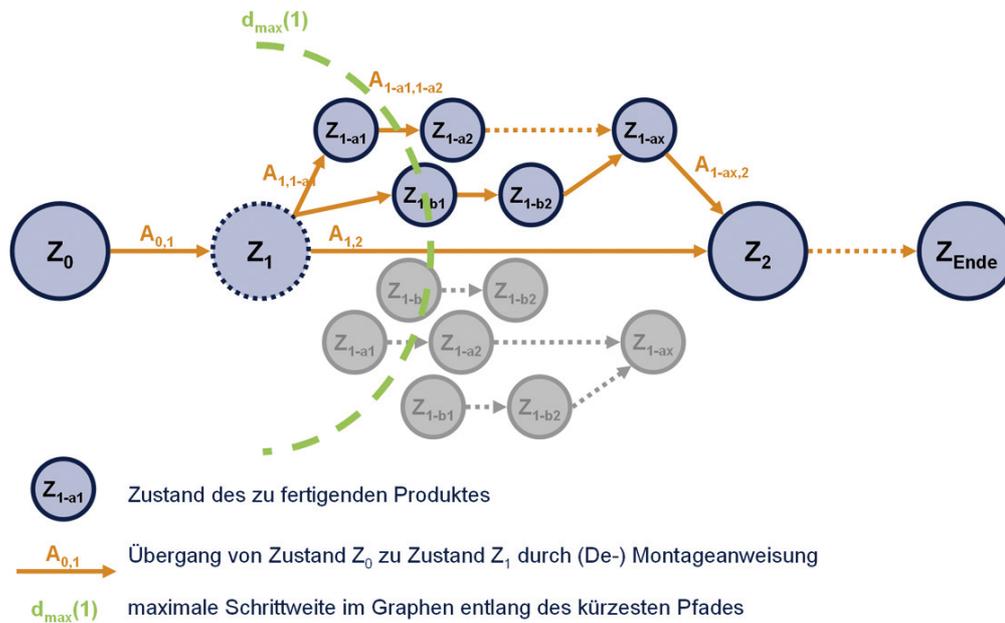


Bild 2. Graphenmodell zur zustandsabhängigen Generierung von Montageanweisungen

brikumgebung mit künstlichen kognitiven Fähigkeiten wird es möglich sein, ein bisher nicht erreichtes Maß an Flexibilität, Adaptionsfähigkeit und Effizienz in der Produktion anzubieten. Das Wissen über die eigenen Fähigkeiten erlaubt es, einen Teil der heute hauptsächlich von Menschen durchgeführten Prozess- und Ablaufplanung direkt auf die ausführende Ebene zu verlagern. Dadurch kann die Produktion zum einen bereits mit groben Daten und ohne detaillierte Planung beginnen, zum anderen können die Werker in der manuellen Montage gezielt ihr eigenes Wissen und Ihre Reaktionsfähigkeit einbringen. Die kognitive Fabrik lernt daraus und passt sich den Menschen an.

Die oben genannten Ziele werden in verschiedenen Forschungsprojekten des Exzellenz-Clusters Cognition in Technical Systems (CoTeSys) der Deutschen Forschungsgemeinschaft verfolgt. Das Projekt ACIPE ist neben den weiteren Projekten der kognitiven Fabrik Teil der Demonstrator-Plattform, welche zurzeit auf der Versuchsfläche des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften aufgebaut wird. Andere Aspekte sind beispielsweise das gemeinsame Arbeiten mit Robotern (JAHIR), neue Methoden der Prozessplanung durch die Einbindung von kognitiven Fähigkeiten (CoDeFS) und die Entwicklung eines umfassenden kognitiven Steuerungssystems (CogMaSh). Im Folgenden wird die Motivation, Zielsetzung und der Stand der Arbeiten des Teilprojektes zur Erforschung kognitiver Assistenzsysteme in der manuellen Montage dargestellt.

2 Motivation und Zielsetzung

Darstellende Assistenzsysteme in der manuellen Montage, wie zum Beispiel Augmented Reality oder Arbeitsplatzprojektionssysteme, sind in ihren bisherigen informationstechnischen Konzepten suboptimal gestaltet, um eine effiziente und ergonomisch sinnvolle Werkerführung zu gewährleisten [10]. Zwar konnte eine Steigerung der Leistung für einzelne Aufgaben und auch eine Reduzierung der mentalen Belastung nachgewiesen werden [11], jedoch führte der Einsatz von

Augmented Reality (AR) in Szenarien mit ablaufbedingten Folgen von Anweisungen nicht zur erwarteten Produktivitätssteigerung [12, 13]. Bei dem auftretenden Phänomen des „Attention Tunneling“ wird die Aufnahmefähigkeit des Werkers überreizt und in Folge dessen tritt eine Ablenkung von wichtigen Einflussgrößen der physischen Umgebung auf. Ein Grund hierfür liegt in der rein deterministischen Montageplanung und Generierung der Arbeitsanweisungen ohne Bezug zur tatsächlichen Produktionsumgebung. Die geringe situationsbezogene Unterstützung des Werkers und die daraus resultierende starre Führung ohne Einbindung der Umgebung führen zum oben genannten Phänomen und zu einer geringen Akzeptanz seitens der Werker [14]. Eine Lösung dieser Diskrepanzen wird im Rahmen des Projektes in der Entwicklung und Umsetzung von adaptiven und kognitiven Konzepten der Werkerführung gesehen.

Der Mensch ist in der Menge der Informationen die er gleichzeitig verarbeiten kann eingeschränkt. Daher sind kognitive Kontrollprozesse notwendig, um die Aufmerksamkeitszuwendung und Handlungsplanung zu koordinieren und dadurch einen adaptiven und fehlerfreien Arbeitsablauf zu ermöglichen. Die notwendigen Technologien zur Erfassung der Konditionierung des Menschen und seiner Umgebung sind in theoretischer Hinsicht weit fortgeschritten, es fehlen jedoch die entsprechenden Konzepte zur adaptiven Erzeugung von Montageanweisungen. Nachfolgend wird ein Vorschlag zur Umsetzung des motivierten Konzepts vorgebracht.

3 Kernziele und Arbeitsgebiete

3.1 Adaptive Informations- und Anweisungssysteme in der Montage

Eine der Hauptschwierigkeiten bei der Herstellung variantenreicher und manuell zu erstellender Produkte liegt in der komplexen Montage, die individuell unterschiedliche Arbeitsschritte notwendig macht. Der häufige Wechsel zwischen den zu montierenden Produktvarianten, ein frühes Abbrechen der

Lernkurve der Monteure und eine hohe Komplexität der montagerelevanten Daten, sind in diesem Zusammenhang sehr problematisch. Seit Kurzem werden deswegen vermehrt neue Medien zur Unterstützung von Produktionsmitarbeitern eingesetzt [15]. Diese Informationssysteme für die Werkerassistenz in der Montage geben in ihrer gebräuchlichen Form Anweisungen an den Werker, um diesen mittels einer fest verketteten und vorher definierten Folge an Einzelschritten in der Fertigung eines Produktes zu unterstützen. Der hier verfolgte Ansatz dynamischer erzeugter Montageanweisungen erlaubt zusätzlich die Einbindung von Informationen über Mensch und Fabrikumgebung zu jedem Zeitpunkt der Anweisungserzeugung und wird der Forderung nach Flexibilität gerecht.

Die Basis des Konzepts bildet ein gerichteter Graph (**Bild 2**), der genau eine Quelle (Ausgangszustand Z_0) und genau eine Senke (Zielzustand Z_{Ende}) besitzt. Die Kanten des Graphen, zum Beispiel $A_{0,1}$, stellen Instruktionen dar, welche in ihrer Ausgabe über die realen Kommunikationsmittel den Werker anweisen, das zu fertigende Produkt von einem Zustand (zum Beispiel Z_0) in den nächsten (zum Beispiel Z_1) zu überführen. Der Pfad von dem Ausgangszustand Z_0 zum Zielzustand Z_{Ende} führt über die entsprechenden Zustände Z_1 bis $Z_{\text{Ende}-1}$. Die in Bild 2 dargestellten Zwischenzustände (zum Beispiel Z_{1-a1} , Z_{1-b1}) sind über eine Detaillierung der Anweisungen zu erreichen. Hat ein Zustand mehr als eine ausgehende Kante $A_{i,j}$, so sind alternative Montagereihenfolgen oder alternative Teile zur Montage möglich. Unter der Voraussetzung, dass keine Demontage des zu fertigenden Produktes möglich ist, enthält der Graph in der betrachteten Form keine Schleifen. Diese Vereinfachung bedingt, dass der Zielzustand Z_{Ende} von jedem Zustand des Graphen aus zu erreichen ist. Somit existieren keine Zustände des zu fertigenden Produktes, welche eine Fortführung der Montage behindern. Die Notwendigkeit der Modellierung von Demontageprozessen stellt einen weiteren Teil der aktuellen Forschungsarbeiten dar.

Die Generierung von Montageanweisungen geschieht durch Optimierungsverfahren hinsichtlich kürzester Pfade auf dem Graphen. Ist der aktuelle Zustand Z_i des zu fertigenden Produktes erkannt, so wird der kürzeste Pfad von diesem Zustand zu dem Zielzustand bestimmt. Die von Z_i ausgehende Kante $A_{i,i+1}$ auf dem kürzesten Pfad entspricht der auszugebenden Montageanweisung. Im erreichten Zustand Z_{i+1} wird erneut der kürzeste Pfad zu dem Zielzustand bestimmt. Aufgrund unvorhersehbarer Aktionen des Werkers und seiner aus Erfahrung ausgeführten Arbeit ist der Pfad nicht vorher deterministisch bestimmbar.

Die Kanten des Graphen werden in Abhängigkeit von Informationen aus der prozessrelevanten Umgebung des Werkers bewertet. Diese Bewertung spiegelt die Kosten zur Durchführung einer Montageanweisung wider. Diese Kosten leiten sich zum einen aus dem resultierenden Aufwand ab, zum anderen kann hiermit beispielsweise die Verfügbarkeit von zu verbauenden Teilen modelliert werden. Ist ein Teil nicht verfügbar, so wird die entsprechende Kante mit Kosten in unendlicher Höhe bewertet. Daraus folgt, dass diese Kante nicht auf einem kürzesten Weg von dem aktuellen Zustand zu dem Zielzustand liegen kann. Sind keine oder keine relevanten Informationen aus der Montageumgebung verfügbar, so erfolgt die Bewertung zum einen über anfangs festgelegte Kosten, zum Beispiel auf Basis vorbestimmter Zeiten, zum anderen über Erfahrungswerte und Beobachtungen vorheriger Montagevorgänge des aktuellen Werkers.



Bild 3. Beispielhafte multimodale sensortechnische Erfassung: visuelle Überwachung der Bauteilentnahme (links oben); Hand- und Fingerverfolgung über einen Datenhandschuh (links unten) sowie über markerbasiertes Infrarottracking (rechts unten); Gesichts- und Emotionserkennung (rechts oben)

Entsprechend der Erkennertechnologien und deren Auswertung werden Informationen über den mentalen und physischen Zustand des Werkers mit in die Generierung der Montageanweisungen eingebunden. Die Montage geschieht entlang des kürzesten Pfades, bei dem die maximale Schrittweite d_{max} nicht überschritten wird. Der Wert d_{max} legt somit den Detaillierungsgrad der auszugebenden Anweisung fest. Die für die Beobachtung des Werkers notwendigen Erkennertechnologien und Mechanismen zur Erfassung von menschlichen Zuständen werden im folgenden Abschnitt erläutert.

3.2 Beobachtung und Verfolgung von menschlichen Aktivitäten und Zuständen

Aufbauend auf obigem Konzept zur zustandsbasierten Generierung von Montageanweisungen wird ein Entwurf zur sensorischen Erfassung und automatischen Auswertung mit dem Ziel einer adaptiven Mensch-Maschine-Interaktion vorgestellt. Grundsätzlich ist bereits eine Vielzahl notwendiger sensorischer und Signal verarbeitender Technologien sowie Erkennungsmethoden zur Erfassung menschlicher Aktivitäten entwickelt worden. Eine zielgerichtete Vereinigung und Analyse dieser zum Teil hoch komplexen Systeme wurde aber gerade im Bereich der manuellen Produktion noch nicht in Betracht gezogen. So können prinzipiell die folgenden Mess- und Beobachtungsgrößen zur technischen Auswertung und kognitiven Analyse herangezogen werden:

- Auswertung der Körpersprache über das Tracking bestimmter Körperteile,
- Bestimmen der Aufmerksamkeitsselektion über Augenverfolgung,
- Detektion des Gesichts inklusive Identifikation mimischer Aktivität und
- Spracherkennung und Einstufung spontan artikulierter Lautemissionen.

Bei der Umsetzung muss im aktuellen Projektstadium jedoch zwischen der verfügbaren Genauigkeit und Hintergründigkeit

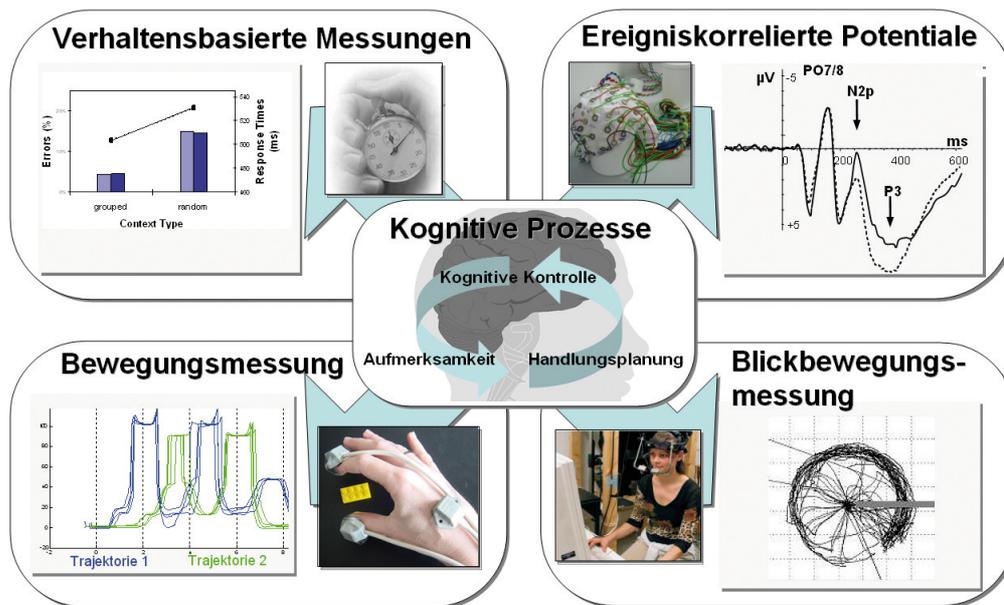


Bild 4. Methoden der neurokognitiven Psychologie zur Untersuchung kognitiver Prozesse: Reaktionszeiten und Fehlerraten (links oben, aus [23]); ereigniskorrelierte Gehirnaktivität (rechts oben, aus [23]); Trajektorien von Handbewegungen (links unten, eigene Daten); Blickbewegungen (rechts unten, aus [24])

der Sensorik abgewogen werden. Für die spätere Anwendung sind zusätzliche oder gar störende Zusatzeinrichtungen eher inakzeptabel, während sie im aktuellen prototypischen Stadium auf Grund ihrer Präzision und messtechnischen Robustheit im Besonderen mit Blick auf die später vorgestellte Auswertung kognitiver Prozesse im Menschen unabdingbar sind. Hauptgrund hierfür ist die momentane Limitiertheit rein bildbasierter Soft-Sensoren bezüglich ausreichend hoher räumlicher sowie zeitlicher Auflösung. Durch die in **Bild 3** gezeigten Verfahren können zuvor aufgelistete Modalitäten hinreichend genau erfasst werden:

- Positionsverfolgung der Hand über ein elektromagnetisches Wechselfeld,
 - Fingeraktivität über ein Array von resistiven Biegemessstreifen,
 - berührungslose Gesichts- und Mimikererkennung über externe kamerabasierte Systeme [16, 17],
 - Blickverfolgung mit Hilfe Infrarotlicht basierter Augenauswertung [18],
 - Handgestenerkennung über Infrarot Marker [19],
 - kamerabasierte Gesten- und Aktivitätserkennung [20, 21].
- Nach der messtechnischen Erfassung werden die erhaltenen Merkmale mit Methoden der Signal- und Mustererkennung aufbereitet. Anschließend erfolgt eine Dekodierung entsprechend ihrer kognitiven Relevanz bezüglich des Menschen. Die resultierende Ausgabe kann somit dem übergeordneten, wiederum kognitiv arbeitenden Assistenzsystem direkt zur Adaption des Detaillierungsgrads der Montageanweisungen zugeführt werden.

3.3 Neurokognitive Methoden: Erkennen von Zuständen und deren Übergänge beim Menschen

Experimentelle Studien der Neurokognitiven Psychologie haben gezeigt, dass Menschen in der Lage sind, ihre begrenzten Verarbeitungsressourcen aufzuteilen und verschiedene Teilaufgaben simultan zu bearbeiten. Dennoch resultieren

viele Fehler aus der gegenseitigen Störung von zwei Aufgaben, die gleichzeitig unter begrenzten Ressourcen ausgeführt werden müssen. Dementsprechend müssen die Eigenschaften menschlicher Informationsverarbeitung bei der Gestaltung von Arbeitsabläufen berücksichtigt werden. Ein Schlüssel zur Bestimmung des optimalen Arbeitsablaufs in einer Produktionsumgebung ist die Analyse der beteiligten mentalen Prozesse durch neuroergonomische Forschungsmethoden [22].

Mit dem Einsatz verschiedener experimenteller Methoden (**Bild 4**) werden Rückschlüsse auf die Verarbeitungsmechanismen und die mentale Belastung des Werkers in Abhängigkeit seines Kenntnisstandes, der Aufgabenschwierigkeit und der Art der Instruktion darbietung gezogen. Dabei wird das Ziel verfolgt, die kognitiven Prozesse des Werkers direkt in der wirklichen Produktionsumgebung zu untersuchen [25]. Zunächst wird ein exemplarischer Montageablauf durch ein Konstruktionszenario simuliert, in dem der Arbeiter unter verschiedenen Bedingungen Bauteile anhand einer Anleitung montieren soll. Dabei wird die Komplexität der einzelnen Arbeitsschritte, der Zeitpunkt der Instruktion darbietung und die Art der Information (statische auf einem Monitor versus kontaktanaloge durch Videoprojektion auf die Arbeitsfläche) kontrolliert variiert. Hierbei werden die Bewegungstrajektorien des Arbeiters aufgezeichnet und analysiert, um entsprechend der aktuellen Handlung später adaptiv Informationen einblenden zu können.

Mit Hilfe der Erfassung von Blickbewegungen kann man auf den Ort der Aufmerksamkeitszuwendung schließen und Informationen über die Intentionen einer Person gewinnen. Anhand von Fertigungszeiten und Fehlerraten wird versucht, einen optimalen Arbeitsablauf zu finden. Darüber hinaus ermöglicht die Ableitung ereigniskorrelierter Gehirnpotentiale (EKPs) mit einer hohen zeitlichen Auflösung Komponenten der Gehirnaktivität zu isolieren. Eine Verringerung einer Komponente (oder deren zeitliche Verzögerung) kann zum Beispiel bedeuten, dass der Arbeiter zu diesem Zeitpunkt weni-

ger freie Ressourcen zum Verarbeiten der Information zur Verfügung hatte [26].

Durch die Kombination der hier verwendeten Methoden können Grenzen der menschlichen Informationsverarbeitung entdeckt und durch situationsgerechte Anpassung der Arbeitsumgebung und des Arbeitsablaufes kompensiert werden. Letzteres erfolgt beispielsweise, indem die Untersuchungsergebnisse in die Modellierung der Gewichte (Kantenlängen) und Schrittweiten (siehe d_{\max} in Bild 2) zwischen einzelnen Zuständen eingehen.

3.4 „Ergopsychologische“ Informationsdarbietung in der Montage

Viele der in der Ergonomie etablierten Regeln und Hinweise zur Arbeitsplatzgestaltung und Informationsdarbietung finden auch im Kontext der Kognitiven Fabrik Anwendung. Die Einbeziehung aktueller Nutzer- und Umgebungsinformationen erschließt jedoch ganz neue Möglichkeiten ergonomischer Gestaltung. So kann über die Kenntnis der Aufmerksamkeitsallokation die Ausgabe von Informationen dynamisch über die jeweils günstigste Modalität erfolgen und beispielsweise ein akustisches Signal nur dann auf eine bestimmte Situation hinweisen, wenn sie vom Werker nicht ohnehin bereits visuell erfasst wurde. Durch die verstärkte Integration der Umgebungsinformationen in Kombination mit kontaktanaloger Visualisierung, ist eine Reduktion des Umkodieraufwandes der Anweisungen zu erwarten, was zu einer Reduktion der mentalen Beanspruchung des Werkers führen sollte.

Bei der Modellierung der Zustandsgraphen finden sowohl Methoden der Arbeitswissenschaft als auch der Neurokognitiven Psychologie Anwendung. Als Basis für die Definition der Gewichte, beziehungsweise Kantenlängen, kommen unter anderem Systeme vorbestimmter Zeiten wie Methods-Time-Measurement (MTM) zum Einsatz. Damit lassen sich für einzelne Arbeitsschritte wie Greifen, Schrauben, Gehen durchschnittliche Bearbeitungszeiten ermitteln. Auf einer detaillierten Betrachtungsebene setzt der Einsatz kognitiver Architekturen wie Adaptive Control of Thought – Rational (ACT-R) [27] ein. Hiermit ist es möglich, für einzelne mentale Verarbeitungsschritte, wie beispielsweise Information erfassen, Information verarbeiten, Handlung auslösen, die voraussichtlich benötigten Zeiten auszugeben. Diese Referenzzeiten werden mit der tatsächlichen Performanz des Werkers verglichen, abgeleitet aus den in Abschnitt 3.2 vorgestellten Verfahren. Die daraus erhaltenen Informationen über die subjektive Arbeitsbeanspruchung des Werkers gehen in die Bestimmung der Schrittweite d_{\max} ein. Die so erhaltene kognitive Assistenz wird mit Hilfe der in Abschnitt 3.3 gewonnenen Erkenntnisse über Personenversuche verifiziert und gegebenenfalls adaptiert.

4 Zusammenfassung

Durch Automatisierung wird in der Massenproduktion eine hohe Produktivität erzielt. Um diese Vorteile auch auf die Kleinserienfertigung übertragen zu können, wird das Konzept der Kognitiven Fabrik vorgeschlagen. Die Kognitive Fabrik wird an einer Demonstrationsplattform im Rahmen des Exzellenzclusters CoTeSys (Cognition for Technical Systems) entwickelt, erprobt und präsentiert. Von wesentlichem Interesse

sind kognitive Arbeitsumgebungen für eine verbesserte manuelle Montage sowie die interaktiv-kooperative Fertigung mit Robotern. Stellvertretend für das Spektrum möglicher Szenarien werden in diesem Artikel die Forschungsinhalte des Projekts Adaptive Cognitive Interaction in Production Environments (ACIPE) vorgestellt. Ziel des Projektes ist die Erforschung von kognitiven Assistenzsystemen für Werker in der manuellen Montage durch die Bereitstellung von adaptiv generierten Anweisungen.

Dazu wurden zunächst adaptive Informations- und Anweisungssysteme in der Montage zusammen mit möglichen Lösungsansätzen vorgestellt. Danach wurden technische Umsetzungen zur Beobachtung und Verfolgung menschlicher Aktivitäten und resultierender Zustände sowie automatisierter Erkennungssysteme aufgeführt. Parallel hierzu wurden die Betrachtungen für die Erkennung von Zuständen und deren Übergänge beim Menschen mit Hilfe neurokognitiver Methoden dargestellt. In der ergopsychologischen Betrachtungsweise wurde erläutert, wie diese Erkenntnisse und Komponenten in der Informationsdarbietung zusammenfließen und die gewünschte kognitive Assistenz im Montageprozess erreicht wird – der Werker wird optimal in seiner Montageaufgabe unterstützt.

Literatur

[1] Feldmann, K.: Montage strategisch ausrichten: Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen. Berlin: Springer-Verlag 2004

[2] Zäh, M. F.; Rimpau, C.; Wiesbeck, M.: Produktion im globalen Umfeld. ZWF 100 (2005) H. 5, S. 246–250

[3] Schirrmeister, E.; Warnke, P.; Dreher, C.: Untersuchung über die Zukunft der Produktion in Deutschland: Sekundäranalyse von Vorausschau-Studien für den europäischen Vergleich. Karlsruhe: Fraunhofer ISI 2003

[4] Rasmussen, J.; Pejtersen, A. M.; Goodstein L. P.: Cognitive Systems Engineering. New York: Wiley 1994

[5] Hollnagel, E.; Cacciabue, P. C.: An Introduction. Cognition, Technology & Work (1999) No. 1, pp. 1-6

[6] Mataric, M. J.: Behavior-based robotics as tool for synthesis of artificial behavior and analysis of natural behavior. Trends in Cognitive Sciences 2 (1998) No. 2, pp. 82-87

[7] Putzer, H.; Onken, R.: COSA - A generic cognitive system architecture based on a cognitive model of human behavior. Cognition, Technology & Work (2003) No. 5, pp. 140-151

[8] Hoc, J. M.: Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations. International Journal of Human-Computer Studies (2001) No. 54, pp. 509-540

[9] Shalin, V. L.: The roles of humans and computers in distributed planning for dynamic domains. Cognition, Technology & Work (2005) No. 7, pp. 198-211

[10] Reinhart, G.; Patron, C.: Integrating Augmented Reality in the Assembly Domain – Fundamentals, Benefits and Applications, Annals of CIRP 52 (2003) No. 1, pp. 5-8

[11] Tang, A.; Owen C.; Biocca, F.; Mou, W.: Comparative Effectiveness of Augmented Reality in Object Assembly. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, Ft. Lauderdale USA (2003), pp. 73-80

- [12] Dopping-Hepenstal, L. L.: Head-up displays: The integrity of flight information. IEE Proceedings Part F, Communication, Radar and Signal Processing 128 (1981) No. 7, pp. 440-442
- [13] Yeh, M.; Wickens, C. D.: Attention and Trust Biases in the Design of Augmented Reality Displays. Technical report: Aviation Research Lab 2000
- [14] Livingston, M. A.: Evaluating Human Factors in Augmented Reality Systems. IEEE Computer Graphics and Applications 6 (2005) 25, pp. 6-9
- [15] Zäh, M. F.; Rudolf, H.; Möller, N.: Agile process planning considering the continuous reconfiguration of factories. CIRP, 3rd International Conference on Reconfigurable Manufacturing, Ann Arbor (USA), 10.05.–12.05.2005
- [16] Wallhoff, F.; Schuller, B.; Hawellek, M.; Rigoll, G.: Efficient Recognition of Authentic Dynamical Facial Expressions on the Feedtum Database. Proceedings ICME 2006, Toronto, Canada, 09.-12.07.2006. IEEE. pp. 493-497
- [17] Wallhoff, F.; Zobl, M.; Rigoll, G.; Potucek, I.: Face Tracking in Meeting Room Scenarios Using Omnidirectional Views. Tagungsband 17th Intern. Conference on Pattern Recognition (ICPR 2004), Cambridge, England, 23.08.–26.08.2004. Werner, B. (Hrsg.): Verlag: IEEE Computer Society, 2004. Band 4, pp. 933-936
- [18] Wallhoff, F.; Ablaßmeier, M.; Rigoll, G.: Multimodal Face Detection - Head Orientation and Eye Gaze Tracking. Proceedings IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration (MFI), Heidelberg, 03.09.–06.09.2006
- [19] Reifinger, S.; Wallhoff, F.; Rigoll, G.: Static and Dynamic Hand Gesture Recognition for Augmented Reality Applications. Human-Computer-Interaction (HCI) 2007, Beijing, China, 22.07.–27.07.2007
- [20] Arsic, D.; Wallhoff, F.; Schuller, B.; Rigoll, G.: Vision Based Online Behavior Detection Using Probabilistic Multi-Stream Fusion. Tagungsband ICIP 2005, Genua, Italien, 11.09.–14.09.2005. IEEE. pp. 606-609
- [21] Wallhoff, F.; Zobl, M.; Rigoll, G.: Action Segmentation and Recognition in Meeting Room Scenarios. Tagungsband ICIP 2004, Singapore, 24.10.–27.10.2004. IEEE. pp. 2223-2226
- [22] Parasuraman, R.; Rizzo, M. (Edit.): Neuroergonomics: The Brain at Work. New York: Oxford University Press 2006
- [23] Schubö, A.; Wykowska, A.; Müller, H. J.: Detecting pop-out targets in contexts of varying homogeneity: Investigating homogeneity coding with event-related brain potentials. Brain Research (2007), 1138, pp. 136-147
- [24] Stork, S.; Neggers, S. F. W.; Müsseler, J.: Intentionally-evoked modulations of smooth pursuit eye movements. Human Movement Science (2002) 21, pp. 335-348
- [25] Stork, S.; Stößel, C.; Müller, H. J.; Wiesbeck, M.; Zäh, M. F.; Schubö, A.: A Neuroergonomic Approach for the Investigation of Cognitive Processes in Interactive Assembly Environments. IEEE Proceedings Robot and Human Interactive Communication 2007
- [26] Schubö, A.; Meinecke, C.; Schröger, E.: Automaticity and attention: investigating automatic processing in texture segmentation with event-related potentials. Cognitive Brain Research (2001) 11, pp. 341-361
- [27] Anderson, J. R.; Bothell, D.; Byrne, M. D.; Douglass, S.; Lebiere, C.; Qin, Y.: An integrated theory of the mind. Psychological Review 111 (2004) (4), pp. 1036-1060