

Heft 104

A. Traut, T. Geib, A.-W. Scheer

**Sichtgeführter Montagevorgang
- Planung, Realisierung, Prozeßmodell -**

Juni 1993

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
1.1. Montagetechnik und Bildverarbeitung	2
1.2. Systemkomponenten eines Roboters	3
2. Fertigungsstrecke im CIM-Technologie-Transfer-Zentrum Saarbrücken	4
2.1. Demonstrationsfabrik des CIM-TTZ Saarbrücken	4
2.1.1. Das zu fertigende Produkt: Eine Schreibtisch-Quarz-Uhr	5
2.1.2. Fertigungsablauf	6
2.2. Roboter-Montagezelle	7
2.2.1. Komponenten des Gesamtsystems	7
2.2.2. Komponenten des Bildverarbeitungssystems	8
3. Kopplung des Bildverarbeitungssystems an die Roboter-Montagezelle	9
3.1. Kommunikation	9
3.1.1. Schnittstelle Robotersteuerung - Bildverarbeitungssystem	9
3.1.2. Aktivieren der Prüfprogramme	9
3.2. Prüfprogramme zur Teileidentifikation	10
3.2.1. Prinzipielle Struktur der Prüfprogramme	10
3.2.2. Prüfprogramme für die Teile 1 bis 5	12
3.2.3. Prüfprogramme für die Teile 6 und 7	14
3.2.4. Ergebnis eines Prüfvorganges	17
4. Prozeßmodell des sichtgeführten Montagevorganges	18
4.1. Begriffe und Definitionen	18
4.2. Grobes Prozeßmodell der Fertigungsstrecke	18
4.3. Detailliertes Prozeßmodell des Montagevorganges	20
5. Zusammenfassung	29
Literaturverzeichnis	30

1. Einleitung

1.1. Montagetechnik und Bildverarbeitung

Die industrielle Produktion erfährt eine ständige Erhöhung ihres Automatisierungsgrades. Insbesondere wird dem durchgängigen produktbegleitenden Informationsfluß von der Planung und der Konstruktion über die Fertigung und Montage bis hin zur Auslieferung an den Kunden eine steigende Bedeutung zugemessen, um eine kostengünstige und qualitätsgerechte Herstellung des Produktes zu gewährleisten. Diese Aspekte finden eine weitgehende Realisierung im CIM-Konzept (Computer Integrated Manufacturing) ¹.

Eine modellhafte Verwirklichung des CIM-Konzeptes stellt die Demonstrationsanlage im CIM-Technologie-Transfer-Zentrum Saarbrücken (CIM-TTZ) dar, wo eine aus mehreren Einzelteilen zusammengesetzte Schreibtisch-Quarz-Uhr gefertigt wird.

Der Montagevorgang dieser Uhr war bisher dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelteile an fest vorgegebenen Stellen liegen mußten, damit sie vom Roboter gegriffen und zu dem Endprodukt "Schreibtisch-Quarz-Uhr" zusammengesetzt werden konnten. Für diesen Bereich der Endmontage in der Roboter montageszelle wird eine weiterführende Automatisierung mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems vorgenommen.

Ziel ist die automatische Identifikation und das Erfassen der Koordinaten aller Teile, die sich auf dem ankommenden Werkstückträger befinden, sowie eine Überprüfung auf Kollisionsfreiheit zwischen Greifer und anderen Teilen während des Montagevorganges. Die ermittelten Positionen und Drehlagen der Teile, die als Koordinaten des Bildverarbeitungssystems vorliegen, müssen nach Überführung in die Robotersteuerung in Koordinatenwerte des Robotersystems transformiert werden. Diese Informationen dienen als Grundlage für die Generierung des Bewegungsablaufs für den Roboterarm während des Montagevorganges.

Die Integration des Bildverarbeitungssystems in die Roboter montageszelle beinhaltet neben der Realisierung der Schnittstelle Robotersteuerung-Bildverarbeitungssystem das Erstellen sowohl der Bildverarbeitungs-Prüfprogramme als auch der Programme der Robotersteuerung unter Berücksichtigung der angrenzenden Systeme (Speicherprogrammierbare Steuerung, mobiler Datenträger und Fördersystem). Parallel zu der Erstellung der Programme wird ein Prozeßmodell erstellt, das die zeitlich logischen Beziehungen aller Vorgänge innerhalb der Roboter montageszelle darstellt.

¹ Vgl. Scheer, A.-W.: CIM - Der computergesteuerte Industriebetrieb, 4. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin et al., 1990, S.2

1.2. Systemkomponenten eines Roboters

Ein Robotersystem setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen (vgl. Abb. 1). In der Regel wird stellvertretend für das Gesamtsystem lediglich die Roboterkinematik dargestellt, die auch als Roboterarm oder einfach als Roboter bezeichnet wird. Diese Systemkomponente besteht aus dem Sockel, den Roboterarmen und -gelenken sowie den Antrieben, den Meßwertgebern und anderen mechanischen und elektrischen oder elektronischen Bauteilen, die zum Verändern der Werkstücklage notwendig sind.

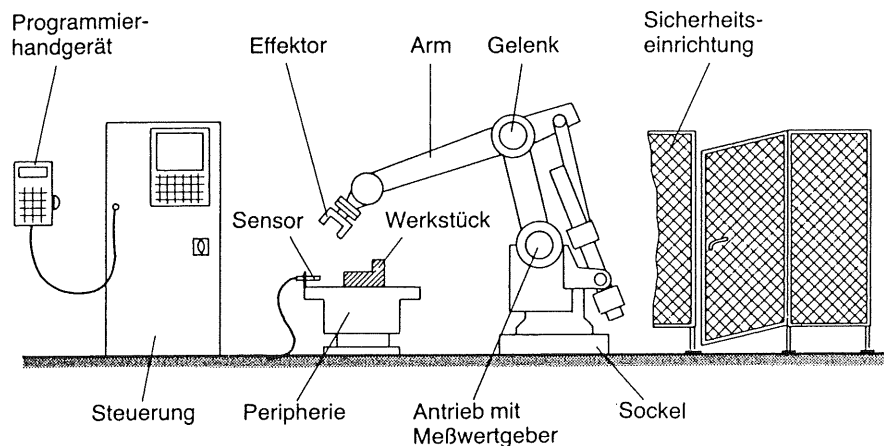


Abbildung 1: Komponenten eines Robotersystems ²

Direkt an das letzte Glied der Roboterkinematik ist der Effektor angeschlossen, der die eigentliche Handhabungsaufgabe durchführt. In der Regel können verschiedene Effektoren je nach Aufgabenstellung montiert werden. Die Steuerung der Roboterkinematik erfolgt durch einen Steuerrechner, in dem verschiedenste Aufgaben gelöst werden müssen. Zum einen muß die Planung der durchzuführenden Roboterbewegungen erfolgen, die durch Regelstrukturen in Bewegungen der einzelnen Achsen umgesetzt werden, zum anderen muß die Interaktion mit dem Benutzer, den angeschlossenen Peripheriegeräten und dem eventuell vorhandenen übergeordneten Rechner abgearbeitet werden. An die meisten Robotersteuerungen ist ein Programmierhandgerät, auch Handbediengerät genannt, angeschlossen, das die Programmierung wesentlich vereinfachen kann.

Je nach Ausbaustufe des Robotersystems können verschiedene Sensoren angeschlossen werden, die durch die kostengünstige Nachbildung der sensorischen Fähigkeiten des Menschen eine flexiblere Materialbereitstellung gewährleisten können. Die Spannweite solcher Sensoren reicht von einfachen Binärsignalgebern bis zum Kraft-Momenten-Sensor oder komplexen Bildverarbeitungssystem. Letzteres bildet das Thema dieser Arbeit.

Neben den oben genannten Hardwarekomponenten benötigt jedes Robotersystem eine Betriebssystemsoftware, die die Programmierung des Systems und die Verarbeitung der eintreffenden Signale ermöglicht. Die Programmiermöglichkeiten können dabei durchaus dem Standard höherer Programmiersprachen wie PASCAL, FORTRAN oder C nahe kommen. Auf Grund der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Roboter existieren derzeit fast 300 verschiedene Roboterprogrammiersprachen ³.

² Naval, M.: Roboter Praxis, Weinheim, 1989, S. 19-21

³ Abeln, O.: Die CA...-Techniken in der industriellen Praxis, München, Wien, 1990, S. 351

2. Fertigungsstrecke im CIM-Technologie-Transfer-Zentrum Saarbrücken

2.1. Demonstrationsfabrik des CIM-TTZ Saarbrücken

Im Rahmen des BMFT-Förderprogramms "Fertigungstechnik 1988 - 1992" wurde an mehreren Hochschulen der Bundesrepublik Deutschland der Aufbau von CIM-Technologie-Transfer-Zentren (CIM-TTZ) finanziert. Das Institut für Wirtschaftsinformatik (IWi) der Universität des Saarlandes zeichnet verantwortlich für den Aufbau und Betrieb des CIM-TTZ Saarbrücken. Hier wurde der Prototyp einer automatisierten Fabrik realisiert, die die Umsetzung des Y-CIM-Modells von Scheer demonstrieren soll (vgl. Abb. 2).

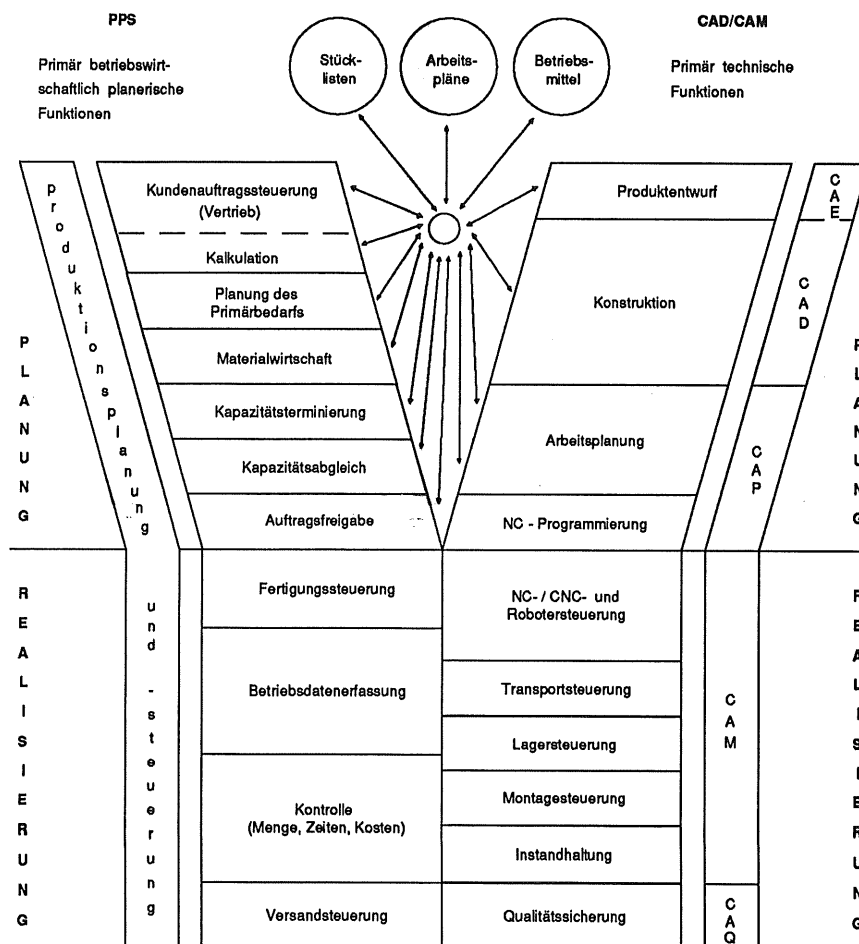


Abbildung 2: Informationssysteme im Industriebetrieb ⁴

⁴ Vgl. Scheer, A.-W.: CIM - Der computergesteuerte Industriebetrieb, 4. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin et al., 1990, S.2

Unter Computer Integrated Manufacturing (CIM) wird die integrierte Informationsverarbeitung sowohl für betriebswirtschaftliche als auch für technische Aufgaben eines Industriebetriebes verstanden. Dabei werden die primär betriebswirtschaftlichen Funktionen über Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung (PPS-Systeme) abgewickelt, während die primär technischen Aufgaben mit Hilfe der verschiedenen CA-Techniken bewältigt werden .

Bevor im folgenden die Fertigungsstrecke sowie im speziellen die RoboterMontagezelle und das zu integrierende Bildverarbeitungssystem näher beschrieben werden, soll zunächst das zu fertigende Produkt vorgestellt werden.

2.1.1. Das zu fertigende Produkt: Eine Schreibtisch-Quarz-Uhr

Die komplette Schreibtisch-Quarz-Uhr setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen, denen aus programmtechnischen Gründen Teilenummern zugeordnet werden (Abbildung 3):

- eine Grundplatte (mit oder ohne Monogramm) (Teil 8),
- eine Digital-Quarz-Uhr (Teil 6),
- ein Logo-Baustein (Teil 7),
- ein Zylinder (Teil 5),
- zwei Rechtecke (Teile 1 u. 2),
- zwei Rauten (Teile 3 u. 4).

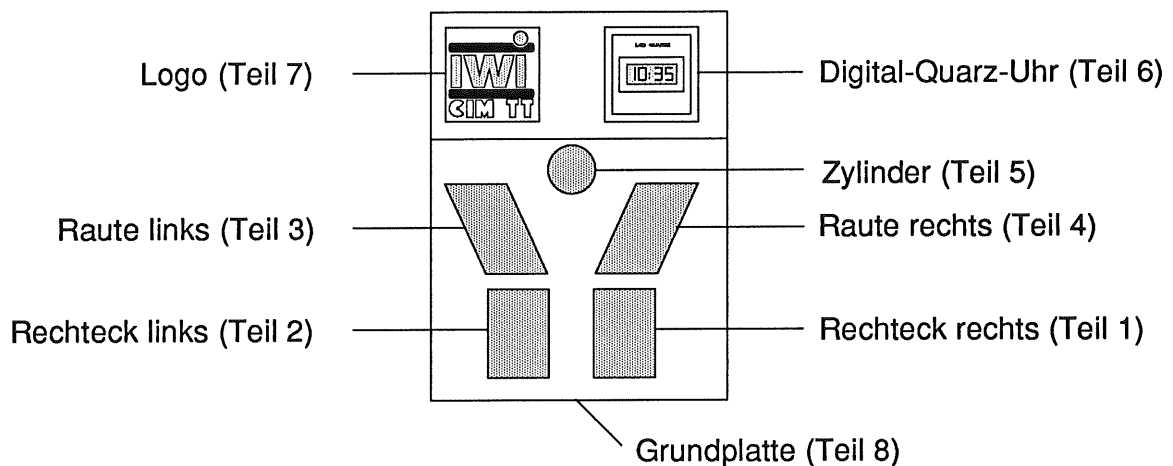


Abbildung 3: Die Bestandteile der zu fertigenden Schreibtischuhr mit ihren zugeordneten Teilenummern

Ein "Kunde" kann unter fünf verschiedenen Varianten der Schreibtischuhr auswählen, jeweils mit oder ohne Monogramm in der rechten unteren Ecke der Grundplatte. Die möglichen Varianten, die sich jeweils aus der Anzahl der gewünschten Einpaßteile ergeben, sind in Abbildung 4 zusammengestellt. Die Uhr und der Logo-Baustein (Teile 6 und 7) sind Bestandteil jeder Variante.

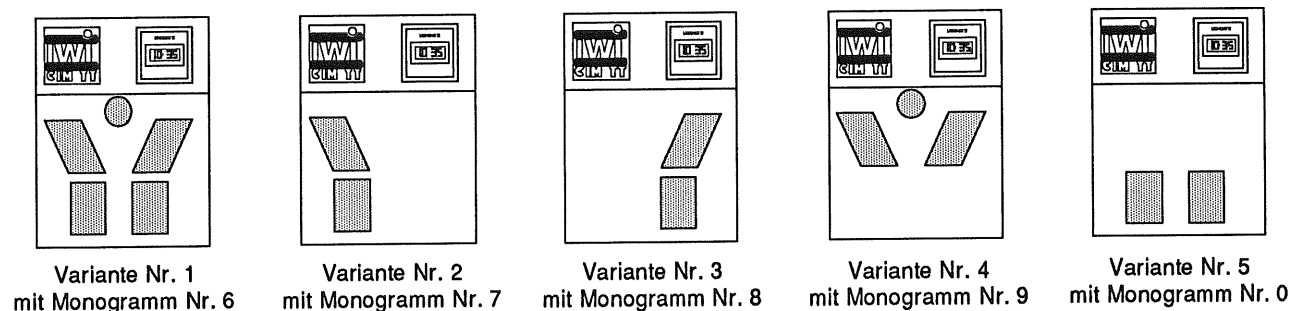


Abbildung 4: Varianten der Schreibtischuhr

2.1.2. Fertigungsablauf

Im folgenden wird der Bereich der Robotermontagezelle näher beschrieben⁵, wo der Ablauf der einzelnen Arbeitsschritte bisher folgender war:

Durch die Ankunft des Werkstückträgers an der Schreib-Lese-Station wird ein Eingang der SPS-Steuerung auf "1" gesetzt, worauf das in der Robotersteuerung bereits aktivierte Programm gewartet hat. Dieses ruft als nächstes die Variantenummer ab, die über die Schreib-Lese-Station an bestimmte Eingänge der angeschlossenen SPS-Steuerung weitergegeben wurde. Das Programm, das in der Steuerung des Montageroboters Bosch Turbo-SCARA SR 800 abläuft, hat die Aufgabe, den Montagevorgang der Fertigteile in die vorgesehenen Aussparungen in der Grundplatte durchzuführen. Nacheinander werden die Bewegungen zum Greifen der Teile und anschließenden Ablegen auf der Grundplatte ausgeführt.

Die vom Roboter anzufahrenden Punkte, die durch ihre kartesischen Raumkoordinaten und durch die Drehlage des Greifers zu definieren sind, waren fest vorgegeben und wurden bei der Erstellung des Programmes off-line eingeteacht. Die Koordinaten der Teile auf dem Werkstückträger sowie die Koordinaten der neuen Plätze auf der Grundplatte mußten daher vorher genau bekannt sein. Damit der Scararoboter, der bestens für vertikal durchzuführende und präzise Montagevorgänge geeignet ist, jedes Teil richtig greifen und genau ablegen kann, ist es besonders wichtig, daß die Koordinaten der Teile als auch die Koordinaten der Plätze auf der Grundplatte sehr genau eingelernt wurden und daß bei jedem erneuten Montagevorgang diesbezüglich keine Abweichungen auftreten. Die enorme Positionier- und Drehlagenungenauigkeit der Kommissionierroboter, die sich in Bereichen von +/- 1 cm und +/- 10 Grad bewegt, wurde bisher dadurch ausgeglichen, daß die auf die Grundplatte zu montierenden Fertigteile mit Hilfe zahlreicher Zentrierstifte eine genau vorgegebene Lage einnehmen konnten.

Nach Beendigung des Montagevorganges setzt das Programm einen dafür vorgesehenen SPS-Ausgang auf "1", was das Entriegeln des Werkstückträgers an dieser Station zur Folge hat. Am anschließenden Handarbeitsplatz wird das fertige Produkt auf Vollzähligkeit begutachtet und ins Warenausgangslager überführt.

⁵ Eine genaue Beschreibung des gesamten Fertigungsablaufes und der einzelnen Komponenten der Anlage findet man in Hoffmann, W., Nüttgens, M., Scheer, A.-W., Scholz, S.: Das Integrationskonzept am CIM-TTZ Saarbrücken (Teil 1: Produktionsplanung). In Scheer, A.-W. (Hrsg.): Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 85, Saarbrücken 1991

2.2. Roboter-Montagezelle

2.2.1. Komponenten des Gesamtsystems

Das Gesamtsystem der Montagezelle mit den Schnittstellen zu den benachbarten Komponenten ist in Abbildung 5 dargestellt. Kern ist das Robotersystem RS 82, in dem ein Bosch Turbo-SCARA SR 800 zur Anwendung kommt. Hier ist auch das anzukoppelnde Bildverarbeitungssystem eingezeichnet.

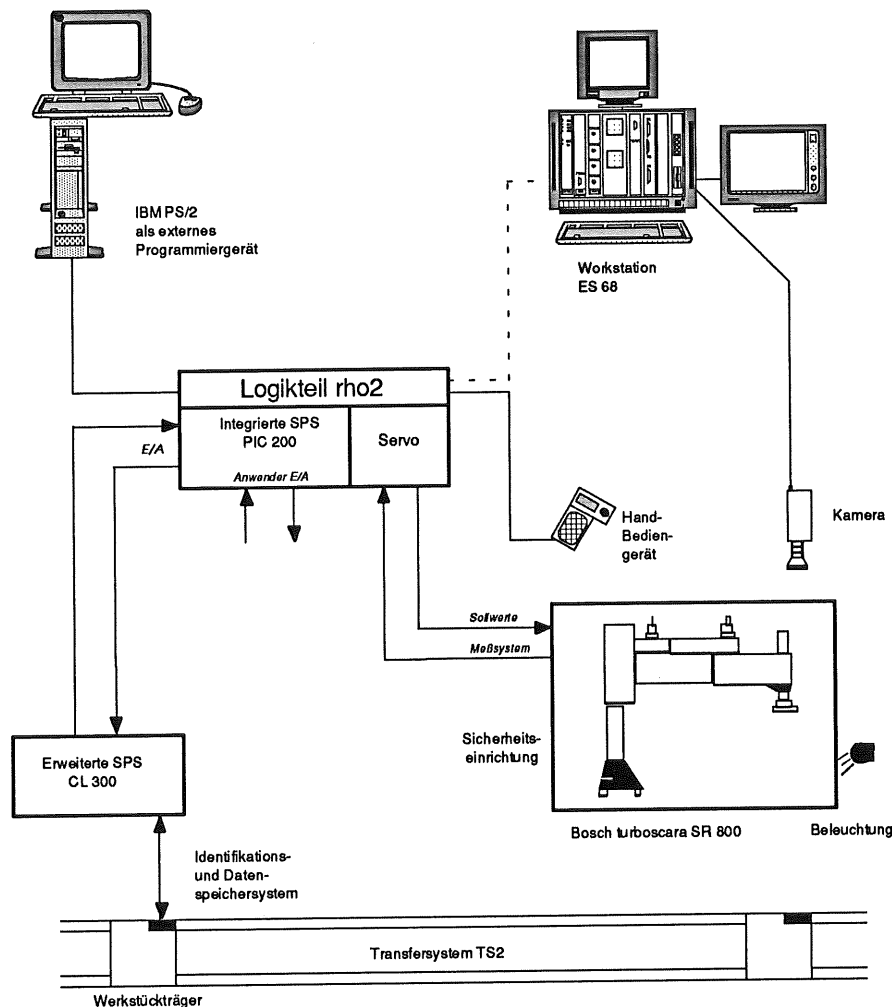


Abbildung 5: Konfiguration des Gesamtsystems und Systemkomponenten ⁶

Die Interaktion zwischen Robotersystem und Benutzer erfolgt durch einen übergeordneten Personalcomputer IBM PS/2, der über eine RS 232-Schnittstelle an das Logikteil rho2 angeschlossen ist. Einerseits dient dieser PC als direkte Ein- und Ausgabeeinheit, z.B. bei der Online-Programmierung oder der Befehlseingabe, und andererseits kann er als externes Programmiersystem benutzt werden, mit dessen Editor Programme off-line auf komfortable Weise erstellt werden können. Des weiteren ist ein Handbediengerät an das Logikteil angeschlossen, mit dem die Bewegungen der einzelnen Roboterachsen veranlaßt werden können.

⁶ in Anlehnung an Robert Bosch GmbH: Handbuch Robotersteuerung Bosch rho2, Ausgabe 7/88, Nr. 3918, Erbach, 1989

Ein Greiferwechselsystem erlaubt einen flexiblen und automatischen Anschluß von zwei Greifern, die speziell im Hinblick auf die zu montierenden Teile mit verschiedenen großen Parallelbacken ausgelegt sind. Das Greiferwechselmagazin kann einerseits beliebig erweitert werden, andererseits können die verschiedenen Greifer ohne weiteres durch andere Handhabungswerkzeuge ersetzt werden. Diese Erweiterungsoption erhöht neben der Verfügbarkeit der Roboterstation auch die Typen- und Variantenflexibilität. Der Arbeitsinhalt der Montagestation kann erweitert werden und die Stillstandzeiten werden durch automatisches Umrüsten minimiert ⁷.

2.2.2. Komponenten des Bildverarbeitungssystems

Den Kern des Bildverarbeitungssystems "ES-VISION" der Firma Engel & Stiefvater, Karlsruhe, bildet die Workstation ES 68, die unter dem Betriebssystem OS-9 verwaltet wird und die damit als Multitasking- und Multiusersystem ausgelegt ist. Die CPU basiert auf einem 68000-Mikroprozessor (12 MHz) von Motorola, der eine Rechenleistung von 8 MIPS aufweist.

Das Grundgerüst des Bildverarbeitungssystems setzt sich aus drei miteinander gekoppelten Busstrukturen zusammen (vgl. Abb. 6):

- Bildbus,
- Bildspeicherbus ,
- VME-Bus.

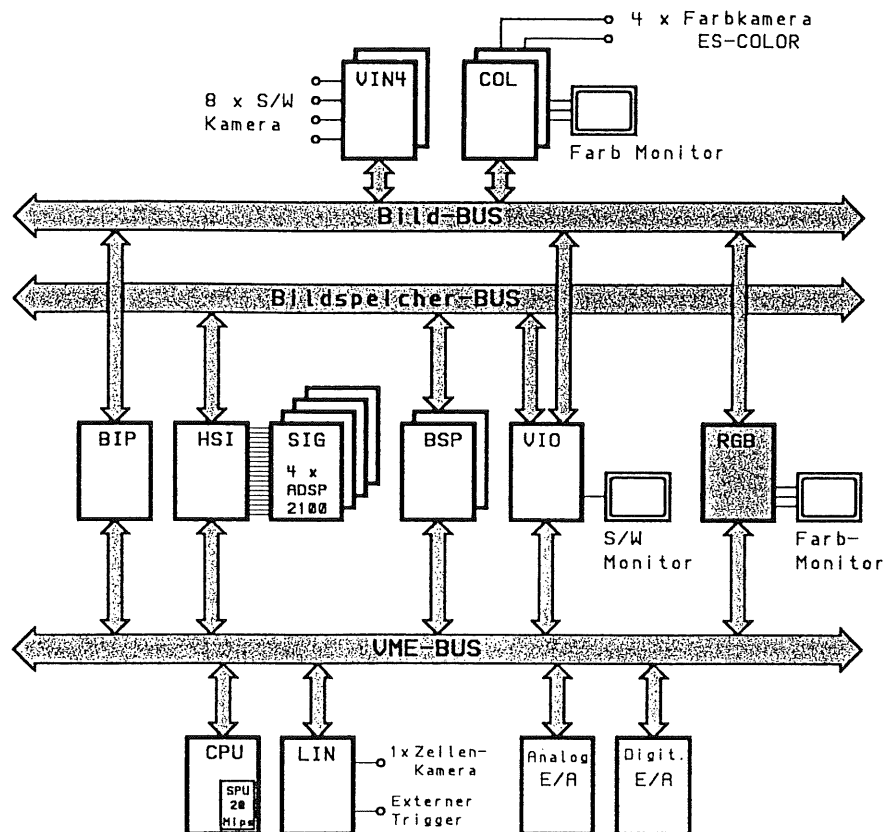


Abbildung 6: Konfiguration des Bildverarbeitungssystems ES-Vision ⁸

⁷ Eine ausführliche Diskussion hierzu ist zu finden in: Robert Bosch GmbH: Wenig Zeit für den Wechsel, ROBOTERtechnik (1990), S. 60-61

⁸ in Anlehnung an: Produktbeschreibung Engel&Stiefvater GmbH, Karlsruhe

3. Kopplung des Bildverarbeitungssystems an die Roboter-Montagezelle

3.1. Kommunikation

3.1.1. Schnittstelle Robotersteuerung - Bildverarbeitungssystem

Die zu koppelnden Komponenten verfügten über keine gemeinsame Schnittstelle, die den direkten Datenaustausch erlaubte. Während das Bildverarbeitungssystem auf seiner CPU-Baugruppe eine genormte serielle V.24-Schnittstellen besitzt, die physikalisch als eine RS 232-C-Schnittstelle ausgelegt ist, war die einzige freie Schnittstelle der Robotersteuerung vom TTY-Typ (Tele-Type, current loop interface).

Durch die Umrüstung des Roboterbetriebssystems von der Version 10 auf die neueste Version 12 wurde eine zusätzliche V.24-Schnittstelle zur Verfügung gestellt.

Zur Kontrolle der Datenübertragung wird ein Software-Handshake-Verfahren verwendet. Hierbei überprüft ein Übertragungsgerät sein Partnersystem durch das vereinbarte Protokoll, bei dem vorgegebene Steuerzeichen in den seriellen Bitstrom eingebettet werden. Die Länge der Datenpakete hängt von der Pufferkapazität des jeweiligen Empfängers ab, damit es zu keinem Überlauf des Empfängerpuffers kommt. Von Seiten der Robotersteuerung ist die Anzahl der maximal übertragbaren Zeichen auf 128 in beide Richtungen begrenzt⁹. Eine strengere Eingrenzung ist durch das Bildverarbeitungssystem vorgesehen, das im Automatikbetrieb über die RS 232-C-Schnittstelle nur solche Datenpakete als Befehl akzeptiert, die sich aus höchstens fünf ASCII-Zeichen zusammensetzen; die Maximallänge ist abhängig vom jeweiligen Kommando und den möglichen Parametern. Auf die Beschreibung dieser speziellen Kommandos wird im folgenden Abschnitt eingegangen. An die Robotersteuerung können nur Zahlenwerte in Floating-Point-Darstellung übertragen werden.

Die gesamte Kommunikation wird von der Robotersteuerung bestimmt, so daß ihr in der Beziehung zwischen beiden Systemen die Rolle des "Master" und dem Bildverarbeitungssystem die Rolle des "Slave" zuzuordnen ist. Solange das Bildverarbeitungssystem nicht durch die Ausführung eines Kommandos aktiviert ist, zeigt es im Automatikbetrieb stets seine Empfangsbereitschaft an. Sämtliche Anweisungen an das Bildverarbeitungssystem zum Aufruf eines Prüfprogramms und zum Bereitstellen von Koordinatenwerten an der Schnittstelle werden in einem BAPS-Programm gegeben. Beim Kommunikationsvorgang bestimmt die Robotersteuerung als "Master" jederzeit, welches der beiden Systeme als Sender und welches als Empfänger fungiert.

3.1.2. Aktivieren der Prüfprogramme

Die Kommandos zum Aufruf der Bildverarbeitungsroutinen im Automatikbetrieb verlangen folgende Syntax: Eine ASCII-Zeichenkette, die aus maximal fünf Zeichen besteht, ist eingebettet

⁹ Vgl. Robert Bosch GmbH: Handbuch Robotersteuerung Bosch rho2, Ausgabe 7/88, Nr. 3918, Erbach, 1989

in das Übertragungsprotokoll. Das erste ASCII-Zeichen stellt das Kommando dar, z.B. wird durch <M> ein Meßvorgang eingeleitet. Die folgenden vier ASCII-Zeichen stellen Parameter dar, die die Kamera auswählen und ein eingelerntes Prüfprogramm selektieren. Da im vorliegenden Fall nur das Bild einer Kamera ausgewertet werden soll, und diese an der "cam0"-Buchse des Videointerfaces angeschlossen ist, ist für das zweite ASCII-Zeichen (Parameter1) stets <0> zu wählen. Die letzten drei ASCII-Zeichen stehen für die Prüfprogrammnummer, die mit der dreistelligen Teilenummer identisch ist (Parameter2); führende Nullen müssen aufgeführt werden. Die Teilenummern, die den zu montierenden Teilen zugeordnet sind, sind in Abbildung 3 zu ersehen. Damit hat eine empfangene Befehlssequenz prinzipiell folgenden Aufbau:

<SOH> <STX> <Kommando> <Parameter1> <Parameter2> <ETX>

Der Umfang der zur Verfügung stehenden Kommandos ist zwar nicht umfangreich, doch reicht er völlig aus, um a-priori eingelernte Prüftypen mit Hilfe der Bildverarbeitungsroutinen zu suchen und bei Erfolg deren Koordinaten der Robotersteuerung zu übergeben. Mögliche Kommandos sind:

- <R> = Realbild,
- <H> = Auf Handbetrieb umschalten,
- <M> = Messen des Bildfeldes,
- <D> = Dateninformation über Schnittstelle ausgeben,
- <E> = Errorkommando.

Erhält das Bildverarbeitungssystem im Automatikbetrieb den Befehl <R>, so wird auf dem Monitor das aktuelle Realbild der angegebenen Kamera ausgegeben. Wird der Handbetriebsbefehl <H> erkannt oder wird eine beliebige Taste an der Tastatur gedrückt, geht das Bildverarbeitungssystem vom Automatik- in den Handbetrieb über. Der Wechsel zurück in den Automatikbetrieb ist über die ESC-Taste möglich. Bei den Befehlen <M> und <D> handelt es sich um Befehle zum Ausführen eines Prüfprogrammes und zur Bereitstellung der ermittelten Koordinaten an der Schnittstelle zur Robotersteuerung. Tritt ein Fehler bei einem der kommunizierenden Partner auf, wird dieser durch das Errorkommando mitgeteilt. Die Robotersteuerung meldet daraufhin stets einen Schnittstellenfehler am Handbediengerät und wird in den Not-Aus-Status versetzt.

3.2. Prüfprogramme zur Teileidentifikation

3.2.1. Prinzipielle Struktur der Prüfprogramme

Sämtliche Prüfprogramme besitzen prinzipiell die in Abbildung 7 dargestellte Struktur. Nach der Aufnahme des aktuellen Bildes der Teileanordnung auf dem Werkstückträger wird zur Verdeutlichung für den Beobachter der Name des ablaufenden Prüfprogramms in der rechten unteren Ecke des Monitorbildes eingeblendet. Während die weiteren Befehle eines Prüfprogrammes ausgeführt werden, wird ihre Arbeit am vorher aufgenommenen Prüfbild visualisiert. Z.B. wird die Stelle des ermittelten Flächenschwerpunktes eines Teiles mit einem roten Kreuz markiert.

Im nächsten Schritt werden die x- und y-Koordinaten des zu identifizierenden Teiles bestimmt, die seinem Flächenschwerpunkt entsprechen. Während für die Identifikation des Zylinders die Funktion "Flächenschwerpunkt" ausgeführt wird, wird bei allen anderen Teilen das Polarcheck-

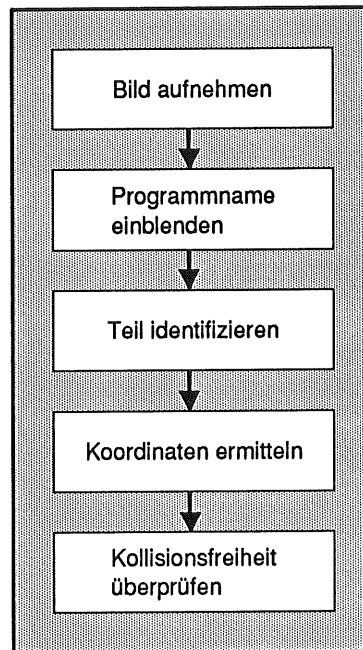


Abbildung 7: Struktureller Aufbau der Prüfprogramme

Verfahren zur Lage- und Drehlagenbestimmung angewandt. Nach der Ermittlung des Flächenschwerpunktes wird bei diesem Verfahren die Drehlage im Vergleich zum jeweils eingelernten Referenzobjekt festgestellt, dessen Lage in der Einlernphase mit der Nulldrehlage referenziert wird. Das Polarcheck-Verfahren reicht nicht aus, um ein gesuchtes Teil zu identifizieren, weil es von dem Flächeninhalt des Teiles ausgeht. Die beiden Rauten haben den gleichen Flächeninhalt, der sich von demjenigen der Rechtecke nur sehr geringfügig unterscheidet. Uhr und Logoteil weisen ebenfalls gleich große Flächen auf. Daher können auch "falsche" Teile bei diesem ersten Schritt des Prüfvorganges in Erwägung gezogen werden.

Zur genauen Identifizierung der Teile und zur Überprüfung auf kollisionsfreies Greifen durch den Roboter ist jedes Prüfprogramm um weitere Befehle ergänzt, die der Klassifizierung und Bildinterpretation dienen. Während der Lernphase wurden die Teile in Musterklassen eingeteilt, die sich durch markante Merkmale unterscheiden. Diese wurden an Referenzobjekten definiert und werden bei der Abarbeitung der Prüfprogramme im Automatikbetrieb aus der Datenbasis für A-priori-Wissen abgerufen. Eine Merkmalunterscheidung kann mit Hilfe des Polygonzug-Verfahrens getroffen werden. Bei dem Vorgang der Bildgewinnung wird das aufgenommene Grauwertmeßbild zunächst auf der Grundlage eines festgelegten Schwellwertes in ein Binärbild umgewandelt. Bestimmte Polygonzüge, die innerhalb und außerhalb der Teilefläche gelegt werden, registrieren in ihrem Verlauf die Anzahl der "Schwarz-Weiß-Übergänge", die mit Kanten des untersuchten Teiles übereinstimmen. Bei den Polygonzügen zur Überprüfung der äußeren Kontur sowie zur Feststellung der Kollisionsfreiheit für den Greifvorgang darf kein einziger "Schwarz-Weiß-Übergang" festgestellt werden, damit das überprüfte Teil als Gutteil deklariert wird. Für jeden anderen eingelernten Polygonzug wird ein Bereich zwischen Minimal- und Maximalanzahl an Kanten vorgegeben, der eingehalten werden muß, damit das überprüfte Objekt als Gutteil deklariert wird.

3.2.2. Prüfprogramme für die Teile 1 bis 5

Die Bedeutung der im folgenden benutzten Symbole, die die Visualisierung der einzelnen Schritte eines Prüfvorganges auf dem Monitor anzeigen, sind in Abbildung 8 dargestellt. Zur besseren Unterscheidung werden Polygonzüge im folgenden als gestrichelte Linien gezeichnet. Abbildung 8 zeigt die erfolgreiche Identifikation des Teiles 1. Nach der Ermittlung des Flächenschwerpunktes und der Drehlage des Rechtecks erkennt man hier, daß der Polygonzug-Test keine "Schwarz-Weiß-Übergänge" registriert. Sowohl der Polygonzug zur Identifizierung des Teiles, der die äußere Kontur des Teiles überprüft, als auch der Polygonzug zur Überprüfung der Kollisionsfreiheit werden erfolgreich durchgeführt, so daß das überprüfte Teil als Gutteil gilt.

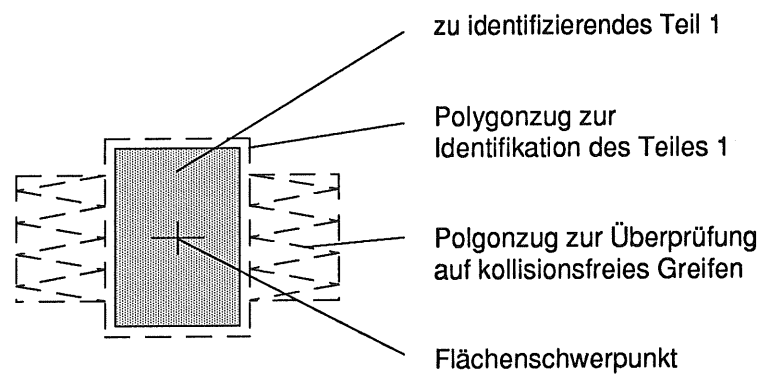


Abbildung 8: Erfolgreiche Identifikation des Rechtecks mit Hilfe des Polygonzug-Verfahrens; das Rechteck wird als Gutteil erkannt

In Abbildung 9 wird verdeutlicht, wie sich ein Hindernis - in den meisten Fällen werden dies andere auf dem Werkstückträger liegende Teile sein - in der Umgebung des Rechteckes befindet. Dieses Teil darf vom Roboter nicht gegriffen werden, da eine Kollision des Greifers mit dem Hindernis die Folge wäre. Damit ein solches Hindernis auf jeden Fall erkannt wird, durchlaufen die zur Kollisionserkennung konstruierten Polygonzüge die in Frage kommende Umgebung des Teiles in Zick-Zack-Form. Wird mindestens ein "Schwarz-Weiß-Übergang" erkannt, so wird auch in diesem Fall das überprüfte Teil als Schlechteil markiert.

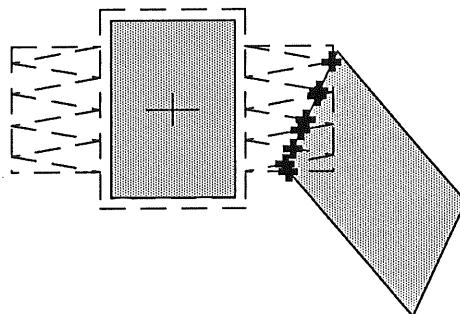


Abbildung 9: Überprüfen auf kollisionsfreies Greifen durch den Roboter mit Hilfe des Polygonzug-Verfahrens; das Rechteck wird als Schlechteil erkannt

Wird durch das Polarcheck-Verfahren ein "falsches" Teil bei dem Prüfvorgang in Erwägung gezogen, so kann dieses ebenfalls mit Hilfe der Polygonzüge ausgesondert und damit als

Schlechtteil deklariert werden. In Abbildung 10 wird dieser Sachverhalt verdeutlicht: Bei dem Identifizierungsprozeß für ein Rechteck (Teil 1 oder 2) werden die beiden Rauten (Teile 3 und 4), die auf Grund ihres Flächeninhaltes durch das Polarcheck-Verfahren fälschlicherweise als das richtige Teil in Erwägung gezogen werden können, mit Hilfe des Polygonzug-Tests als Schlechtteile erkannt, weil im Verlauf des Polygonzuges mehrere Schwarz-Weiß-Übergänge registriert werden. Alle in Frage kommenden Teile werden in dem Monitorprüfbild mit einem roten Kreuz an der Stelle des ermittelten Flächenschwerpunktes markiert.

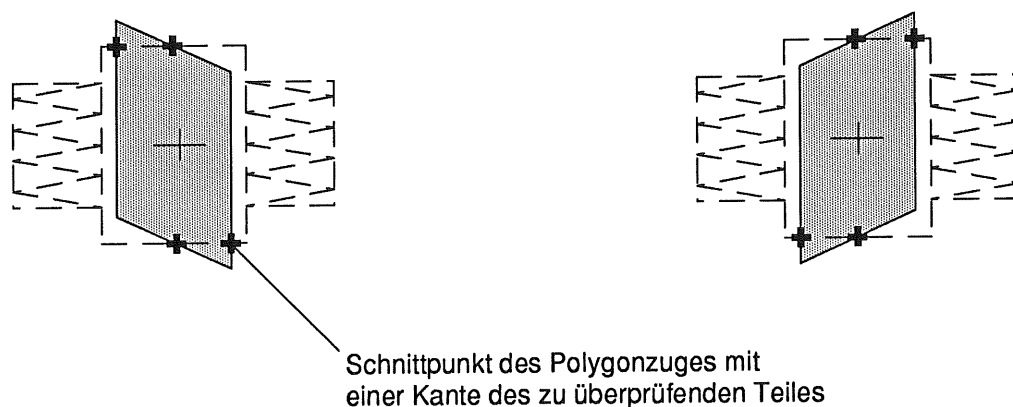


Abbildung 10: Versuch zur Identifikation des Rechtecks mit Hilfe des Polygonzug-Verfahrens; die möglichen "falschen" Teile werden als Schlechtteil erkannt

Die erfolgreiche Identifikation des Zylinders (Teil 5) und der beiden Rauten (Teile 3 und 4) ist in Abbildung 11 zu erkennen.

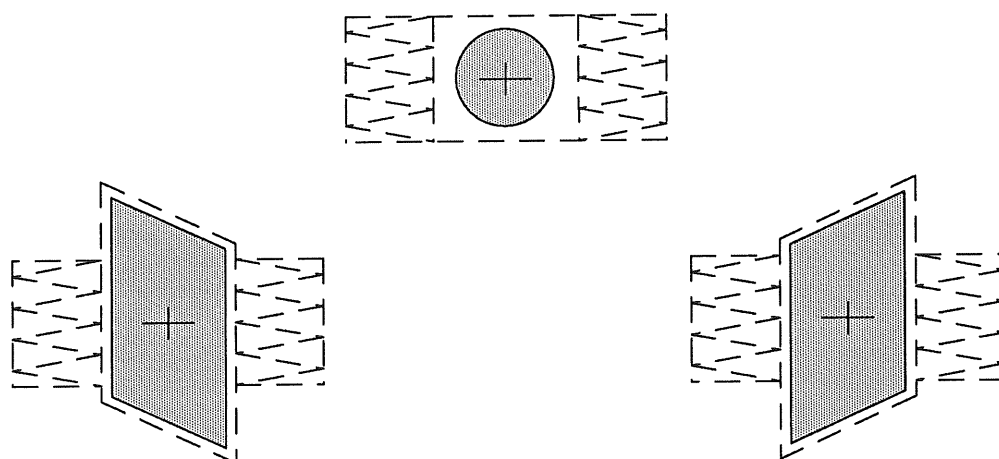


Abbildung 11: Erfolgreiche Identifikation des Zylinders und der beiden Rauten mit Hilfe des Polygonzug-Verfahrens; die Teile werden jeweils als Gutteil erkannt

Abbildung 12 demonstriert, wie ein "falscher" Teiletyp durch das Polarcheck-Verfahren erkannt wird, weil er eine ähnlich große Fläche aufweist wie das zu suchende Teil, aber mit Hilfe des Polygonzug-Verfahrens ausgesondert werden kann und als Schlechtteil gilt.

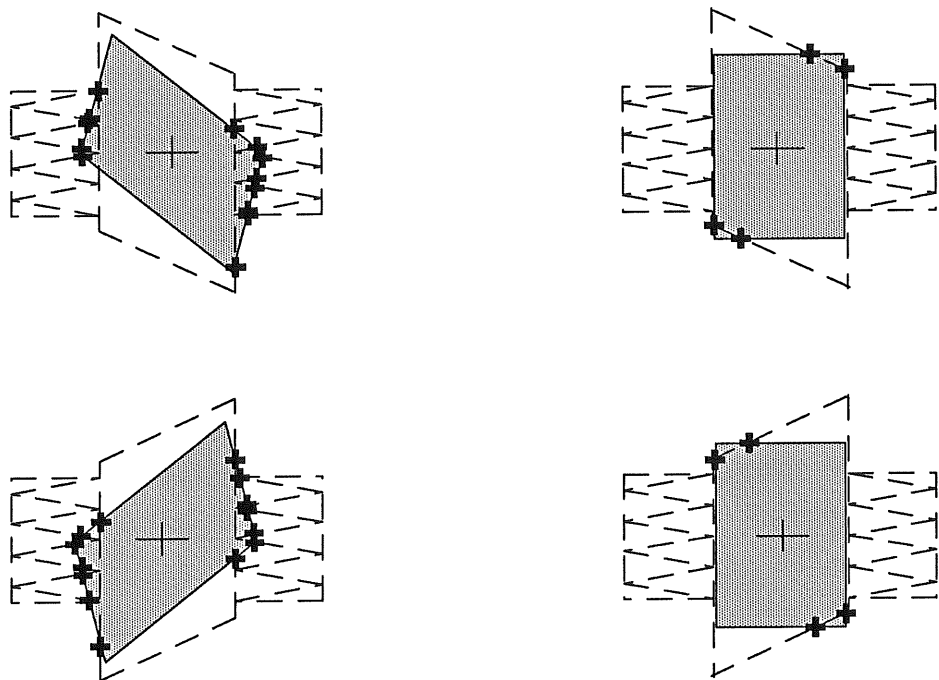


Abbildung 12: Versuch zur Identifikation der Rauten mit Hilfe des Polygonzug-Verfahrens; die möglichen "falschen" Teile werden als Schlechttteil erkannt

3.2.3. Prüfprogramme für die Teile 6 und 7

Bei den Teilen 6 und 7 (Uhr und Logoteil) werden neben den bisher besprochenen Überprüfungen zusätzliche Polygonzug-Tests durchgeführt, die der Ermittlung der korrekten Drehlage dieser Teile dienen. Im Gegensatz zu der 180° -Symmetrie der Rechtecke und Rauten besitzen die quadratischen Teile Uhr und Logoteil eine 90° -Symmetrie bezüglich ihrer äußeren Form, so daß stets eine Drehlage im Bereich zwischen 0° und 89° ermittelt wird. Mit Hilfe des Polygonzug-Verfahrens werden anschließend bestimmte charakteristische Merkmale zu erkennen versucht, so daß dadurch einerseits eine Unterscheidung zu dem anderen quadratischen Teil getroffen und andererseits auch die richtige Orientierung des in Frage kommenden Teiles erkannt werden kann. Als Erkennungsmerkmal dient bei der Uhr die leere, unbeschriftete Fläche unter dem Display, bei dem Logoteil die leere, unbeschriftete Fläche in der linken oberen Ecke sowie der Schriftzug "CIM TT". Die Polygonzüge, die diese spezifischen Merkmale überprüfen, sind in Abbildung 13 dargestellt.

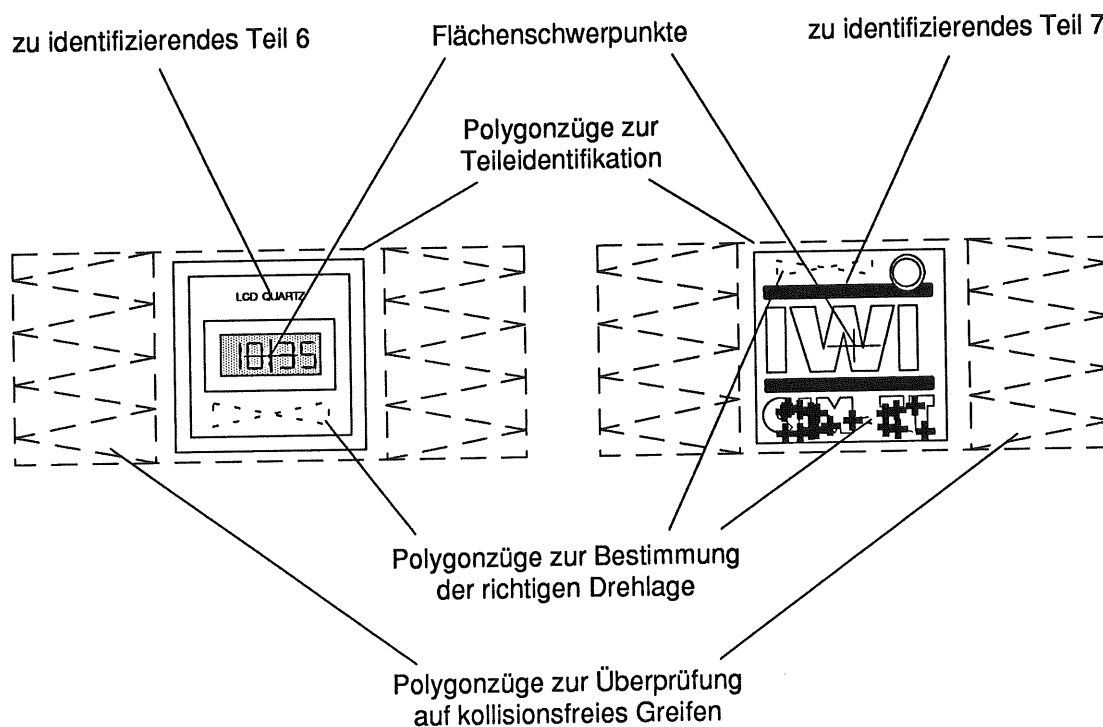


Abbildung 13: Erfolgreiche Identifikation der Uhr und des Logoteils mit Hilfe des Polygonzug-Verfahrens; beide Teile werden jeweils als Gutteil erkannt

Wird durch das Polarcheck-Verfahren eines dieser Teile markiert, wird ihm im Vergleich zu dem eingelernten Referenzobjekt eine Drehlage zwischen 0° und 89° zugewiesen. Die genaue Orientierung der quadratischen Teile 6 bzw. 7 kann ohne eine weitere Merkmalsextraktion nicht genau ermittelt werden. Unter Berücksichtigung dieser Umstände wurden jeweils vier verschiedene Prüfprogramme für Uhr und Logoteil erstellt, so daß sie in vier verschiedene Musterklassen eingeteilt werden können. Jedes dieser Prüfprogramme ist für einen bestimmten Winkelbereich geschrieben, in dem die zu bestimmende korrekte Drehlage einzuordnen ist. In Abbildung 13 sind die Polygonzüge aus den Prüfprogrammen dargestellt, die das Teil 6 bzw. 7 richtig erkennen, wenn seine wirkliche Drehlage zwischen 0° und 89° beträgt. Demgegenüber zeigen die Abbildungen 14 und 15 die Prüfprogramme für die Winkelbereiche 90° bis 179° , 180° bis 269° und 270° bis 359° . Der Winkel der Drehlage, der zwischen 0° und 89° liegt und einer bestimmten Musterklasse zugeordnet ist, erfährt sofort nach Beendigung dieses Prüfprogrammes durch das Roboterprogramm eine der Musterklasse entsprechende Korrektur. Das Roboterprogramm veranlaßt auch das sukzessive Aufrufen der jeweils vier Prüfprogramme, bis das Teil erfolgreich - inklusive korrekter Drehlage - identifiziert ist und einer vorgegebenen Musterklasse zugewiesen werden kann.

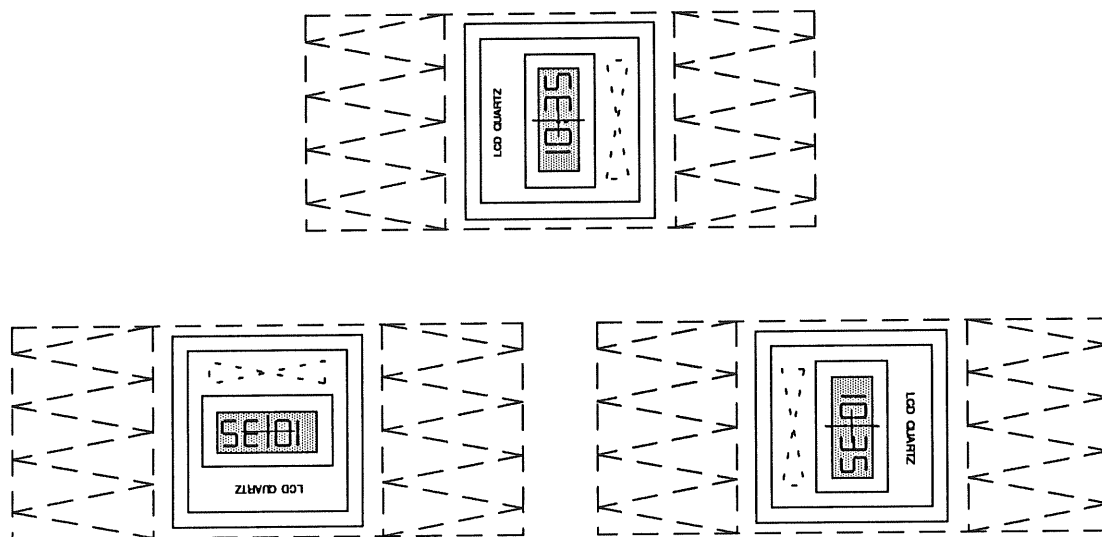


Abbildung 14: Erfolgreiche Identifikation der Uhr in verschiedenen Drehlagen mit Hilfe des Polygonzug-Verfahrens; die Uhr wird jeweils als Gutteil erkannt

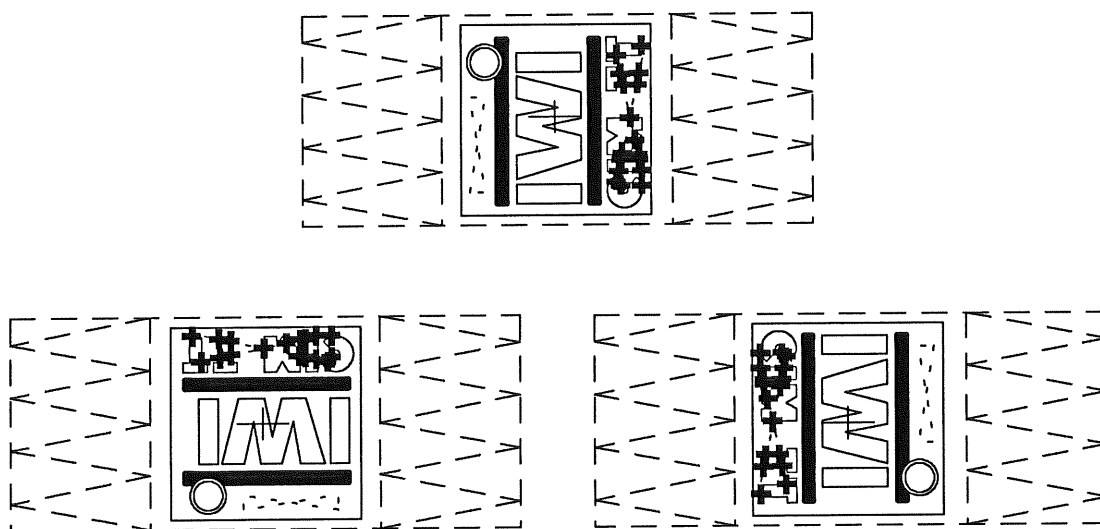


Abbildung 15: Erfolgreiche Identifikation des Logoteils in verschiedenen Drehlagen mit Hilfe des Polygonzug-Verfahrens; das Logoteil wird jeweils als Gutteil erkannt

Der Verfahrensablauf bei der Einordnung eines quadratischen Teiles in Musterklassen ist in Abbildung 16 zu erkennen.

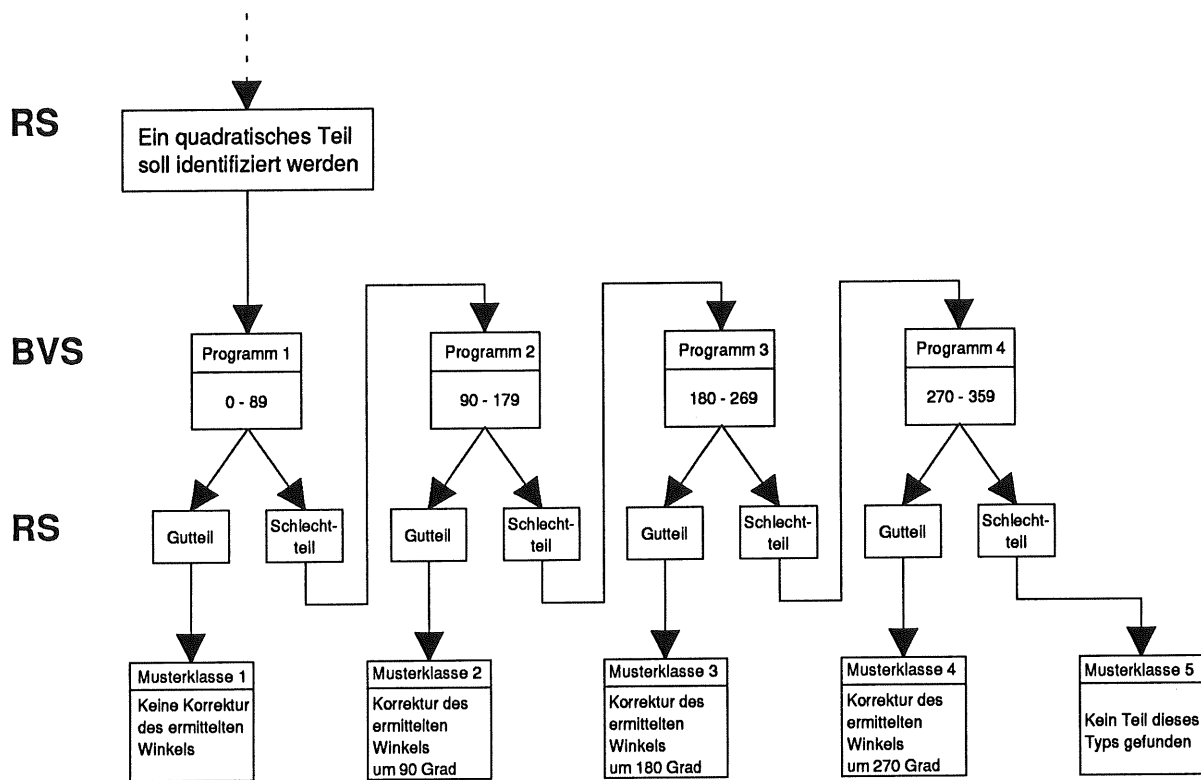


Abbildung 16: Verfahrensablauf bei der Einordnung eines quadratischen Teiles in Musterklassen

3.2.4. Ergebnis eines Prüfungsvorganges

Werden alle durchgeführten Prüfbefehle erfolgreich bestanden, wird das überprüfte Teil als Gutteil ausgezeichnet und seine ermittelten x-, y- und Phi-Koordinaten werden an der Schnittstelle zur Robotersteuerung bereitgestellt. Der z-Koordinate, die bei der Auswertung des zweidimensionalen Bildes aus der x-y-Ebene nicht ermittelt werden kann, wird von Seiten des Bildverarbeitungssystems grundsätzlich Null zugeordnet. Verläuft jedoch nur einer der Tests eines Prüfprogramms negativ, gilt das Teil als Schlechtteil und als Koordinaten werden (0,0,0,0) an die Robotersteuerung weitergegeben. Nur in dem Fall, das ein Gutteil erkannt worden ist, wird in der Robotersteuerung anschließend eine Transformation der BV-Koordinaten in das Koordinatensystem des Roboters durchgeführt.

4. Prozeßmodell des sichtgeführten Montagevorganges

4.1. Begriffe und Definitionen

Um die Strukturen und Vorgänge in einem komplexen Gebilde, wie es eine Fertigungsstrecke oder im größeren ein Unternehmen darstellen, übersichtlich darstellen zu können, wird ein Prozeßmodell entwickelt, das die dynamischen Vorgänge innerhalb dieses Gebildes beschreibt¹⁰. Der ablaufbezogene Zusammenhang von Funktionen kann in einem solchen Prozeßmodell bis auf die unterste logische Ebene abgebildet werden.

In einem Prozeßmodell wird zwischen Funktionen und Ereignissen unterschieden. Funktionen werden von einem Auslösemechanismus, dem Ereignis, gestartet. Ereignisse können wiederum das Ergebnis von Funktionen sein. Wird ein Ereignis, das von einer Funktion erzeugt wird, zusätzlich Auslöser für eine folgende Funktion, entsteht eine zusammenhängende Kette. Der zeitlich-logische Ablauf von Funktionen kann in seinen komplexen Zusammenhängen in einer Grafik dargestellt werden. Diese wird als "Ereignisgesteuerte Prozeßkette (EPK)" bezeichnet.

Zwischen Ereignissen oder Funktionen können verschiedene Verknüpfungsmöglichkeiten bestehen, für die die in Abbildung 17 benutzten Verknüpfungsoperatoren verwendet werden. Mit der Verknüpfungsart wird angegeben, welche Beziehungen zwischen den Elementen in den Modellen bestehen. Werden mehrere Ereignisse mit einer Funktion verknüpft, so handelt es sich um eine Ereignisverknüpfung, im Gegensatz zu einer Funktionsverknüpfung, bei der mehrere Funktionen mit einem Ereignis verknüpft werden.

4.2. Grobes Prozeßmodell der Fertigungsstrecke

Ein grobes Prozeßmodell zeigt die zu analysierenden Funktionsbereiche in ihrem Zusammenhang auf einer sehr hohen Aggregationsstufe. Abbildung 17 zeigt ein solches grobes Prozeßmodell für die Fertigungsstrecke im CIM-TTZ Saarbrücken¹¹. Die einzelnen Funktionsblöcke können immer weiter spezifiziert werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Funktionsblock "Endmontage in der RoboterMontagezelle" weiter verfeinert, wobei auch die Funktionen des in die RoboterMontagezelle integrierten Bildverarbeitungssystems mitberücksichtigt werden.

¹⁰ Vgl. Keller, G., Nüttgens, M., Scheer, A.-W.: Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage "Ereignisgesteuerter Prozeßketten (EPK)". In: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 89, Saarbrücken 1992.

¹¹ Vgl. Hoffmann, W., Maldener, B., Nüttgens, M., Scheer, A.-W.: Das Integrationskonzept am CIM-TTZ Saarbrücken (Teil 2: Produktionssteuerung). In: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 88, Saarbrücken 1992.

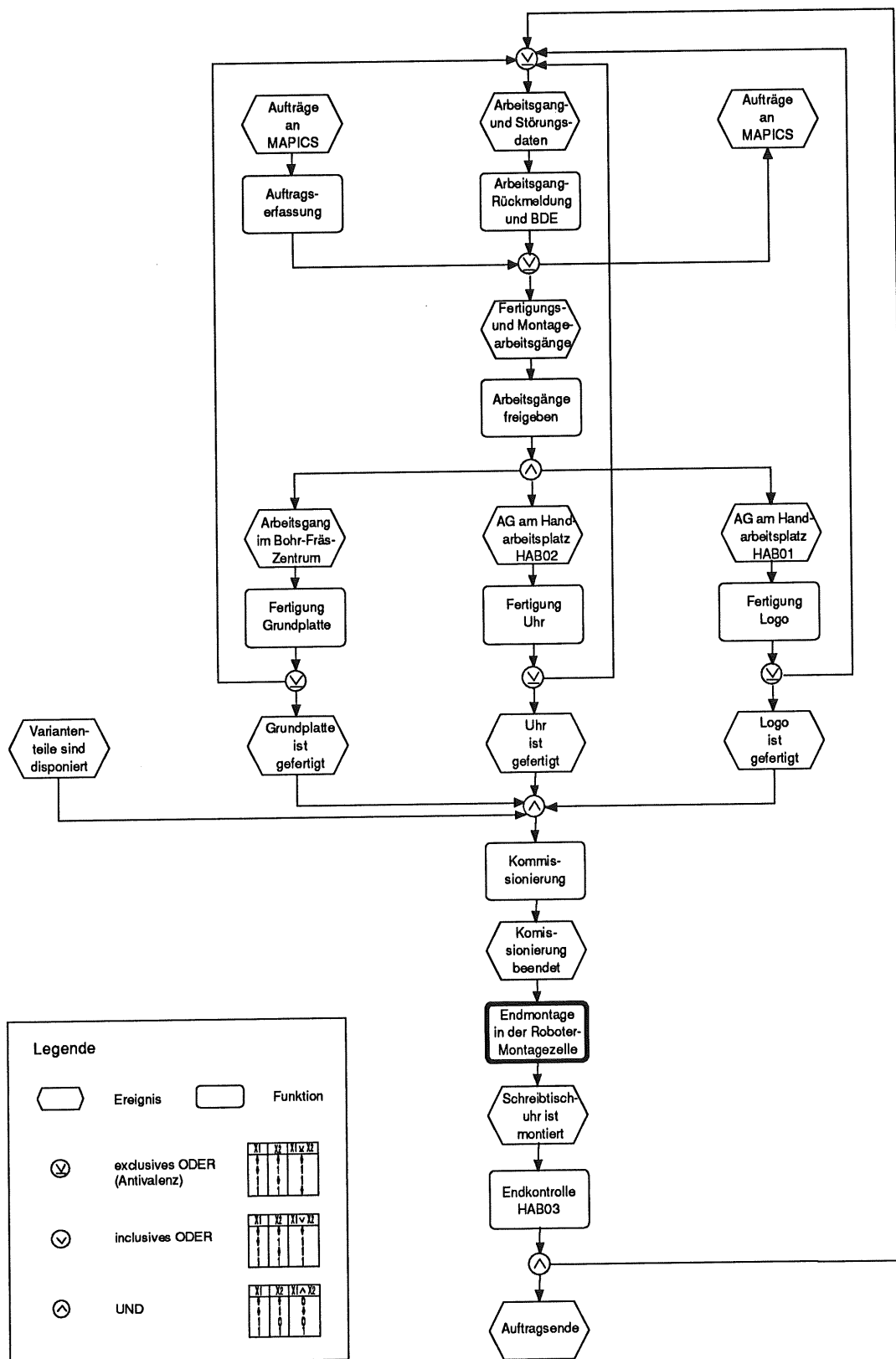


Abbildung 17: Grobes Prozeßmodell der Fertigungssteuerung ¹²

4.3. Detailliertes Prozeßmodell des Montagevorganges

Nach der Realisierung der Schnittstelle Robotersteuerung-Bildverarbeitungssystem wurde der Funktionsblock "Montage der Variantenteile" innerhalb des groben Prozeßmodells der Fertigungsstrecke (vgl. Abb. 17) zunächst weiter verfeinert. In der ereignisgesteuerten Prozeßkette sind alle Ereignisse und Funktionen während des Montageprozesses zeitlich-logisch aneinandergereiht, so daß die wechselseitigen aktiven und passiven Phasen beider Systeme übersichtlich zu erkennen sind.

Die ereignisgesteuerte Prozeßkette, die den Teil des Prozeßmodells für den Bereich der RoboterMontagezelle mit integriertem Bildverarbeitungssystem wiedergibt, ist in den Abbildungen 18 bis 23 dargestellt; die Legende in Abbildung 17 gilt entsprechend. Diejenigen Funktionsblöcke, die in den Bereich des Bildverarbeitungssystems einzuordnen sind, sind dort mit einer Schattierung unterlegt. Im folgenden wird der Montagevorgang an Hand dieses Prozeßmodells näher erläutert, das als Grundlage für die Erstellung des BAPS-Hauptprogramms "*uhrbv5*" und der BV-Prüfprogramme dient.

Zwischen den beiden gekoppelten Systemen Robotersteuerung und Bildverarbeitungssystem besteht eine "Master-Slave-Beziehung": Die Robotersteuerung steuert als "Master" sämtliche Vorgänge, die innerhalb der RoboterMontagezelle ablaufen. Wird die Bildverarbeitung als "Slave" aktiviert, versetzt sich die Robotersteuerung für einen bestimmten Zeitraum in einen Wartezustand, bis die ermittelten Daten von dem Bildverarbeitungssystem an der Schnittstelle bereitgestellt werden. Werden die Daten an der Schnittstelle zu früh abgefragt, meldet die Robotersteuerung einen Schnittstellenfehler und wird in den Not-Aus-Zustand versetzt. Als "Slave" steht das Bildverarbeitungssystem ständig für eine Aktivierung bereit, solange nicht ein Prüfprogramm ausgeführt wird.

Der Prozeß in der RoboterMontagezelle wird mit dem Laden des Hauptprogramms "*uhrbv5*" gestartet. Da nach Abschluß jedes Montageprozesses automatisch wieder in die erste Programmzeile verzweigt wird, werden im zweiten Teil des Anweisungsteils sämtliche Variablen zurückgesetzt, denen während des vorhergehenden Programmablaufs ein bestimmter Wert zugewiesen worden ist.

Nachdem der Roboterarm in eine Stellung gefahren ist, die der Kamera die visuelle Aufnahme des Werkstückträgers ermöglicht, wird aus Sicherheitsgründen das Unterprogramm "*grenzen*" aufgerufen. Hier wird der Arbeitsraum des Roboters für den Montagevorgang auf einen nach oben offenen Quader begrenzt, dessen Grundfläche durch die Oberfläche des Werkstückträgers gebildet wird. Hier sind die unterschiedlichen Längen der beiden Greifer mitberücksichtigt. Durch diese Begrenzung des Arbeitsraumes wird eine eventuelle Kollision des Roboterarms mit der Beleuchtungseinrichtung vermieden, die auftreten könnte, falls der Robotersteuerung Koordinatenwerte geliefert werden sollten, die sich außerhalb dieses Bereich befinden würden. Insbesondere für neu zu erstellende Programme, die die vom Bildverarbeitungssystem ermittelten Koordinaten weiterverarbeiten sollen, gewinnt dieser Aspekt der Arbeitsraumeingrenzung an Bedeutung.

Der Montageprozeß kann erst nach dem Eintreffen eines Werkstückträgers beginnen, so daß die Robotersteuerung sich bis zu diesem Zeitpunkt im Wartezustand befindet. Sobald ein Werkstückträger an der Schreib-Lese-Station (SLS) angekommen ist, wird die Variantenummer, die von der SLS als Binärzahl an die SPS-Steuerung weitergegeben wird, aus den SPS-Eingangskanälen 25 bis 28 in die Robotersteuerung eingelesen. Damit der Montagevorgang möglichst schnell vonstatten geht, sollen nur diejenigen Teile von dem Bildverarbeitungssystem gesucht und anschließend vom Roboter montiert werden, die zu der zu fertigenden Variante

gehören. Deshalb werden die entsprechenden Einzelteile der geforderten Variante zugeordnet. Diese Teile werden im folgenden auch als Variantenteile bezeichnet.

Die Koordinaten der Grundplatte und der Einzelteile werden sequentiell bestimmt, indem von der Robotersteuerung die entsprechenden Prüfprogramme im Bildverarbeitungssystem aufgerufen und die Daten von dort abgefragt werden. Mit dem Kommando <M> wird ein Prüfprogramm im Bildverarbeitungssystem aktiviert, das ein eingelerntes Objekt identifizieren soll. Mit dem Kommando <D> wird das Bildverarbeitungssystem aufgefordert, die im letzten Prüfprogramm ermittelten Koordinaten der Schnittstelle bereitzustellen. Während der Aktivierung des Bildverarbeitungssystems durch diese beiden Kommandos, ist die Robotersteuerung für einen bestimmten Zeitraum in einen Wartezustand versetzt. Der genaue Verfahrensablauf der Prüfprogramme ist in Kapitel 3.2. beschrieben.

Mit Hilfe der entsprechenden Prüfprogramme wird überprüft, ob sich auf dem Werkstückträger ein Teil des verlangten Typs befindet. Verläuft diese Prüfung erfolgreich, wird der ermittelte Flächenschwerpunkt und (bei nicht runden Teilen) die Drehlage des Teiles als x-, y- und Phi-Koordinaten an die Robotersteuerung übertragen. Da das Bildverarbeitungssystem lediglich eine Aussage über das Bild der x-y-Ebene machen kann, wird der z-Koordinate der Wert Null zugeordnet. Wird kein Teil des verlangten Typs identifiziert, werden die Koordinaten (0,0,0,0) übertragen.

Werden während des Meßvorganges durch das Prüfprogramm mehrere Teile vom selben Typ erkannt, werden die Koordinaten des als letztes identifizierten Teiles übergeben, da jedes Prüfprogramm das Meßfeld von oben nach unten nach dem gesuchten Teiletyp überprüft. Sind die Koordinatenwerte der Grundplatte bzw. eines Variantenteiles in die Robotersteuerung übertragen worden, werden diese in das Koordinatensystem des Roboters transformiert und das erkannte Teil wird als Gutteil deklariert. In dem Fall, daß ein Prüfvorgang die Koordinaten (0,0,0,0) liefert, wird keine Transformation durchgeführt. Das nicht identifizierte Variantenteil wird als Schlechttteil deklariert.

Im ersten Schritt des Identifizierungsvorganges wird der Werkstückträger auf das Vorhandensein der Grundplatte kontrolliert. Sollte diese sich nicht auf dem Werkstückträger befinden, wird sie ein zweites Mal zu identifizieren versucht. Verläuft auch der zweite Identifizierungsversuch der Grundplatte negativ, wird in dem Programm eine Sprunganweisung an das "Montageende" ausgeführt, ohne daß noch ein Identifizierungsvorgang ein Montagevorgang ausgeführt wird. Der Werkstückträger wird in diesem Fall unbearbeitet freigegeben. Wird die Grundplatte identifiziert und ihr Flächenschwerpunkt erfaßt, werden die Prüfprogramme der zugehörigen Variantenteile der Reihe nach aktiviert.

Bei allen möglichen Varianten kommen zwei verschieden große Greifer zum Einsatz, so daß während eines Arbeitsganges ein Wechsel des Greifersystems auf jeden Fall durchgeführt wird. Während die Uhr und das Logo mit dem großen Greifer auf der Grundplatte plaziert werden, werden die übrigen Teile mit dem kleinen Greifer montiert.

Bei einer festgelegten Reihenfolge der Greiferbenutzung würde zu Beginn des Montagevorganges unnötige Zeit für einen Greiferwechsel aufgewendet. Um eine höhere Flexibilität zu erreichen, wird daher in einem Unterprogramm die Montagefolge in der Weise festgelegt, daß die Montage mit demjenigen Greifer beginnt, der zu diesem Zeitpunkt am Effektor angeschlossen ist. Ein Wechsel des Greifertyps erfolgt erst nach diesem Arbeitsgang.

Wird nach der Montage der identifizierten Teile das Fehlen eines oder mehrerer Variantenteile festgestellt, werden die dazugehörigen Prüfprogramme ein zweites Mal aufgerufen. Damit wird

sichergestellt, daß ein Variantenteil, das beim ersten Durchgang zu nahe an einem anderen gelegen hatte und mit dem Greifer kollidiert wäre, beim zweiten Durchgang erkannt und auf der Grundplatte abgelegt wird. Nach dem zweiten Identifikationsdurchgang wird das Fehlen bzw. auch das Nicht-Identifizieren eines Variantenteiles als Ergebnis des Montagevorganges festgehalten und an die in die Robotersteuerung integrierte SPS weitergegeben, so daß eine Weiterverarbeitung des Montageergebnisses außerhalb der Robotermontagezelle erfolgen kann. Anschließend wird der Werkstückträger freigegeben.

Sobald der Werkstückträger die Montagezelle verlassen hat, wird das Programm erneut gestartet, indem automatisch mit der ersten Programmanweisung begonnen wird. In dem Prozeßmodell werden desweiteren einige abkürzende Sammelbegriffe für die zu montierenden Teile verwendet, die im folgenden definiert sind:

Zu den Einzelteilen gehören Grundplatte, Uhr, Logoteil, Raute rechts, Raute links, Zylinder, Rechteck rechts sowie Rechteck links.

Als Montageteile werden alle Einzelteile außer der Grundplatte bezeichnet.

Zu den prismatischen Teilen zählen alle Montageteile außer der Zylinder.

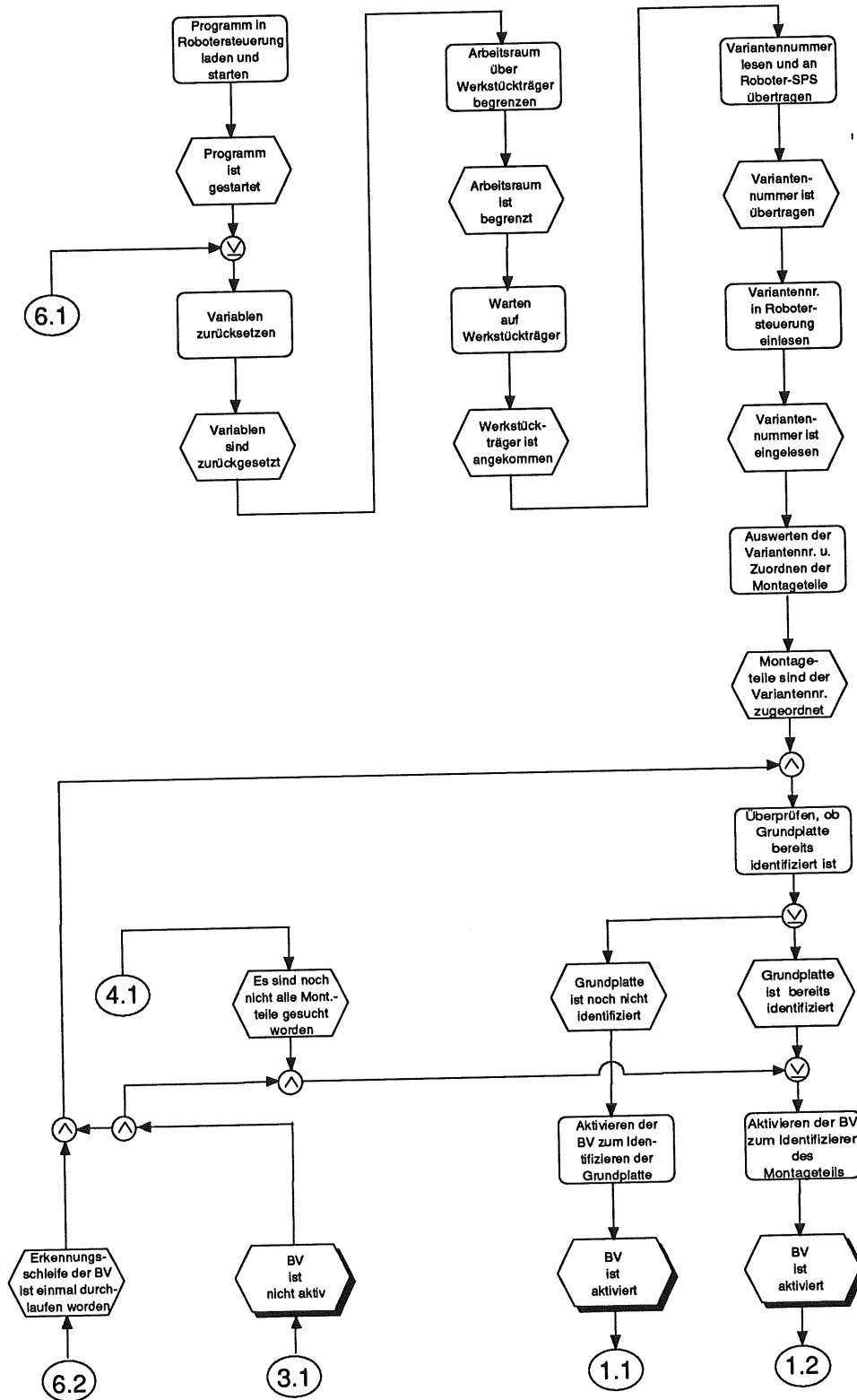


Abbildung 18: Prozeßmodell Ausschnitt 1

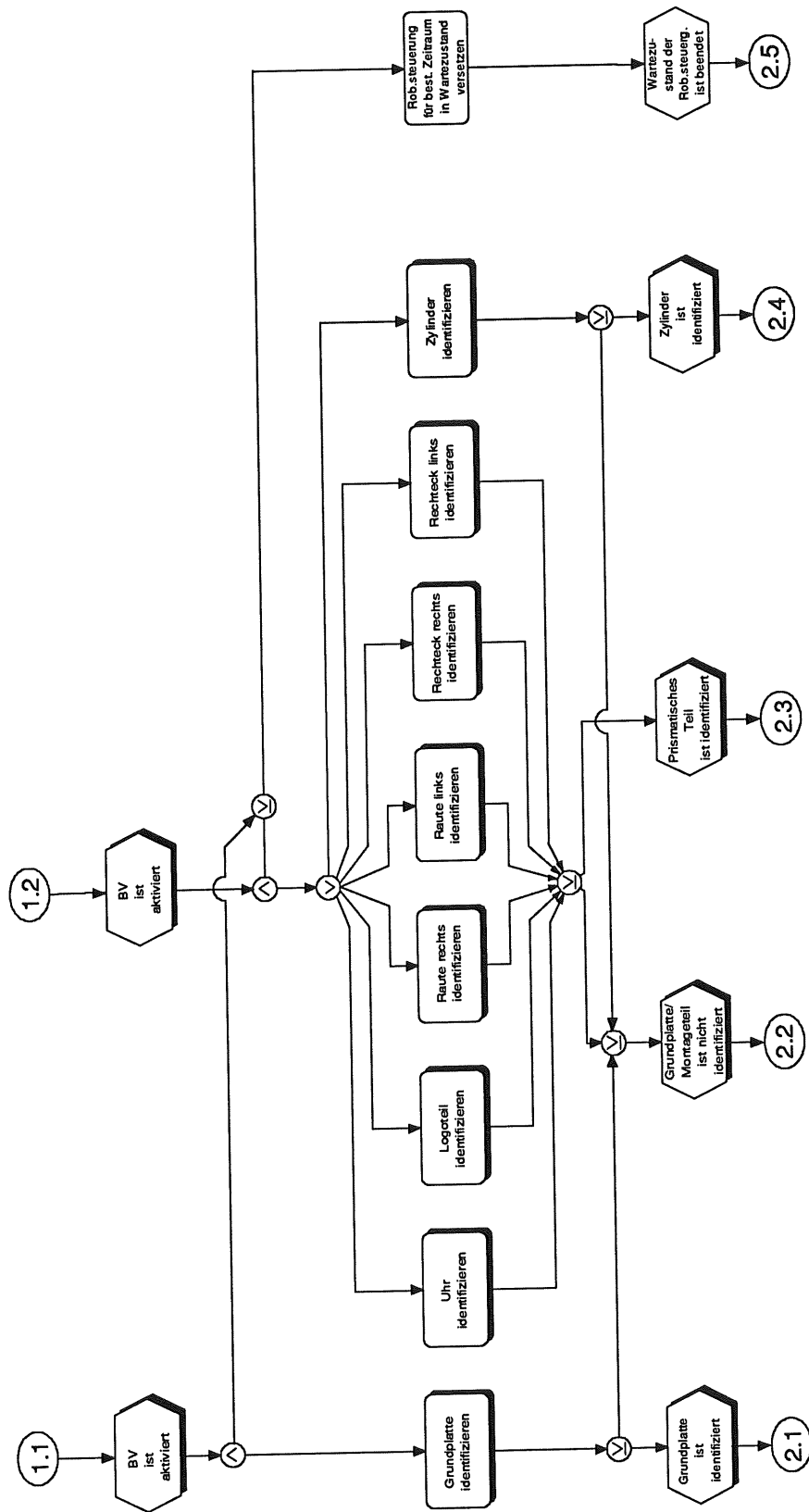


Abbildung 19: Prozeßmodell Ausschnitt 2

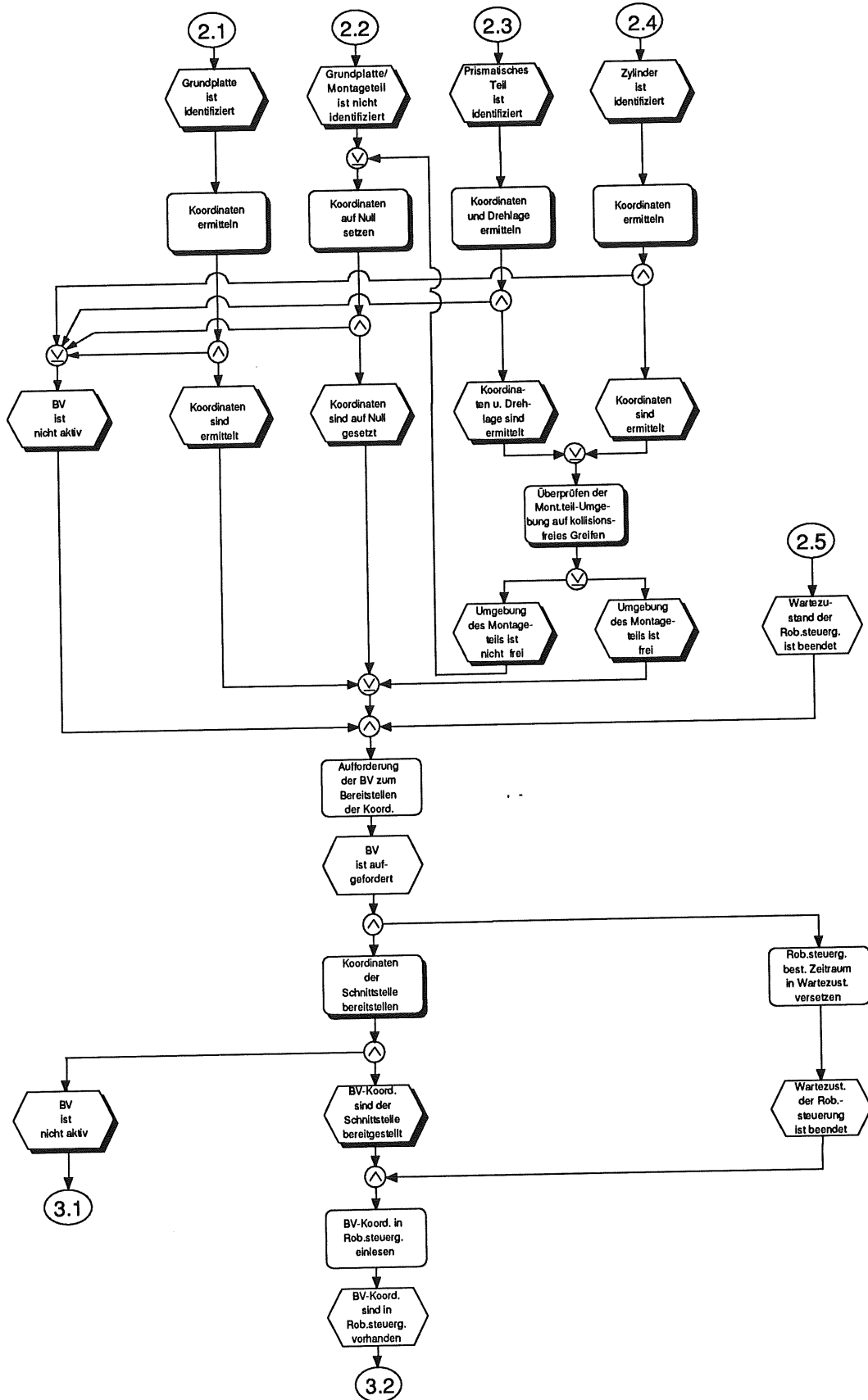


Abbildung 20: Prozeßmodell Ausschnitt 3

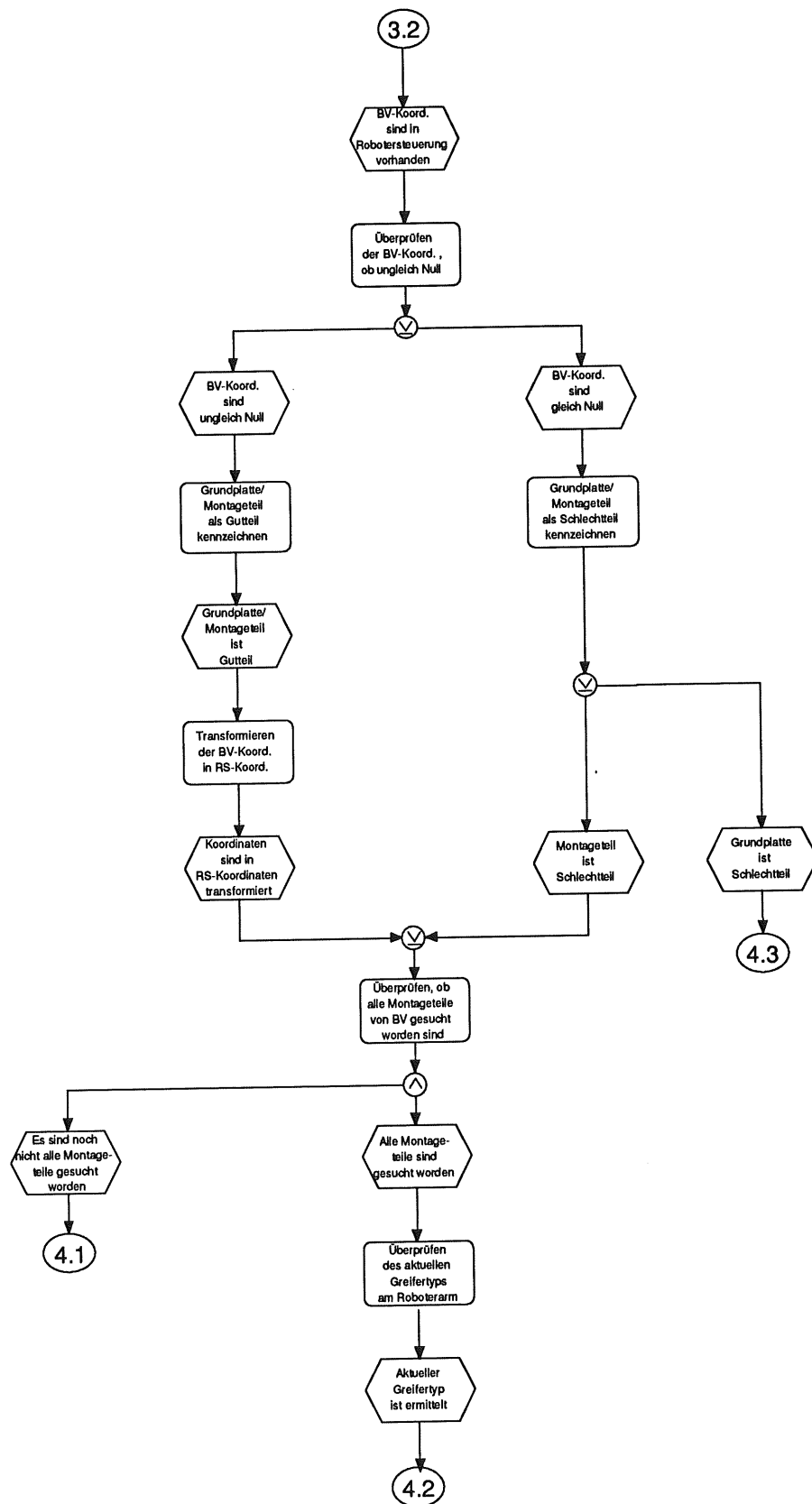


Abbildung 21: Prozeßmodell Ausschnitt 4

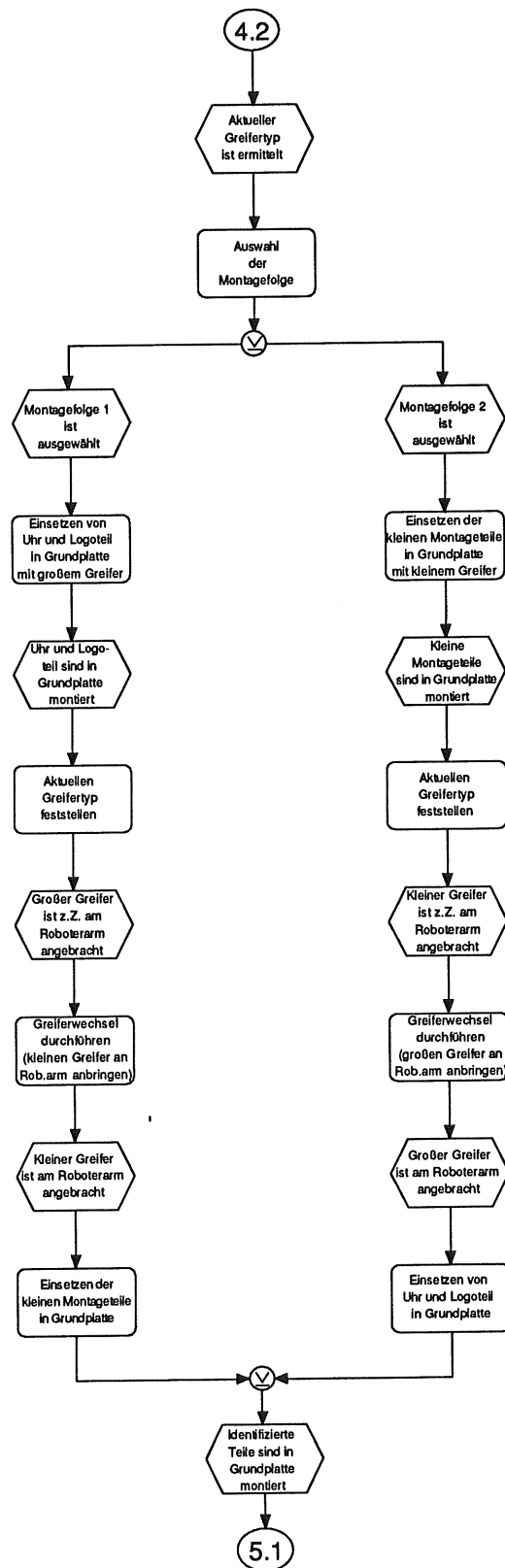


Abbildung 22: Prozeßmodell Ausschnitt 5

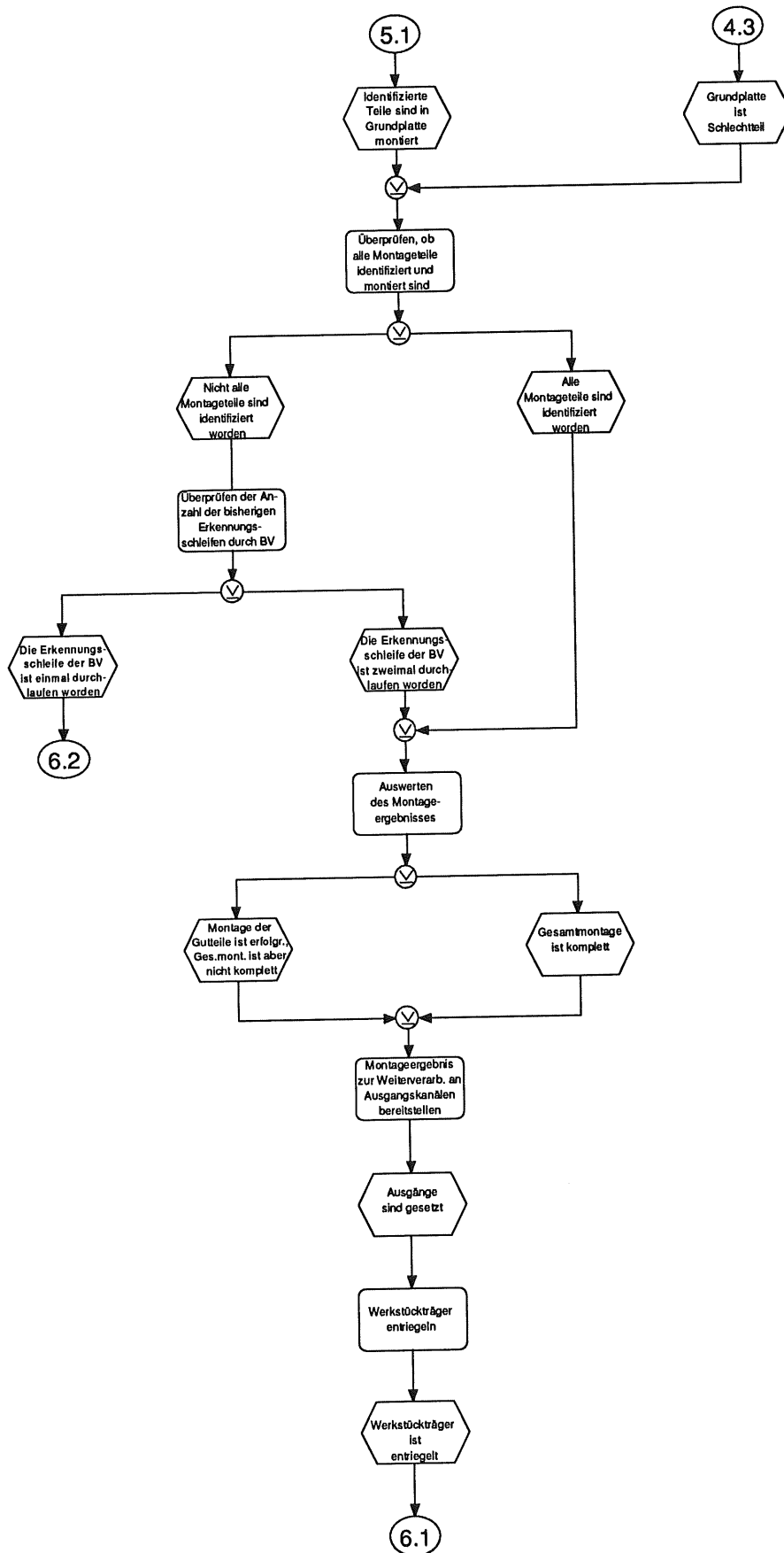


Abbildung 23: Prozeßmodell Ausschnitt 6

5. Zusammenfassung

Die Einbeziehung eines Bildverarbeitungssystems im Bereich der Robotermontagezelle erhöht den Automationsgrad und die Flexibilität der Demonstrationsanlage im CIM-Technologie-Transfer-Zentrum Saarbrücken. Durch die Realisierung der Schnittstelle zwischen Robotersteuerung und Bildverarbeitungssystem wird der Informationsaustausch zwischen beiden Systemen gewährleistet.

Nachdem der Werkstückträger in der Robotermontagezelle angekommen ist, wird zunächst die zu fertigende Variante aus der Schreib-Lese-Station eingelesen. Der nächste Schritt beinhaltet die sukzessive Identifizierung jedes für die Montage der Schreibtisch-Quarz-Uhr benötigten Teiles durch das Bildverarbeitungssystem. Bei dem Ablauf der entsprechenden BV-Prüfprogramme werden nach der Identifikation eines Teiles dessen Flächenschwerpunktkoordinaten und - falls erforderlich - seine Drehlage bezüglich einer eingelernten Referenzlage ermittelt. Diese Werte werden erst dann an die Robotersteuerung übermittelt, wenn die anschließende Prüfung auf Kollisionsmöglichkeiten zwischen Greifer und anderen Teilen negativ abgeschlossen wird. Ansonsten wird dieses Teil vorerst als Schlechtteil deklariert.

In der Robotersteuerung werden die Werte aus dem Koordinatensystem des Bildverarbeitungssystems in Werte des Robotersystems transformiert. In dem folgenden Montagedurchgang werden alle als Gutteil erkannten Teile montiert. Sollte beim ersten Identifikationsdurchgang mindestens ein zu montierendes Teil als Schlechtteil ermittelt werden, wird ein zweiter Identifikations- und Montagevorgang gestartet. Das Ergebnis der Gesamtmontage wird als Teil einer Qualitäts- bzw. Vollständigkeitskontrolle in die in die Robotersteuerung integrierte SPS-Steuerung geschrieben, so daß es außerhalb der Montagestation weiterverarbeitet werden kann; z.B. kann ein Werkstückträger mit einer unvollständig zusammengesetzten Uhr wieder an das Hochregallager zurückgeführt werden, damit das fehlende Teil kommissioniert werden kann.

Die zeitlich logischen Beziehungen zwischen allen Vorgängen innerhalb der Robotermontagezelle werden in einem Prozeßmodell aufgezeigt.

Literaturverzeichnis

Abeln, O.: Die CA...-Techniken in der industriellen Praxis, München, Wien, 1990

ES-VISION-Produktbeschreibung, Engel & Stiefvater GmbH, Karlsruhe

Handbuch Robotersteuerung Bosch rho2, Ausgabe 07/88, Nr. 3918, Robert Bosch GmbH, Erbach, 1988

Hoffmann, W., Maldener, B., Nüttgens, M., Scheer, A.-W.: Das Integrationskonzept am CIM-TTZ Saarbrücken (Teil 2: Produktionssteuerung). In Scheer, A.-W. (Hrsg.): Veröffentlichung des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 88, Saarbrücken 1992

Hoffmann, W., Nüttgens, M., Scheer, A.-W., Scholz, S.: Das Integrationskonzept am CIM-TTZ Saarbrücken (Teil 1: Produktionsplanung). In Scheer, A.-W. (Hrsg.): Veröffentlichung des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 85, Saarbrücken 1991

Keller, G., Nüttgens, M., Scheer, A.-W.: Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage "Ereignisgesteuerter Prozeßketten (EPK)". In Scheer, A.-W. (Hrsg.): Veröffentlichung des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 89, Saarbrücken 1992

Kloss, N.: Kurze Leitung - Handhabungsautomatisierung mit schneller Bildverarbeitung, ROBOTER 4 (1990), S. 47 - 50

Naval, M.: Roboter Praxis, Weinheim, 1989

Rall, K., Wollnack, J.: Mit Argusaugen gesehen, ROBOTER-Markt (1992), S. 46 - 50

Robert Bosch GmbH: Wenig Zeit für den Wechsel, ROBOTERtechnik (1990), S. 60 - 61

Scheer, A.-W.: CIM - Der computergestützte Industriebetrieb (4. Auflage), Berlin et al. 1990

Schweizer, M.: Ungebrochenes Wachstum, ROBOTER 5 (1991), S. 10 - 14

VDI-Richtlinie 2853: Sicherheitstechnische Anforderungen an Bau, Ausrüstung und Betrieb von Industrierobotern, Berlin, 1987

Die Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik (IWi) im Institut für empirische Wirtschaftsforschung an der Universität des Saarlandes erscheinen in unregelmäßiger Folge.

* Die Hefte 1 - 31 werden nicht mehr verlegt.

- Heft 32: A.-W. Scheer: Einfluß neuer Informationstechnologien auf Methoden und Konzepte der Unternehmensplanung, März 1982, Vortrag anläßlich des Anwendergespräches "Unternehmensplanung und Steuerung in den 80er Jahren in Hamburg vom 24. - 25.11.1981
- Heft 33: A.-W. Scheer: Disposition- und Bestellwesen als Baustein zu integrierten Warenwirtschaftssystemen, März 1982, Vortrag anläßlich des gdi-Seminars "Integrierte Warenwirtschafts-Systeme" in Zürich vom 10. - 12. Dezember 1981
- Heft 34: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert: EPSOS - Ein Ansatz zur Entwicklung prüfungsgerechter Software-Systeme, Mai 1982
- Heft 35: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert: EPSOS-D, Konzept einer computergestützten Prüfungsumgebung, Juli 1982
- Heft 36: A.-W. Scheer: Rationalisierungserfolge durch Einsatz der EDV - Ziel und Wirklichkeit, August 1982, Vortrag anläßlich der 3. Saarbrücker Arbeitstagung "Rationalisierung" in Saarbrücken vom 04. - 06. 10.1982
- Heft 37: A.-W. Scheer: DV-gestützte Planungs- und Informationssysteme im Produktionsbereich, September 1982
- Heft 38: A.-W. Scheer: Interaktive Methodenbanken: Benutzerfreundliche Datenanalyse in der Marktforschung, Mai 1983
- Heft 39: A.-W. Scheer: Personal Computing - EDV-Einsatz in Fachabteilungen, Juni 1983
- Heft 40: A.-W. Scheer: Strategische Entscheidungen bei der Gestaltung EDV-gestützter Systeme des Rechnungswesens, August 1983, Vortrag anläßlich der 4. Saarbrücker Arbeitstagung "Rechnungswesen und EDV" in Saarbrücken vom 26. - 28.09.1983
- Heft 41: H. Krcmar: Schnittstellenprobleme EDV-gestützter Systeme des Rechnungswesens, August 1983, Vortrag anläßlich der 4. Saarbrücker Arbeitstagung "Rechnungswesen und EDV" in Saarbrücken vom 26. - 28.09.1983
- Heft 42: A.-W. Scheer: Factory of the Future, Vorträge im Fachausschuß "Informatik in Produktion und Materialwirtschaft" der Gesellschaft für Informatik e. V., Dezember 1983
- Heft 43: A.-W. Scheer: Einführungsstrategie für ein betriebliches Personal-Computer-Konzept, März 1984
- Heft 44: A.-W. Scheer: Schnittstellen zwischen betriebswirtschaftlicher und technische Datenverarbeitung in der Fabrik der Zukunft, Juli 1984
- Heft 45: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert: EPSOS-D, Ein Werkzeug zur Messung der Qualität von Software-Systemen, August 1984
- Heft 46: H. Krcmar: Die Gestaltung von Computer am-Arbeitsplatz-Systemen - ablauforientierte Planung durch Simulation, August 1984
- Heft 47: A.-W. Scheer: Integration des Personal Computers in EDV-Systeme zur Kostenrechnung, August 1984

- Heft 48: A.-W. Scheer: Kriterien für die Aufgabenverteilung in Mikro-Mainframe Anwendungssystemen, April 1985
- Heft 49: A.-W. Scheer: Wirtschaftlichkeitsfaktoren EDV-orientierter betriebswirtschaftlicher Problemlösungen, Juni 1985
- Heft 50: A.-W. Scheer: Konstruktionsbegleitende Kalkulation in CIM-Systemen, August 1985
- Heft 51: A.-W. Scheer: Strategie zur Entwicklung eines CIM-Konzeptes - Organisatorische Entscheidungen bei der CIM-Implementierung, Mai 1986
- Heft 52: P. Loos, T. Ruffing: Verteilte Produktionsplanung und -steuerung unter Einsatz von Mikrocomputern, Juni 1986
- Heft 53: A.-W. Scheer: Neue Architektur für EDV-Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung, Juli 1986
- Heft 54: U. Leismann, E. Sick: Konzeption eines Bildschirmtext-gestützten Warenwirtschaftssystems zur Kommunikation in verzweigten Handelsunternehmungen, August 1986
- Heft 55: D. Steinmann: Expertensysteme (ES) in der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) unter CIM-Aspekten, November 1987, Vortrag anlässlich der Fachtagung "Expertensysteme in der Produktion" am 16. und 17.11.1987 in München
- Heft 56: A.-W. Scheer: Enterprise wide Data Model (EDM) as a Basis for Integrated Information Systems, Juli 1988
- Heft 57: A.-W. Scheer: Present Trends of the CIM Implementation (A qualitative Survey) Juli 1988
- Heft 58: A.-W. Scheer: CIM in den USA - Stand der Forschung, Entwicklung und Anwendung, November 1988
- Heft 59: R. Herterich, M. Zell: Interaktive Fertigungssteuerung teilautonomer Bereiche, November 1988
- Heft 60: A.-W. Scheer, W. Kraemer: Konzeption und Realisierung eines Expertenunterstützungssystems im Controlling, Januar 1989
- Heft 61: A.-W. Scheer, G. Keller, R. Bartels: Organisatorische Konsequenzen des Einsatzes von Computer Aided Design (CAD) im Rahmen von CIM, Januar 1989
- Heft 62: M. Zell, A.-W. Scheer: Simulation als Entscheidungsunterstützungsinstrument in CIM, September 1989
- Heft 63: A.-W. Scheer: Unternehmens-Datenbanken - Der Weg zu bereichsübergreifenden Datenstrukturen, September 1989
- Heft 64: C. Berkau, W. Kraemer, A.-W. Scheer: Strategische CIM-Konzeption durch Eigenentwicklung von CIM-Modulen und Einsatz von Standardsoftware, Dezember 1989
- Heft 65: A. Hars, A.-W. Scheer: Entwicklungsstand von Leitständen^[1], Dezember 1989
- Heft 66: W. Jost, G. Keller, A.-W. Scheer: CIMAN - Konzeption eines DV-Tools zur Gestaltung einer CIM-orientierten Unternehmensarchitektur, März 1990

- Heft 67: A.-W. Scheer: Modellierung betriebswirtschaftlicher Informationssysteme (Teil 1: Logisches Informationsmodell), März 1990
- Heft 68: W. Kraemer: Einsatzmöglichkeiten von Expertensystemen in betriebswirtschaftlichen Anwendungsgebieten, März 1990
- Heft 69: A.-W. Scheer, R. Bartels, G. Keller: Konzeption zur personalorientierten CIM-Einführung, April 1990
- Heft 70: St. Spang, K. Ibach: Zum Entwicklungsstand von Marketing-Informationssystemen in der Bundesrepublik Deutschland, September 1990
- Heft 71: D. Aue, M. Baresch, G. Keller: URME_L, Ein UnteRnehmensMODELLierungsansatz, Oktober 1990
- Heft 72: M. Zell: Datenmanagement simulationsgestützter Entscheidungsprozesse am Beispiel der Fertigungssteuerung, November 1990
- Heft 73: A.-W. Scheer, M. Bock, R. Bock: Expertensystem zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation, November 1990
- Heft 74: R. Bartels, A.-W. Scheer: Ein Gruppenkonzept zur CIM-Einführung, Januar 1991
- Heft 75: M. Nüttgens, St. Eichacker, A.-W. Scheer: CIM-Qualifizierungskonzept für Klein- und Mittelunternehmen (KMU), Januar 1991
- Heft 76: Ch. Houy, J. Klein: Die Vernetzungsstrategie des Instituts für Wirtschaftsinformatik - Migration vom PC-Netzwerk zum Wide Area Network (noch nicht veröffentlicht)
- Heft 77: W. Kraemer: Ausgewählte Aspekte zum Stand der EDV-Unterstützung für das Kostenmanagement: Modellierung benutzerindividueller Auswertungssichten in einem wissensbasierten Controlling-Leitstand, Mai 1991
- Heft 78: H. Heß: Vergleich von Methoden zum objektorientierten Design von Softwaresystemen, August 1991
- Heft 79: A.-W. Scheer: Konsequenzen für die Betriebswirtschaftslehre aus der Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien, Mai 1991
- Heft 80: G. Keller, J. Kirsch, M. Nüttgens, A.-W. Scheer: Informationsmodellierung in der Fertigungssteuerung, August 1991
- Heft 81: A.-W. Scheer: Papierlose Beratung - Werkzeugunterstützung bei der DV-Beratung, August 1991
- Heft 82: C. Berkau: VOKAL (System zur Vorgangskettendarstellung und -analyse), Teil 1: Struktur der Modellierungsmethode - Dezember 1991 (wird nicht verlegt)
- Heft 83: A. Hars, R. Heib, Ch. Kruse, J. Michely, A.-W. Scheer: Concepts of Current Data Modelling Methodologies - Theoretical Foundations - 1991
- Heft 84: A. Hars, R. Heib, Ch. Kruse, J. Michely, A.-W. Scheer: Concepts of Current Data Modelling Methodologies - A Survey - 1991
- Heft 85: W. Hoffmann, M. Nüttgens, A.-W. Scheer, St. Scholz: Das Integrationskonzept am CIM-TTZ Saarbrücken (Teil 1: Produktionsplanung), Oktober 1991

- Heft 86: A.-W. Scheer: Koordinierte Planungsinself: Ein neuer Lösungsansatz für die Produktionsplanung, November 1991
- Heft 87: M. Nüttgens, G. Keller, S. Stehle: Konzeption hyperbasierter Informationssysteme, Dezember 1991
- Heft 88: W. Hoffmann, B. Maldener, M. Nüttgens, A.-W. Scheer: Das Integrationskonzept am CIM-TTZ Saarbrücken (Teil 2: Produktionssteuerung), Januar 1992
- Heft 89: G. Keller, M. Nüttgens, A.-W. Scheer: Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage "Ereignisgesteuerter Prozeßketten (EPK)", Januar 1992 (noch nicht veröffentlicht)
- Heft 90: C. Berkau, A.-W. Scheer: VOKAL (System zur Vorgangskettendarstellung), Teil 2: VKD-Modellierung mit Vokal, Dezember 1991
- Heft 91: C. Berkau: Konzept eines controllingbasierten Prozeßmanagers als intelligentes Multi-Agent-System, Januar 1992
- Heft 92: A. Hars, R. Heib, Chr. Kruse, J. Michely, A.-W. Scheer: Approach to classification for information engineering - methodology and tool specification, August 1992
- Heft 93: M. Nüttgens, A.-W. Scheer, M. Schwab: Integrierte Entsorgungssicherung als Bestandteil des betrieblichen Informationsmanagements, August 1992
- Heft 94: Chr. Kruse, A.-W. Scheer: Modellierung und Analyse dynamischen Systemverhaltens, Oktober 1992
- Heft 95: R. Backes, W. Hoffmann, A.-W. Scheer: Konzeption eines Ereignisklassifikationssystems in Prozeßketten, November 1992
- Heft 96: P. Loos: Die Semantik eines erweiterten Entity-Relationship-Modells und die Überführung in SQL-Datenbanken, November 1992
- Heft 97: Chr. Kruse, M. Gregor: Integrierte Simulationsmodellierung in der Fertigungssteuerung am Beispiel des CIM-TTZ Saarbrücken, Dezember 1992
- Heft 98: R. Heib: Konzeption für ein computergestütztes IS-Controlling, Dezember 1992
- Heft 99: H. Heß: Gestaltungsrichtlinien zur objektorientierten Modellierung, Dezember 1992
- Heft 100: P. Loos: Representation of Data Structures Using the Entity Relationship Model and the Transformation in Relational Databases, January 1993
- Heft 101: W. Hoffmann, J. Kirsch, A.-W. Scheer: Modellierung mit Ereignisgesteuerten Prozeßketten (Methodenbuch, Stand: Dezember 1992), Januar 1993
- Heft 102: P. Loos: Konzeption einer graphischen Rezeptverwaltung und deren Integration in eine CIP-Umgebung - Teil 1, Juni 1993
- Heft 103: wird noch nicht verlegt
- Heft 104: A. Traut; T. Geib; A.-W. Scheer: Sichtgeführter Montagevorgang - Planung, Realisierung, Prozeßmodell, Juni 1993