

# Montagezelle zur Getriebemontage

Am Institut für Werkzeugmaschinen (IfW) der Universität Stuttgart wird im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft getragenen Sonderforschungsbereichs 158 „Die Montage im flexiblen Produktionsbetrieb“ eine flexible, automatisierte Montagezelle zur Getriebemontage aufgebaut (Abb. 1). Im vorliegenden Beitrag wird Aufbau und Betrieb der Montagezelle beschrieben. – Von Prof. Dr.-Ing. Uwe Heisel, Dipl.-Ing., M. Sc. Frank Richter, Dipl.-Ing. Rolf Willmer und Dipl.-Ing. Stefan Schwock<sup>1)</sup>.

## Einleitung

Seit längerer Zeit werden am IfW Konstruktionskonzepte und konstruktiver Aufbau von Komponenten und Systemen zur flexiblen, automatisierten Montage untersucht und weiterentwickelt. Der Forschungsschwerpunkt liegt dabei in der Entwicklung und Erprobung von Strategien und Techniken zur automatisierten Montage von Normteilen und Getriebebaugruppen am Beispiel der Montage von Schneckengetrieben [1, 2]. Eine in den automatisierten Montageablauf integrierte Meß- und Justagetechnik ermöglicht die Montage von Schneckengetrieben mit optimierten Laufeigenschaften.

## Aufbau und Funktion der Montagezelle

Die Montagezelle am IfW besteht im wesentlichen aus zwei autarken Roboterstationen, die durch ein Doppelgurt-Transportband verbunden sind. An

einem Eingabeplatz werden vorkommissionierte Werkstückträger in die Anlage eingeschleust, und am Ausgabeplatz verlassen die fertig montierten Schneckengetriebe die Montagezelle. Zwischen den beiden Industrierobotern vom Typ Manutec R15 ist ein zentrales Werkzeugmagazin mit insgesamt sechs Montage- und Greifwerkzeugen angeordnet.

An Roboterstation 1 werden sämtliche Meß- und Justageaufgaben durchgeführt. Durch die berührungslose Messung der Gehäuse- und Wellengeometrie und die Justage der Schneckenradsätze vor dem Einbau in das Gehäuse werden die Einstelldaten für geringes Axialspiel der beiden Wellen und optimales Tragbild des Schneckengetriebes ermittelt. Entsprechend diesen Einstellwerten wird an Roboterstation 2 das Getriebe komplett montiert. Bei der Montage wird die optimale axiale Lage der beiden Wellen durch Verteilen von Paßscheiben unterschiedlicher Anzahl und Dicke auf die vier Lagerstellen eingestellt.

Mit der Anlage können drei Getriebe-Größen in jeweils drei unterschiedlichen Varianten montiert werden. Die Schneckengetriebe bestehen aus neun teilweise vormontierten Baugruppen oder Teilen, 20 Innensechskantschrauben und einer variablen Anzahl von Paßscheiben (Abb. 2). Die Masse der zu montierenden Teile variiert von wenigen Gramm (Paßscheibe) bis zu etwa 2,5 Kilogramm (vormontierte Schneckenradwelle). Dieses unterschiedliche Teilespektrum stellt hohe Anforderungen an die Flexibilität und Vielseitigkeit der Greifwerkzeuge (Abb. 3).

An der Montagestation (Roboter 2) werden bei der Montage eines Schneckengetriebes insgesamt 44 Füge- und Handhabungsvorgänge durchgeführt, dabei wird 34 mal auf das zentrale Werkzeugmagazin zugegriffen und mindestens 24 mal auf Kleinteilemagazine. Die Montage des Schneckengetriebes erfolgt komplett auf dem Werkstückträger, auf dem alle zur Montage erforderlichen Baugruppen, bzw. Teile, in einer definierten Lage bereitgestellt werden. Für die Montage kommen die nachfolgend aufgeführten fünf Montagewerkzeuge zum Einsatz:

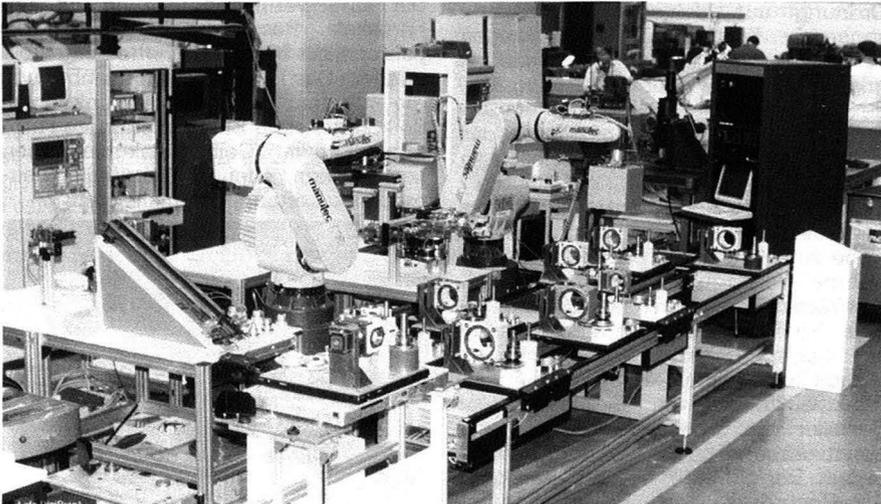
- Schraubwerkzeug,
- Paßscheibengreifer,
- Deckelgreifer mit Versatzausgleich,
- Verzahnungsfügewerkzeug und
- Wellengreifer.

Das Schraubwerkzeug montiert die Schraubengrößen M6 und M8, die in zwei Parallelschienenmagazinen mit Einzelungsvorrichtung bereitgestellt werden. Die Abschaltung des Schrauberantriebs beim Erreichen des geforderten Anzugsmoments wird durch eine Drucküberwachung in der Versorgungsleitung des pneumatischen Schraubers gewährleistet. In dem Schraubwerkzeug wurde eine Überwachungssensorik integriert, mit der zu jedem Zeitpunkt der Montage der korrekte Sitz der Schraube an der Spitze des Werkzeugs überprüft werden kann. Die Schraube wird durch Magnetkraft an der Spitze des Schraubers gehalten. Dieses Halteprinzip ermöglichte die schlanke Gestalt des Schraubwerkzeuges. Damit sind neben schwer zugänglichen Fügestellen auch versenkte Schraubköpfe erreichbar. Außerdem können mit diesem Schraubwerkzeug Schraubverbindungen wieder demontiert werden.

Der Paßscheibengreifer arbeitet nach dem Saugprinzip und ermöglicht das Montieren verschiedener Paßscheiben-Größen mit Außendurchmessern zwischen 40 und 80 mm und unterschiedlichen Scheibendicken. Der Greifer überprüft die Anwesenheit des Werkstücks während des gesamten Montageablaufs.

Zum Fügen der Getriebedeckel wird der flexible Deckelgreifer eingesetzt. Der sehr große Bereich der Deckelaußendurchmesser bei den zu montierenden Getriebe-Größen (zwischen 56 und 148 mm), das Fehlen geeigneter Greif-

Abb. 1: Montagezelle für Schneckengetriebe des Instituts für Werkzeugmaschinen (IfW) der Universität Stuttgart



<sup>1)</sup> Prof. Dr.-Ing. Uwe Heisel ist Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart. Dipl.-Ing., M. Sc. Frank Richter, Dipl.-Ing. Rolf Willmer und Dipl.-Ing. Stefan Schwock sind wissenschaftliche Mitarbeiter am selben Institut.

flächen und die bei unbearbeiteten Gußteilen auftretenden hohen Toleranzen erforderten eine aufwendige Greiferkonstruktion mit gestuften Wirkorganen und Versatzausgleich durch ein verriegelbares Ausgleichselement.

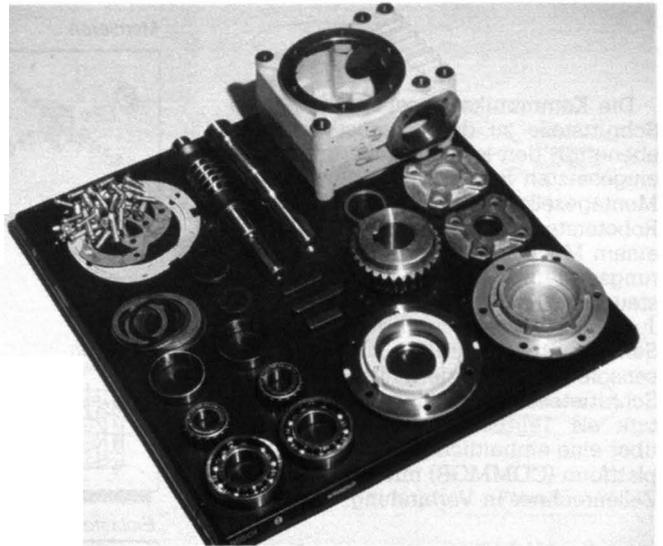
Das Verzahnungsfügewerkzeug und der Wellengreifer dienen zum Einsetzen der Wellen in das Gehäuse. Das Verzahnungsfügewerkzeug ist zusätzlich mit einem passiven Ausgleichselement ausgestattet, um bei der angewandten taktilen Fügestrategie Schäden an den Verzahnungen zu vermeiden [1].

Die Greiferwechsel werden von der Robotersteuerung lokal überwacht, so daß bei Fehlern oder Kollisionen der Montageablauf abgebrochen wird.

## Zellensteuerung

Der beschriebene Aufbau der Montagezelle zur Getriebemontage stellt hohe Anforderungen an die Steuerungsstruktur und Konfigurierbarkeit der Zellensteuerung. Die unterschiedlichen Betriebsmittel, vom Industrieroboter über die verschiedenen sensorgeführten Greifwerkzeuge bis hin zur Teilebereitstellung, arbeiten mit verschiedener Sensorik und verfügen teilweise über eigenständige Stationssteuerungen. Die Zellensteuerung muß deshalb in der Lage sein, allen Bedürfnissen dieser

Abb. 2: Einzelteile eines Schneckengetriebes



dezentralen Steuerungen gerecht zu werden und diese gleichzeitig zu einer funktionsfähigen und kontrollierbaren Einheit zusammenzufassen.

Die Zellensteuerung für die Montagezelle zur Getriebemontage wurde in enger Anlehnung an den Leitfaden „Steuerung von Montagezellen“ des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) entwickelt [3]. In der hierarchischen Steuerungsstruktur werden drei Ebenen unterschieden (Abb. 4):

– die Ablauf-Synchronisationsebene,

- die Kommunikationsebene und
- die Prozeßsteuerungsebene.

Die Ablauf-Synchronisationsebene wird durch den zentralen Zellenrechner repräsentiert. Hier werden einerseits die Montage- und Transportoperationen der untergeordneten Steuerungsbausteine koordiniert. Andererseits bildet diese Schicht die Schnittstelle zum Montageleitrechner, mit dem über das Protokoll Sinec AP (Siemens Network Architecture Automation Protocol) kommuniziert wird.

Die Kommunikationsebene bildet die Schnittstelle zu der Prozeßsteuerungsebene mit den lokalen Steuerungen der eingesetzten Betriebsmittel. In der IfW-Montagezelle wird mit verschiedenen Robotersteuerungen (RCM2, RCM3), mit einem Modularen-Mehrprozessor-Steuerungssystem (MPST) zur Transportsteuerung, mit der NC-Steuerung des Justageprüfstandes und dem speziellen Sensorcontroller des 3D-Triangulationsensors kommuniziert. Die einzelnen Schnittstellenprogramme arbeiten autark als Teilzellenrechner und stehen über eine einheitliche Kommunikationsplattform (COMMGR) mit dem zentralen Zellenrechner in Verbindung.

## CLAC - Programmiersprache zur Montageablaufsteuerung

Zur rationellen Erstellung komplexer Montageablaufprogramme wurde am IfW die Programmiersprache zur Montagezellensteuerung CLAC (Control Language for Assembly Cells) und ein Programmiersystem entwickelt. Die Programmiersprache CLAC zeichnet sich vor allem dadurch aus, daß Ablaufprogramme mit Kontrollstrukturen und Fehlerbehandlungsstrategien einfach und übersichtlich erstellt werden können. Dabei sind die Ablaufprogramme unabhängig von der eingesetzten Rechner-Hardware. In diesen Ablaufprogrammen können die Betriebsmittel direkt über logische Namen angesprochen werden. Für den Programmierer ist es damit unerheblich, auf welchem Rechner (physikalisch) die Teilzellensteuerung des entsprechenden Gerätes läuft.

Durch die Verwendung von getrennten Dateien bei den Montageablaufprogrammen können gerätespezifische Daten von allgemeinen Montageablaufdaten vollständig getrennt werden. Die Reihenfolge der Montage ist zum Beispiel für alle zu montierenden Schneckengetriebe gleich, während zur Montage von Kleinteilen auf das Magazin der jeweilig erforderlichen Teilegröße zugegriffen werden muß. Dies ist durch den Aufruf verschiedener Roboterprogramme möglich. Die gerätespezifischen Daten sind dagegen vom Ablauf unabhängig und können in verschiedenen Montageablaufprogrammen verwendet werden. Durch diese Trennung wird eine Datenredundanz weitgehend vermieden. Folglich wird der Aufwand bei Änderungen des Montageablaufs geringer und das Risiko von Programmierfehlern erheblich gesenkt.

## Prozeßüberwachung

Alle Fügeoperationen werden durch das am IfW entwickelte Prozeßüberwachungssystem mit Hilfe eines am Roboter angebrachten 6-Achsen-Kraft-/Momentensensors und der in den einzelnen Werkzeugen integrierten Sensorik überwacht. Das System zeichnet sich durch das Aufteilen der einzelnen Funktionen und Aufgaben des Überwa-

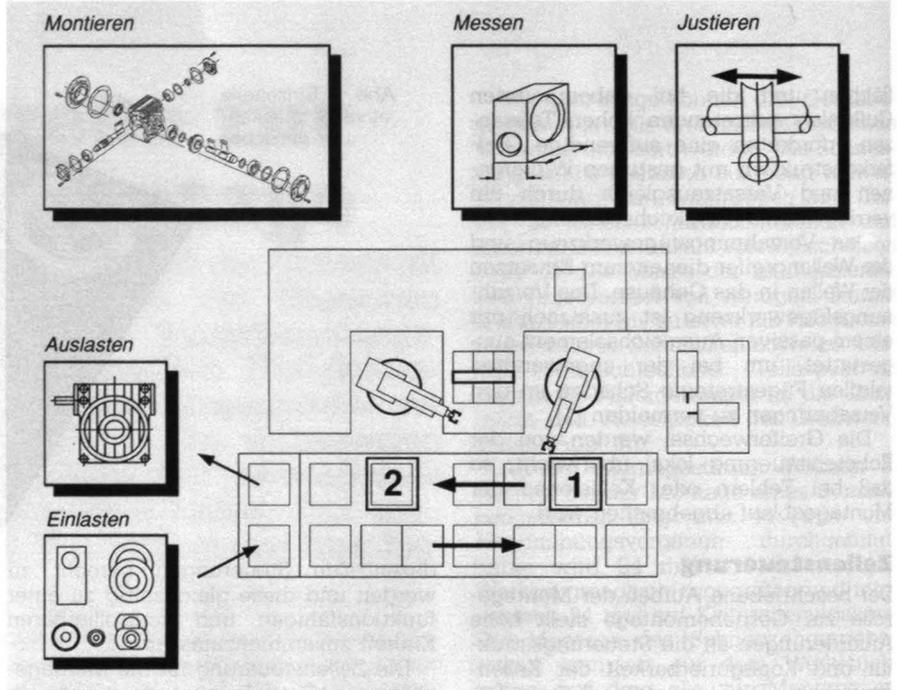


Abb. 3: Schematische Darstellung des Layouts und der Teilfunktionen der Montagezelle

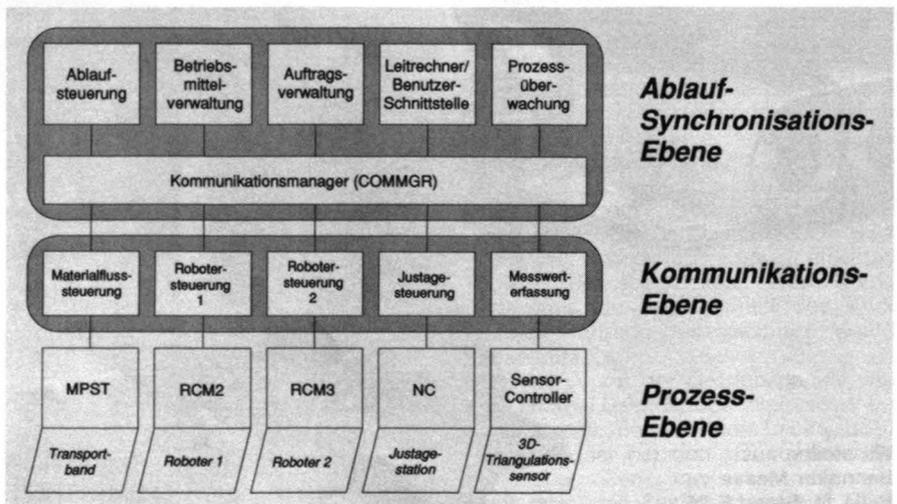
chungssystems auf verschiedene und eigenständige Funktionsmodule (Abb. 5) aus und erfüllt die wesentlichsten Anforderungen aus der flexiblen Montage, die Konfigurierbarkeit auf unterschiedliche Montageprozesse, die einfache Erweiterbarkeit und die einfache Integration in das Montagesystem und dessen Steuerung.

Die Aufgaben des Überwachungsleitstandes sind im wesentlichen die Verwaltung der einzelnen Einheiten, der Informationsaustausch mit der Zellensteuerung und der Prozeßüberwachungsdatenbank sowie die Darstellung der Prozeßdaten. In der Prozeßüberwachungsdatenbank sind für alle Montageprozesse die Konfigurations- und Parameterdaten der Überwachungseinheiten abgelegt, in der Ergebnisdatenbank sind alle Ergebnismeldungen und deren erforderlichen Reaktionen hinterlegt.

Die wesentlichste Komponente des Überwachungssystems ist die Überwachungseinheit. Ihre Hauptaufgabe ist

neben dem Erfassen der Meßdaten, das Vergleichen mit Referenzdaten und das Bewerten des aktuellen Prozeßzustandes und gegebenenfalls das Reagieren und Melden. Ausgehend von diesem allgemeinen Ablauf wurden die für die Montage besonderen Aufgaben des Überwachungsablaufmoduls in Funktionsbereiche gruppiert und für diese einzelne Module erstellt. Zur Anpassung der Überwachung an die verschiedenen Prozesse werden die Möglichkeiten der Konfiguration und der Parametrierung genutzt. Die Konfiguration umfaßt das Einstellen auf Anzahl der Meßkanäle, Vorverarbeitungs- und Überwachungsfunktionen sowie die Auswahl der weiteren Bearbeitungsfunktionen. Sie ermöglicht die gezielte, sehr spezifische Anpassung der Überwachung an

Abb. 4: Ebenen und Bausteine der Montagezellensteuerung



eine gegebene Aufgabenstellung. Die Parametrierung beinhaltet das Versorgen der Funktionen mit gültigen Werten und ermöglicht das einfache Anpassen universell einsetzbarer Funktionen.

Der Überwachungsleitstand erhält von der Zellensteuerung den Überwachungsauftrag für eine bestimmte Überwachungseinheit mit den Montagesollvorgaben. Von der Datenbank werden hierfür die Konfigurationsdaten angefordert und an die Überwachungseinheit übertragen. Nach dem zurückgemeldeten Konfigurationsergebnis erteilt die Zellensteuerung dem Roboter die Freigabe zur Montage und der Überwachungseinheit zur Überwachung. Das Montageergebnis und die Prozeßdaten werden nach Prozeßende an den Überwachungsleitstand übertragen und, nach Aufforderung, wird das Ergebnis an die Zellensteuerung weitergeleitet.

Die Vorteile, die sich aus dieser Struktur des Überwachungssystems und der Verbindung der Einzelkomponenten durch ein leistungsfähiges Kommunikationssystem ergeben, sind die vereinfachte Einbindung der Überwachungssysteme in die gesamte Steuerungsarchitektur und die einfache Erweiterung aufgrund definierter Schnittstellen und der geringen Schnittstellenanzahl.

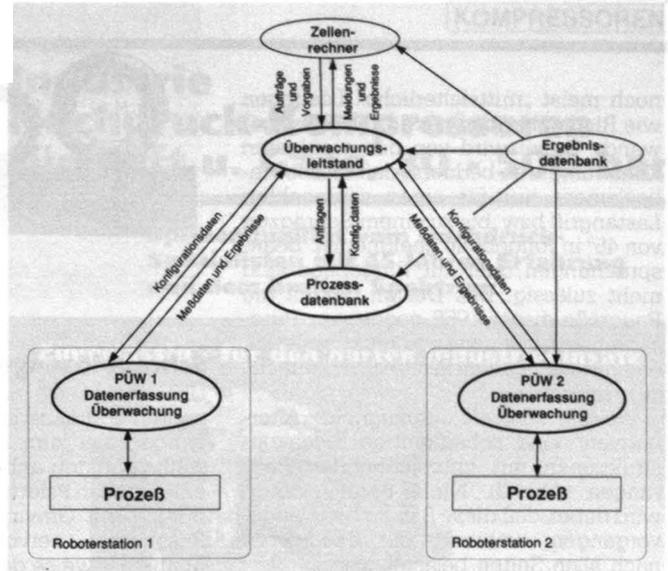
## Zusammenfassung

Die flexible, automatisierte Montage von Schneckengetrieben stellt hohe Anforderungen an die Flexibilität und Zuverlässigkeit der eingesetzten Betriebsmittel. Die hohe Komplexität der Schneckengetriebe und die hohe Variantenvielfalt erfordern den Einsatz flexibler und multifunktionaler Greifwerkzeuge, bzw. Werkzeugsysteme [4]. Nicht montagegerecht konstruierte Werkstücke und unzugängliche Fügstellen stellen dabei den Planer und Entwickler von Greifwerkzeugen vor ein Konstruktionsdilemma, da einerseits hochflexible Lösungen gefordert werden, andererseits eine wirtschaftliche Umsetzung nicht mehr sinnvoll möglich ist.

Für die Integration unterschiedlicher Steuerungs- und Sensortechnik werden flexible, ausbaubare Steuerungsstrukturen benötigt. Die entwickelte modulare Zellensteuerung ist durch eine hardware-unabhängige Kommunikationsplattform ohne großen Programmieraufwand konfigurierbar und erweiterbar. Durch den Einsatz der speziell für die Steuerung von Montageabläufen entwickelten Programmiersprache CLAC wird der gut strukturierte und übersichtliche Aufbau der Zellensteuerung unterstützt.

Die Zuverlässigkeit und Produktivität der Montagezelle zur Getriebemontage wird durch zusätzliche Sensorik und Montageablaufoptimierung weiter verbessert. Zugleich werden die eingesetzten Komponenten hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit untersucht und optimiert, um den wirtschaftlichen Einsatz

Abb. 5: Konzept eines Überwachungssystems für die flexible Montage (Bildnachweis: IFW)



flexibler Montagekomponenten auch bei komplexen Produkten zu ermöglichen.

## Literatur

- [1] Willmer, R., Eichendorf, A., Wieland, P.: Flexible Montage von Schneckengetrieben. dima 3/92, S. 33–38.
- [2] Heisel, U., Roth, G.: Flexible Montage von Getriebebaugruppen im Maschi-

nenbau. dima 10/91, S. 48–52.

- [3] VDMA: Steuerung von Montagezellen – Leitfaden zur praxisorientierten Gestaltung. Arbeitsgemeinschaft Prozeßperipherie, 1990.
- [4] Willmer, R.: Multifunktionale Greifwerkzeuge für die flexible Montage. In: Tagungsband Fertigungstechnisches Kolloquium Stuttgart, 1991.