

Forschungsberichte



Band 190

Christian Patron

***Konzept für den Einsatz
von Augmented Reality
in der Montageplanung***

herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh

Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

Herbert Utz Verlag



Forschungsberichte iwb

Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh
Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
Technische Universität München
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte
bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2004

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch
begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des
Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der
Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege
und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben,
auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2005

ISBN 3-8316-0474-6

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
Tel.: 089/277791-00 – www.utzverlag.de

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	3
2	Situationsanalyse	5
2.1	Begriffsbestimmung	5
2.2	Aufgaben und Ablauf der Montageplanung	6
2.3	Rechnerunterstützung in der Montageplanung	9
2.3.1	Modellierung von Montagesystemen	12
2.3.2	3D-Simulationssysteme in der Montageplanung	14
2.3.3	Interaktive Benutzerschnittstellen in der Montageplanung	15
2.4	Defizite und Handlungsfelder	17
3	Grundlagen der Augmented-Reality-Technologie	19
3.1	Abgrenzung VR und AR	19
3.2	Funktionsprinzip eines AR-Systems	21
3.3	Aufbau und Komponenten eines AR-Systems	22
3.3.1	Visualisierungsverfahren	23
3.3.2	Head Mounted Displays (HMD)	25
3.3.3	Verfahren zur Positionserfassung im Raum	28
3.3.4	Haptische und akustische Geräte	30
3.4	Anwendungen von AR im industriellen Umfeld	32
3.4.1	Produktentwicklung	32
3.4.2	Produktionsplanung	34
3.4.3	Fertigung	35

3.4.4	Service und Training.....	36
3.4.5	Weitere Anwendungen.....	38
3.4.6	Übersicht der bestehenden Ansätze	39
3.5	Fazit.....	40
4	Anforderungen für den Einsatz in der Montageplanung.....	41
4.1	Methodische Anforderungen an eine AR-Unterstützung.....	41
4.2	Technische Anforderungen an ein AR-System für die Montageplanung	43
4.2.1	Laufzeitverhalten und Systemperformance.....	43
4.2.2	Anforderungen an die AR-Hardware.....	44
4.2.3	Integration in Planungswerkzeuge.....	45
4.2.4	Anforderungen an die Systemflexibilität.....	46
4.2.5	Sicherheitsaspekte.....	48
4.2.6	Zusammenfassung	49
5	Konzeption und Systementwurf.....	51
5.1	Übersicht.....	51
5.2	Nutzenpotenziale und Einsatzbereiche.....	52
5.3	Augmented Reality zur Unterstützung der räumlichen Planung.....	58
5.3.1	Grundprinzip der AR-unterstützten Planung	58
5.3.2	Einordnung der Planungsaufgaben.....	60
5.3.3	Prinzipielles Vorgehen für die räumliche AR-Planung.....	61
5.3.3.1	Vorbereitung und Modellierung.....	62
5.3.3.2	AR-Visualisierung und interaktive Gestaltung.....	65
5.3.3.3	Bewertung und Dokumentation der Planungsergebnisse	69

5.4	Informationstechnische Unterstützung des Montagemitarbeiters.....	72
5.4.1	Grundprinzip der AR-Mitarbeiterunterstützung.....	73
5.4.2	Vorgehensweise zur AR-unterstützten Arbeitsunterweisung.....	75
5.4.2.1	Analyse der Arbeitsaufgabe	76
5.4.2.2	Vorbereitung des AR-Einsatzes.....	78
5.4.2.3	Ausführung der Montage mit AR-Unterstützung.....	80
5.4.2.4	Ergebniskontrolle und Verbesserung der Unterlagen.....	80
5.5	Gestaltung modularer AR-Hardwarekomponenten.....	81
5.5.1	Bewertung visueller Ausgabegeräte.....	81
5.5.2	Analyse von Visualisierungsverfahren.....	82
5.5.3	Bewertung der Trackingtechnologie	84
5.5.4	Analyse von Trackingverfahren.....	85
5.5.5	Bewertung zusätzlicher Eingabemöglichkeiten.....	87
5.5.6	Synthese der Hardwarekomponenten.....	88
5.6	Zusammenfassung	90
6	Umsetzung und beispielhafte Anwendung.....	91
6.1	Übersicht	91
6.2	Gestaltung und Aufbau der Systemarchitektur	91
6.3	Teilsystem: Modellierung.....	93
6.4	Teilsystem: Verwaltung und Speicherung	95
6.5	Teilsystem: AR-Visualisierung	96
6.5.1	Trackingmodul.....	97
6.5.2	AR-Visualisierungskomponente	98

6.5.3	Anwendungsmodule	98
6.6	Realisierung des Hardwareaufbaus	100
6.6.1	Biokulares AR-System mit mobilem Outside-In Tracking	101
6.6.2	Monokulares AR-System mit Inside-Out Tracking	103
6.7	Exemplarische Anwendung	105
6.7.1	Layoutplanung mithilfe von Augmented Reality	106
6.7.2	AR-basierte Planung manueller Arbeitsplätze	108
6.7.3	Erstellung AR-unterstützter Arbeitsanweisungen	110
7	Technisch-wirtschaftliche Bewertung	113
7.1	Technologische Bewertung	113
7.2	Wirtschaftliche Bewertung	115
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	119
9	Literaturverzeichnis.....	121
10	Abbildungsverzeichnis	140
11	Glossar	143

1 Einleitung

1.1 Motivation

Innovationen sind Schlüsselfaktoren für ein nachhaltiges Wachstum und somit für die Standort- und Zukunftssicherung in Deutschland (MILBERG 2003). Neue Produkte und neue Geschäftssysteme, die durch innovative Technologien ermöglicht werden, verschaffen Unternehmen signifikante Wettbewerbsvorteile und sichern so ein Überleben im turbulenten Unternehmensumfeld. Die Generierung und Umsetzung von Innovationen ist die Voraussetzung für eine reaktionsschnelle, flexible und wirtschaftliche Produktionstechnik. Unternehmen, die am Standort Deutschland produzieren, sind gezwungen, neue Technologien stetig auf ihre Eignung zu überprüfen und gegebenenfalls in ihre Prozesse zu integrieren. Besonders wichtig ist die Realisierung von Innovationen in Kernbereichen der industriellen Produktion.

Einen derartigen Kernbereich stellt die Montage dar, welcher eine herausragende Bedeutung für das verarbeitende Gewerbe in Europa zukommt (FELDMANN 1997). Kaum ein anderer Bereich der industriellen Produktion hat einen derartigen Einfluss auf Produktqualität und Liefertreue (REINHART 2000). Als letztes Glied der Wertschöpfungskette, in dem alle Einzelteile eines Produktes zu einem funktionsfähigen Gesamtsystem zusammengefügt werden, steht die Montage in einem außerordentlichen Spannungsfeld. Zum einen ist die Montage ein komplexer Prozess, der kostenintensive Anlagen und kostbare menschliche Arbeitsleistung erfordert. Zum anderen wirken sich zahlreiche Einflüsse des Unternehmensumfeldes besonders stark auf die Montage aus. Die zunehmende Produktkomplexität und hohe Variantenzahlen müssen von der Montage in immer kürzerer Zeit und bei steigenden Anforderungen an die Qualität bewältigt werden. Seit 20 Jahren besteht zudem der Trend sinkender Seriengrößen und immer kürzerer Produktlebenszyklen (LOTTER 2002, S. 1). Den enormen Anstieg möglicher Varianten zeigt ein Beispiel aus der Automobilindustrie. So ergibt sich bei der aktuellen 7er Baureihe von BMW eine rechnerische Möglichkeit von 10^{17} unterschiedlichen Fahrzeugkonfigurationen (BAUSE U. A. 2002, S. 3).

Durch die steigende Variantenzahl und die Integration von immer mehr elektrischen und elektronischen Komponenten erhöhen sich die Anforderungen,

welche an die Montagemitarbeiter gestellt werden. Diese müssen eine zunehmende Zahl an Arbeitsabläufen und Arbeitsinhalten beherrschen. So muss der Werker heute Prüfvorgänge von Bauteilen oder Qualitätsuntersuchungen direkt am Montagearbeitsplatz durchführen. Dies kann er nur dann erfolgreich tun, wenn ihm die dafür notwendigen Informationen zur richtigen Zeit und in der richtigen Qualität zur Verfügung gestellt werden.

Neben den steigenden Anforderungen für den Betrieb von Montagesystemen verschärfen sich auch die Randbedingungen der Montageplanung. Kürzere Produktlebenszyklen und schnellere Entwicklungs- und Innovationszyklen bedingen häufigere Neu- und Umplanungen (ZÄH U. A. 2003A). Durch den Einsatz rechnergestützter Simulationssysteme konnten in den letzten Jahren wesentliche Verbesserungen des Planungsprozesses erreicht werden. Der Aufwand für den Simulationseinsatz ist aber immer noch sehr hoch. Während in modernen Produktentwicklungsprozessen nahezu alle Bestandteile eines Produktes in digitaler Form vorliegen, ist dies für produktionstechnische Komponenten nur selten der Fall. Der Grund liegt zum einen darin, dass zahlreiche Produktionsstätten weit vor der Einführung von CAD-Systemen geplant und gebaut wurden. Bei Umbaumaßnahmen müssen die benötigten Daten daher aufwändig rekonstruiert werden. Zum anderen ändert sich das Produktionsumfeld ständig z. B. durch Änderungen vor Ort.

Der Aufwand, ein komplettes Modell eines Montagesystems bestehend aus den Anlagen, der Montageumgebung und den Produktdaten aufzubauen und stetig zu aktualisieren, ist daher sehr hoch. Für die 3D-Montageplanung beträgt der Aufwand für die Modellerstellung und Validierung bis zu 80% der Gesamtzeit für die Durchführung einer Simulationsstudie (WENDEROTH 2002). Viele Unternehmen setzen die rechnerunterstützte Planung daher nur für die Neuplanung ein und verzichten z. B. bei Umbauplanungen auf den Einsatz der Simulationstechnologie. Dies birgt erhebliche Risiken der Fehlplanung.

Damit die Wettbewerbssituation produzierender Unternehmen verbessert werden kann, bedarf es innovativer Ansätze um die Planungszeiten von Montagesystemen zu verkürzen. Insbesondere sind Lösungen gefordert, die zu einer Verbesserung der rechnergestützten Simulation beitragen und den Simulationseinsatz auch für Umbau- und Änderungsplanungen wirtschaftlich machen. Weiterhin gilt es, die Montagemitarbeiter effizienter informationstechnisch zu integrieren. Ein Lösungsansatz ist hier der Einsatz moderner Informations- und Kommunikationssysteme (REINHART 2003).

Eine neue Technologie, die für diese Einsatzbereiche Innovationspotenzial bietet, ist Augmented Reality (AR)¹. AR ist eine neue Form der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI), die es erlaubt, die menschliche Wahrnehmung mit computergenerierten Informationen anzureichern (FRIEDRICH 2000). Mit AR wird es möglich, die Vorteile moderner Rechnersysteme mit der Flexibilität und dem Problemlösungspotenzial des Menschen zu kombinieren (ZÄH 2002). Dies eröffnet neue Möglichkeiten für die Rechnerunterstützung in der Montageplanung. Es ist die Aufgabe der produktionstechnischen Forschung, hierfür die notwendigen methodischen und technischen Grundlagen zu erarbeiten. Die folgende Arbeit soll hierzu einen Beitrag leisten.

1.2 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit

Der effektive Einsatz neuer Technologien in der Produktionstechnik erfordert neue Ansätze und Systemkonzepte. Dementsprechend ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit, ein grundlegendes Konzept für den Einsatz der Augmented-Reality-Technologie in der Montageplanung zu entwickeln. Die Zielsetzung schließt dabei die Konzeption entsprechender Hard- und Softwarelösungen ebenso ein, wie die Definition von Vorgehensweisen für die methodische Integration von AR in der Montageplanung. Mit dem Konzept soll ein Beitrag geleistet werden, die Planungszeiten weiter zu verkürzen und dabei die Qualität der Montageplanung zu erhöhen. Zudem sollen virtuelle Planungsinformationen effizienter bei der Realisierung und dem Anlauf von Montagesystemen genutzt werden. Ein weiteres Ziel ist es, traditionelle Methoden der informationstechnischen Integration von Montagemitarbeitern zu ersetzen und die Montage damit produktiver und flexibler zu gestalten.

Die Vorgehensweise, um die Zielsetzung der Arbeit zu erreichen, gliedert sich in drei Hauptabschnitte. Abbildung 1-1 zeigt die Gliederung der Arbeit.

Kapitel 2 der vorliegenden Arbeit dient der Analyse der Ausgangssituation und führt in den aktuellen Stand der Technik im Bereich der Planung und Gestaltung von Montagesystemen ein. Hierzu werden die notwendigen Begriffe definiert, die Grundlagen der Montageplanung vorgestellt und der aktuelle Stand der Rechnerunterstützung beleuchtet. Das Kapitel 2 schließt mit einer

¹ Vgl. Definition und Begriffsabgrenzung in Abschnitt 3.1