

Walter
Colombo
25.9.86

Frank Oswald Hake

*Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems
für automatisierte Montagezellen*

Frank Oswald Hake

*Entwicklung
eines rechnergestützten
Diagnosesystems für
automatisierte Montagezellen*

Herausgegeben von

Professor Dr.-Ing. Klaus Feldmann,

Lehrstuhl für

Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

FAPS



Carl Hanser Verlag München Wien

Als Dissertation genehmigt von der Technischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung:	13. 02. 1990
Tag der Promotion:	03. 12. 1990
Dekan:	Prof. Dr.-Ing. habil. G. Kuhn
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann
	Prof. Dr.-Ing. M. Geiger

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Hake, Frank Oswald:

Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems für
automatisierte Montagezellen / Frank Oswald Hake. Hrsg. von
Klaus Feldmann. - München; Wien: Hanser 1991

(Fertigungstechnik - Erlangen; 16)

Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 1990

ISBN 3-446-16428-6

NE: GT

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks
und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus,
vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des
Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein
anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichts-
gestaltung - mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG ausdrücklich
genannten Sonderfälle - , reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder
verbreitet werden.

©Carl Hanser Verlag München, Wien 1991

Herstellung: Copy Center 2000, Erlangen-Eltersdorf

Printed in Germany

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen-Nürnberg.

Herrn Professor Dr.-Ing. K. Feldmann, Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik am Institut für Fertigungstechnik, danke ich für seine wohlwollende Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Herrn Professor Dr.-Ing. M. Geiger, Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungstechnologie am Institut für Fertigungstechnik, danke ich sowohl für die Bereitschaft, das Korreferat zu übernehmen, als auch für seine fachlichen Anregungen zu meiner Arbeit.

Mein Dank gilt ferner allen Kollegen, Studenten und wissenschaftlichen Hilfskräften, die durch ihre Unterstützung zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Im besonderen gilt dies Herrn cand.-inf. Norbert Fesenbeckh für seine programmiertechnische Unterstützung.

Ferner gilt der Dank meiner Frau, die durch ihre Geduld und ihre Unterstützung wesentlich zu einer erfolgreichen Bewältigung der Aufgaben beigetragen hat.

Frank Oswald Hake

Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems für automatisierte Montagezellen

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Diagnose in der rechnerintegrierten Produktion	1
1.2 Konzept der Diagnose im Regelkreis	2
2 Einsatzfelder der Diagnose in der Produktion	6
2.1 Aufgaben der Überwachung und Diagnose	6
2.2 Bedeutung für den Betrieb und die Produktion	11
3 Diagnosespezifische Kennzeichen flexibler automatisierter Montagezellen	14
3.1 Struktur automatisierter Montagezellen	14
3.2 Mechanische Komponenten	17
3.3 Steuerungstechnische Komponenten	18
3.4 Sensortechnik	21
4 Beispiele für Überwachungs- und Diagnosesysteme	24
4.1 Merkmale der Überwachungs- und Diagnosesysteme	24
4.2 Einsatz- und Entwicklungsstand der Systeme	27
4.2.1 Einsatzbereiche	29
4.2.2 Technische Merkmale	31

	Seite
4.3 Integrierte Systemlösungen	34
4.3.1 Einsatz integrierter Softwarelösungen	35
4.3.2 Entwicklung spezieller Baugruppen	38
4.4 Lösungsverfahren mit externen Hilfsmitteln	41
4.4.1 Manuelle Datenerfassung	41
4.4.2 Automatisierte Verfahren mit externen Rechnereinheiten	42
4.4.3 Einsatz von Expertensystemen	45
4.5 Diagnosesysteme in anderen Einsatzfeldern	49
5 Problematik bekannter Systemkonzepte in der Montageautomatisierung	50
5.1 Nachrüstung vorhandener Anlagen	50
5.2 Übertragbarkeit der Lösungsansätze	52
5.3 Gewinnung und Aufbereitung der Prozeßinformationen	55
6 Entwicklung eines flexiblen Diagnosesystems für die integrierte Montage	58
6.1 Ziele des Systemeinsatzes	58
6.1.1 Leistungssteigerung der Montagesysteme	59
6.1.2 Transparenz des Betriebsverhaltens der Fertigungseinrichtungen	61

	Seite
6.2 Anforderungen an ein flexibles Lösungskonzept	65
6.2.1 Universelles Anwendungsspektrum	65
6.2.2 Maschinennahe Einsetzbarkeit	67
6.2.3 Integration in eine rechnergeführte Produktion	71
7 Das rechnergestützte Diagnosesystem CADig	73
7.1 Das Systemkonzept	73
7.1.1 Grundgedanken zum Systementwurf	73
7.1.2 Prozeßabbild und -überwachung	76
7.1.3 Klassifizierung und Diagnose der Prozeßzustände	81
7.1.4 Erfassung und Vorgabe der Prozeßzustände	86
7.1.5 Gestaltung der Mensch-Maschine- Kommunikation	92
7.1.6 Erweiterbare Systemfunktionalität	97
7.2 Die Entwicklungsumgebung	100
7.2.1 Rechnerbasis	100
7.2.2 Betriebssystem und Programmiersprache	102
7.2.3 Systematische Programmierung mit CASE-Hilfsmitteln	105
7.2.4 Gestaltung der Schnittstelle zur Zustandserfassung	110

	Seite
7.3 Einsatz und Erprobung in einer Montagezelle	114
7.3.1 Komplettmontage mit Industrieroboter	114
7.3.2 Projektierung der Schnittstellen	123
7.3.3 Implementierung des Überwachungs- und Diagnosesystems	129
7.3.4 Erfahrungen beim Einsatz des Systems CADig	138
8 Zusammenfassung	148
9 Literaturverzeichnis	150

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AP	Anpaßteilschnittstelle
AW	Anwenderschnittstelle
AWL	Anweisungsliste
BDE	Betriebsdatenerfassung
CADig	Computer Aided Diagnosis
CASE	Computer Aided Software Engineering
CPU	Central Processing Unit
DBS	Datenbanksystem
DNC	Direct Numerical Control
EPROM	Erasable Programmable Read Only Memory
FMEA	Failure Methods and Effects Analysis
FUP	Funktionsplan
IEC	International Electrotechnical Commission
IR	Industrieroboter
ISDL	INNOVATOR System Description Language
JIT	Just-In-Time
KI	Künstliche Intelligenz
KOP	Kontaktplan
LAN	Local Area Network
MDE	Maschinendatenerfassung
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTFF	Mean Time To First Failure
MTTM	Mean Time To Maintenance
MTTR	Mean Time To Repair
PR	Prozeßrechner
PROFIBUS	Process Field Bus
RAM	Random Access Memory
RC	Robot Control
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
SPC	Statistical Process Control
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
VPS	verbindungsprogrammierte Steuerung
XPS	Expertensystem

1 Einleitung

1.1 Diagnose in der rechnerintegrierten Produktion

Der Weg hin zu einer flexiblen, rechnerintegrierten Fertigung wird begleitet durch die Orientierung am wirtschaftlich Machbaren. Die Verbesserung der Verfügbarkeit und damit der Ausbringung der Fertigungseinrichtungen bestimmt dabei sehr stark die Wirtschaftlichkeit der Investition. Dies gilt vor allem für die hohen Investitionen bei rechnerintegrierten Produktionssystemen.

Dies wird ergänzt durch die Forderung nach einer weiteren Verbesserung der Flexibilität der Produktionsanlagen. Sie wird erforderlich durch eine stärkere Orientierung der Märkte hin vom kundenorientierten zum kundenbestimmten Verhalten - die Wandlung vom Verkäufer- zum Käufermarkt /133/.

Die Planungsaufgabe erfordert dabei die Entwicklung neuer Systematiken für das Vorgehen und neuer Werkzeuge zur Unterstützung durch z.B. Rechnersysteme (vgl. / 22/, / 24/, /114/, /132/, /135/). Gleiches gilt für die Konstruktion (vgl. /100/, /130/). Die Montageaufgabe als letzte Produktionsstufe erfordert neue Lösungen im Bereich der Steuerung, der Betriebsmittel und der Technologie (vgl. / 37/, / 50/, / 65/, / 81/).

Exemplarisch wurde an anspruchsvollen Aufgaben aus der Montagetechnik z.B. beim Fügen biegeschlaffer Teile, wie sie häufig in der Automobilmontage in Form von Schläuchen oder Dichtungen oder in der elektrofeinmechanischen Industrie in der Kabelmontage angetroffen werden, die Möglichkeiten dieser neuen Methoden und Komponenten in Labor oder Fertigung demonstriert (vgl. / 5/, / 31/, /134/).

Ein wichtiges informationstechnisches Bindeglied zwischen Planung, Konstruktion und Betrieb stellen Überwachungs- und

Diagnosesysteme zur Beurteilung und Optimierung der Qualität der Fertigungseinrichtungen dar (Bild 1.1).

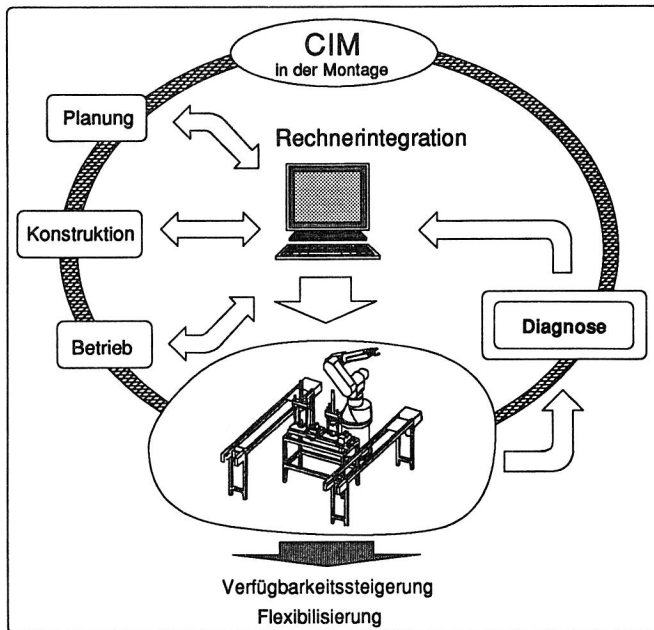


Bild 1.1: Diagnose als Baustein der rechnerintegrierten Produktion

1.2 Konzept der Diagnose im Regelkreis

Im Hinblick auf die verhältnismäßig kurze Erfahrungszeit, die in der Nutzung derartiger moderner, flexibler, rechnergestützter Methoden und Anlagen zur Verfügung steht, ist es nur schwierig möglich den wirtschaftlichen Erfolg explizit zu erfassen und auch nachzuweisen. Die Problematik des Wirt-

schaftlichkeitsnachweises flexibler Systeme ist bekannt und Gegenstand vieler Untersuchungen.

Voraussetzung für die realistische Planung und den wirtschaftlichen Betrieb moderner Fertigungs- und Montagesysteme ist, daß wesentliche Faktoren, die die Entscheidungsbereiche beeinflussen, bekannt sind (vgl. / 45/, /138/). Der im Vergleich zur herkömmlichen, manuell orientierten oder starr automatisierten Montage erheblich gestiegene Investitionsaufwand flexibler Systeme geht einher mit einer verstärkten Unsicherheit der zugrunde gelegten Plandaten wie Stückzahlen, Anzahl der Varianten und einem zusätzlichen Kostendruck durch steigenden Wettbewerb auch in nationalen Märkten.

Das aktuelle Wissen um das Anlagenverhalten, die Transparenz der Fertigung und Montage hat neben der Sicherstellung eines ungestörten Anlagenbetriebes durch Fehlervermeidung, Überwachung und schnelle Fehlerbehebung eine weiter steigende, elementare Bedeutung für den wirtschaftlichen Betrieb der rechnerintegrierten Fertigungs- und Montageanlagen.

Schon Untersuchungen, die zu Beginn der achtziger Jahre durchgeführt wurden, haben das beachtliche Potential aufgezeigt, das z.B. in einer seinerseits systematisierten und rationalisierten Fehlervermeidung zu finden ist. Laut Müller / 78/ werden z.B. über 6% des Umsatzes im deutschen Maschinenbau für die Verhütung, Erkennung und Behebung von technischen Fehlern aufgewendet.

Die Auswirkungen derartiger Fehler äußern sich im Anlagenbetrieb in einer verringerten Produktivität durch erhöhte Stillstandszeitanteile oder in erhöhten Betriebskosten durch höhere Reparaturkosten oder erhöhten Personalbedarf in der Anlagenbedienung. Auch in diesem Bereich findet sich noch ein erhebliches Rationalisierungspotential, denn die Verfügbarkeit automatisierter Montageanlagen liegt auch bei flexibler Verkettung noch erheblich unter dem theoretischen Maxi-

mum von 100%; die vorhandenen Daten zeigen ein Spektrum von unter 50% bis zu 95% /146/. Bezeichnend für den Grad der Planungssicherheit ist, daß die erreichten Werte oft erheblich vom Planziel abweichen /139/.

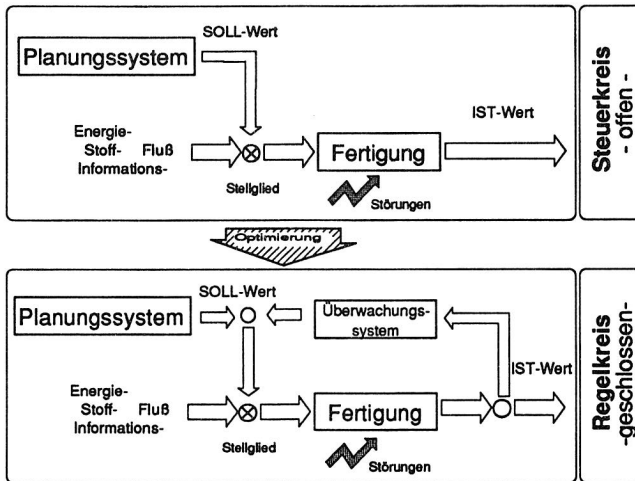


Bild 1.2: Steuerungs- und Regelungskonzept der Fertigung

Die abstrahierte Darstellung des betrieblichen Produktionsprozesses (Bild 1.2) in der Untergliederung in ein allgemeines Planungssystem und ein Fertigungssystem läßt klar erkennen, daß ohne den Einsatz eines Überwachungssystems in der Fertigung eine offene Steuerkette gebildet wird, in der das Fertigungssystem zwar über das Planungssystem im Sinne der Vorgabe eines SOLL-Wertes beeinflusst wird, in der jedoch unter der Einwirkung der in der Realität nicht zu umgehenden Störungen ein nur schwierig zu kontrollierendes Verhalten und damit Fertigungsergebnis als IST-Wert die Folge ist. Ein derartiges Systemmodell als offene Steuerkette ist nur bei

sehr stabilen Produktionssystemen mit gut bekannten und in die Planungsvorgaben eingearbeiteten Störungsauswirkungen einsetzbar.

Die effiziente Optimierung oder Stabilisierung des Produktionsprozesses und die optimierte Nutzung der Produktionsfaktoren sind nur möglich, wenn eine Rückkoppelung zwischen Produktions- und Planungssystem erfolgt, d.h., wenn ein geschlossener Regelkreis z.B. durch Einsatz eines Überwachungssystems aufgebaut wird.

Dem Einsatz von Hilfsmitteln für die Erfassung und Aufbereitung der Informationen aus Maschinen und Anlagen kommt demnach sowohl aus praktischen als auch aus theoretischen Erwägungen eine sehr große Bedeutung zu. Das Wissen um das tatsächliche Anlagenverhalten sichert nicht nur die Planungsbasis für Nachfolgesysteme oder bietet Ansätze für eine Anlagenoptimierung, sondern es sollte ein elementarer Bestandteil der rechnerintegrierten Produktion sein.

Im folgenden sollen unter dem besonderen Gesichtspunkt der Einsatzmöglichkeiten in flexibel automatisierten Montagezellen der Stand der Technik dargestellt und ein Konzept für ein flexibles Überwachungssystem vorgestellt werden. Dieses soll als standardisierbares Hilfsmittel ein breiteres Akzeptanz- und Einsatzfeld in der Montage gewährleisten, um dem Informationsbedarf in der rechnerintegrierten Produktion gerecht werden zu können.

2 Aufgaben und Bedeutung der Überwachung und Diagnose für die Produktion

2.1 Aufgaben der Überwachung und Diagnose

Technische Systeme sind a priori fehlerbehaftet. Fehler oder Störungseinflüsse wirken auf sie aus der Umgebung oder aus ihnen selber heraus. Eine Fehlfunktion, die eine Abweichung von einer geplanten Funktion darstellt und nicht zulässig ist, wird als Störung bezeichnet. Einflüsse, die zwar eine Abweichung von einem denkbaren Idealzustand bewirken, aber keine Abweichung von einer geplanten Funktion zur Folge haben, führen definitionsgemäß nicht zu einem Fehler oder einer Störung. Unzulässige Abweichungen sind also zu vermeiden - ein übergeordnetes Anliegen einer systematischen und an den Zielen wirtschaftlichen Handelns orientierten Vorgehensweise.

In verschiedenen Phasen der Fertigung, von der Konstruktion des Werkstückes über die Fertigungsvorbereitung bis hin zur Fertigungsausführung (Bild 2.1) können Fehler verursacht und also auch vermieden werden. Klassische Beispiele aus der Praxis der Fertigung und Montage haben ihren Niederschlag in den Regeln zur fertigungsgerechten Konstruktion gefunden: Vermeidung von biegeschlaffen Teilen oder Wirrteilen, Reduzierung der Teileanzahl usw..

In der fertigungsbegleitenden Phase kann durch verschiedene Strategien in Bezug auf die Werkstücke, die Fertigungseinrichtung oder den Prozeß auf Fehlerursache und -auswirkung eingegangen werden. Eine Fehlervermeidung erfolgt durch Prüfen der Teile und Baugruppen, bevor sie in den eigentlichen Montageprozeß eingeschleust werden. Kritische Teile werden einer 100%-Prüfung unterzogen. Verschleißbedingte Fehler der Betriebsmittel können durch eine vorbeugende Instandhaltung reduziert werden. Es können Methoden der statistischen Prozeßüberwachung (SPC) eingesetzt werden. Letzt-

endlich kann eine Begrenzung der Fehlerauswirkung nur nach Eintritt eines Fehlers erfolgen. Dies setzt eine Fehlererkennung voraus - die Aufgabe eines Überwachungssystems.

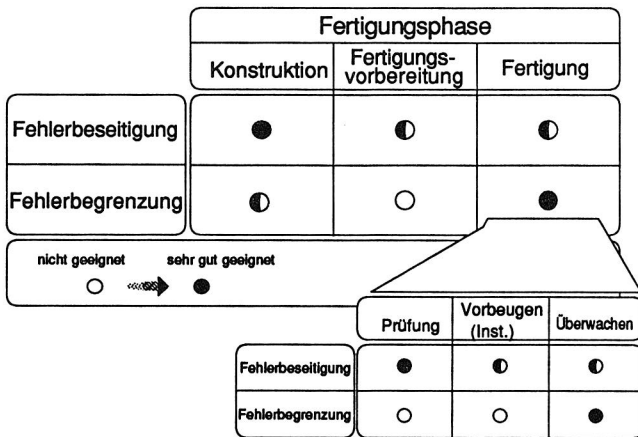


Bild 2.1: Vermeidung von Fehlerursache und Fehlerauswirkung in verschiedenen Phasen der Fertigung

Fehler oder Störungen bewirken in der Regel einen Schaden. Zu unterscheiden sind technische Schäden, wie z.B. eine Kollision von Handhabungsgerät und Vorrichtung, oder organisationsbedingte Schäden, wie z.B. Stillstand einer Montagehauptlinie bei ungepufferter Koppelung mit einer störungsanfälligen Nebenlinie. In technischen Systemen werden immer Überwachungseinrichtungen eingesetzt, um Schäden gering zu halten. Elemente der Überwachung und gegebenenfalls der Diagnose sind dabei zumindest Bestandteil technischer Einrichtungen, wenn sie auch nicht als eigenständiges System in der Planung oder im Betrieb in Erscheinung treten werden.

Die Anlagenüberwachung führt zur Feststellung einer Abweichung von einem geplanten Zustand und zur Auslösung einer Reaktion. Diese ist in der Regel eine Stillsetzung der Anlage und eine Alarmmeldung. Aufgabe im Sinne einer Diagnose wäre ferner eine weitergehende Analyse der Störung und eine Beschreibung der Störungsursachen oder der Möglichkeiten sie zu beheben.

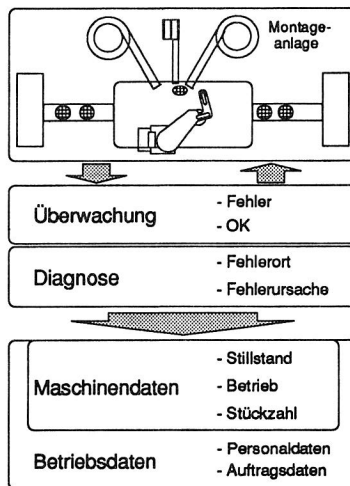


Bild 2.2: Überwachungs- und Diagnoseinformationen als Basis der Betriebsdatenerfassung

Wie durch eigene Betriebsuntersuchungen ermittelt wurde, ist es Stand der Technik in vielen Montageanlagen, daß in der Mehrzahl der Fälle lediglich eine Feststellung einer Störung in Form einer Sammelmeldung realisiert ist. Die in einem Steuerungsprogramm hinterlegten logischen Abfragen werden im einzelnen nicht im Sinne einer verfeinerten Zustandsanalyse ausgewertet.

Die Aufgaben des Überwachungs- und Diagnosesystems gehen fließend in den Aufgabenbereich der Betriebsdatenerfassung (BDE) über (Bild 2.2). Nach Roschmann / 97/ werden als Betriebsdaten alle jene Daten bezeichnet, die im Laufe eines Produktionsprozesses anfallen oder verwendet werden. Die Information über den Grad der Funktionserfüllung eines technischen Systems ist also ein elementares Betriebsdatum. Sie kann aufbereitet mit weiteren technischen und organisatorischen Daten, z.B. gefertigte Stückzahl, Auftragskennndaten, zum Bestandteil eines komplexen Informationssystems ausgebaut werden.

Überwachungs- und Diagnosesysteme liefern die Informationen, mittels derer die für die Betriebsleitung relevanten Daten zur Darstellung technischer und organisatorischer Zusammenhänge gebildet werden (vgl. DIN 66201 Teil 1 / 18/). Wesentliche Grundinformationen und abgeleitete Kennzahlen, wie sie für eine wirtschaftliche Planung und einen wirtschaftlichen Betrieb erforderlich sind, werden ferner von Herzlieb / 45/ beschrieben (siehe Abschnitt 6.1.2).

Zur systematischen Planung einer bedarfsgerechten Überwachung wurde von Müller / 78/ ein Ansatz entwickelt, der den geschätzten erforderlichen Überwachungsaufgaben den wirtschaftlich notwendigen Aufwand gegenüberstellt. Dieser Ansatz beruht auf praktische Erfahrungen und Untersuchungen in der spanenden Fertigung. Er wurde von Hausmann / 41/ aufgenommen und zu einem Planungsschema für die Abschätzung eines wirtschaftlich vertretbaren Überwachungsaufwandes für die Montage durch eine systematische Sensoreinsatzplanung weiterentwickelt.

Wichtige Ziele des Einsatzes von Überwachungs- und Diagnosesystemen sind demnach die Fehlervermeidung bei Fertigungsmitteln und Werkstücken sowie die Prozeßoptimierung als übergreifendem Anliegen der Funktions- und Qualitätsüberwachung (Bild 2.3). Der Systemnutzen ergibt sich durch

- Reduzierung von Ausschuß- und Nacharbeitskosten,
- Reduzierung der Schadens- und Ausfallkosten,
- automatisierte und objektivierte Gewinnung aktueller Betriebsdaten für übergeordnete PPS-Systeme.

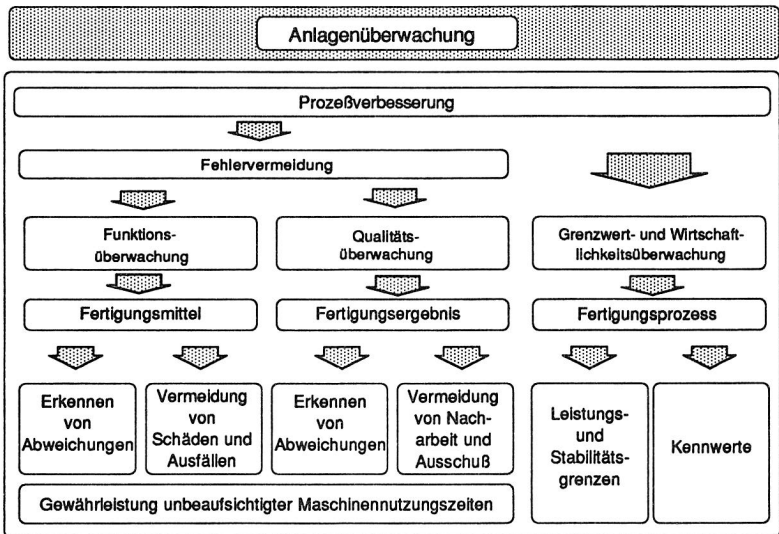


Bild 2.3: Ziele einer Anlagenüberwachung (nach / 78/)

Ein verbessertes Prozeßverhalten mit verringertem Fehleraufkommen und verringerten Fehlerauswirkungen setzt Personalkapazitäten frei. Dies ermöglicht unter Umständen den Übergang zur Mehrmaschinenbedienung in bedienerarmer Schicht oder die Nutzung von Pausen- und anderen Zusatzzeiten zur bedienerlosen Fertigung.

Daneben bietet ein Überwachungssystem die Möglichkeit, über die Langzeiterfassung und -auswertung Leistungs- und Stabilitätsgrenzen des Fertigungssystems zu ermitteln und wirtschaftliche Kennwerte alternativer Anlagenkonzepte oder Komponenten zu vergleichen.

2.2 Bedeutung für den Betrieb und die Produktion

Aus den genannten Aufgabenbereichen der Überwachung und Diagnose läßt sich auf die Bedeutung der Systeme für den Betrieb und die Produktion schließen. Gerade auf dem Gebiet der spanenden Fertigung gibt es schon seit Jahren (vgl. / 3/, / 47/) eine Fülle von Ansätzen zur Darstellung der Bedeutung und zur Entwicklung von solchen Systemen mit zum Teil sehr speziellen Einzelfragestellungen (/ 57/, / 62/, /118/ u.a.).

Im Bereich der Montage lagen die Schwerpunkte der Forschungsaktivitäten vor allem im Bereich der Systematisierung der Planung von Montageanlagen (z.B. / 92/, /149/) sowie in Ansätzen zur Berücksichtigung einer Steigerung der Verfügbarkeit durch optimierte Teilsysteme wie Zuführsysteme und Puffereinrichtungen (z.B. / 45/, /146/).

Die Bedeutung der Kenntnis aktueller Betriebsdaten wird in Betriebsbefragungen immer wieder bestätigt (vgl. / 58/). Reisch / 92/ weist besonders darauf hin, daß im Sinne der Integration von Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsgesichtspunkten bei der Planung von Montageanlagen häufig eine Fehleinschätzung scheinbarer technischer Problemfälle daraus resultiert, daß

- Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsuntersuchungen an gleichen oder ähnlichen Anlagen nur in unzureichendem Maße durchgeführt werden,

- Ergebnisse der Untersuchungen nicht ausreichend dokumentiert oder nicht in den interessierten Projektteilungen zur Verfügung stehen.

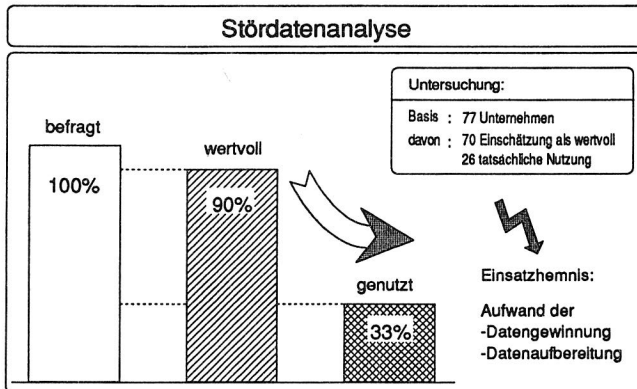


Bild 2.4: Bedeutung und tatsächliche Nutzung einer Stördatengewinnung und -aufbereitung (nach /143/)

Dies bestätigen auch Untersuchungen des Forschungsinstitutes für Rationalisierung in Aachen / 38/. Sie haben ergeben, daß bei 50% der untersuchten Betriebe zum Beispiel die elementare Information des Nutzungsgrades von Maschinen und Anlagen zwar gespeichert, aber nur in 20% der Fälle auch laufend aktualisiert werde - obwohl in 70% der Fälle aufgrund veränderter Randbedingungen der Produkte oder der Produktion ein Aktualisierungsbedarf bestehe.

Eine weitere Unternehmensbefragung verdeutlicht diese Problematik (vgl. /143/). Befragt zum Einsatz der Stördatenanalyse bei der Neuplanung von Montageanlagen ergab sich folgendes Bild: Fast alle Befragten messen der Analyse eine

große Bedeutung zu, aber nur ein Drittel nutzt sie auch tatsächlich (Bild 2.4).

Dies ist darauf zurückzuführen, daß mit den gegenwärtig zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln eine Datenaufnahme und Datenanalyse mit einem sehr hohen Aufwand verbunden ist. Daraus leitet sich die Notwendigkeit ab, für den praktischen Einsatz geeignete Systeme zur Diagnose und Überwachung zu entwickeln und zu erproben.

Neben der Entwicklung der Hilfsmittel darf jedoch auch das organisatorische Umfeld der Datenaufbereitung und -weiterverarbeitung im technischen Bereich nicht vernachlässigt werden. Nach Betriebserfahrungen an Montagestationen, die mit entsprechenden Datenerfassungseinrichtungen versehen sind, zeigt sich, daß z.B. eine aufwendige, graphisch unterstützte Anzeige gewonnener Betriebsdaten häufig nicht mit einer praktizierten Nutzung einhergeht. Hier gilt es, den Einsatz der Datenerfassungs- und Ausgabegeräte sinnvoll mit einem abgestuften Nutzerkreis vom Bedienerpersonal vor Ort bis hin zu Betriebsleitungsebenen abzustimmen.

Gerade die Wichtigkeit des letztgenannten Punktes wird auch aus betriebswirtschaftlicher und technischer Sicht im Rahmen der Einführung von Systemen der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) immer wieder betont (vgl. / 14/, / 64/, / 66/). Die durchgehende und aktuelle Information wird für den Betrieb der PPS-Systeme stillschweigend oder nachdrücklich vorausgesetzt (/ 38/, / 51/).

Dabei wird häufig nicht näher auf diese Komponente der Betriebsdatengewinnung eines Rückmeldesystems eingegangen, bzw. es wird die Entwicklung entsprechender Komponenten lediglich angedeutet. Lutz / 64/ kommt zu dem Schluß, daß die optimale Ausnutzung der heute gängigen Systeme der PPS unter anderem deshalb nicht möglich ist, weil diese Rückmeldungen nicht laufend und damit nicht aktuell erfolgen.

3 Diagnosespezifische Kennzeichen flexibler automatisierter Montagezellen

Wie in den vorhergehenden Abschnitten dargestellt wurde, besteht für die Montage ein Defizit in der Bereitstellung fortschrittlicher Hilfsmittel der Überwachung und Diagnose. Im folgenden werden Merkmale und Betriebsmittel automatisierter Montagezellen beschrieben, die wesentlichen Einfluß auf die Gestaltung eines flexiblen Diagnosesystems haben.

3.1 Struktur automatisierter Montagezellen

Ein Montagesystem stellt eine Anordnung von technischen Einrichtungen und Menschen dar, die zum Zusammenbau von Teilen und/oder Baugruppen zu Gruppen höherer Erzeugnisebenen dient (nach Miese / 74/). Bei steigendem Automatisierungsgrad verlagern sich die Aufgaben des Bedieners von Montagetätigkeiten hin zu Rüst-, Beschickungs- und Überwachungsaufgaben (vgl. / 17/, / 80/).

In der Montage finden sich neben Einmaschinensystemen komplexe, verkettete Montagestraßen, Einzweckmaschinen hoher Produktivität neben Handarbeitsplätzen großer Flexibilität. Eine verallgemeinernde Betrachtung z.B. zur Entwicklung neuer Konzepte der Diagnose setzt eine sinnvolle Strukturierung der betrachteten Montagesysteme voraus, um zu überschaubaren Teileinheiten mit differenzierten Lösungsansätzen zu gelangen (vgl. Ansatz in der flexiblen Fertigung / 29/).

Ein solches Element ist die Montagezelle. Sie bildet eine logische und autonom funktionsfähige Teileinheit des Gesamtsystems im Bereich der Montage (vgl. / 75/) und stellt die Basis übergeordneter Strukturen wie einer Fertigungslinie oder eines Fertigungsnetzes dar (/ 70/).

Die Bedeutung der autonomen Funktionsfähigkeit wird im besonderen bei der Betrachtung der steuerungstechnischen Auf-

gaben in der flexiblen Montage sichtbar (vgl. / 71/). Neben technologischen Aufgabenstellungen ist in der flexiblen Montage eine hohe Variantenzahl der Produkte zu beherrschen.

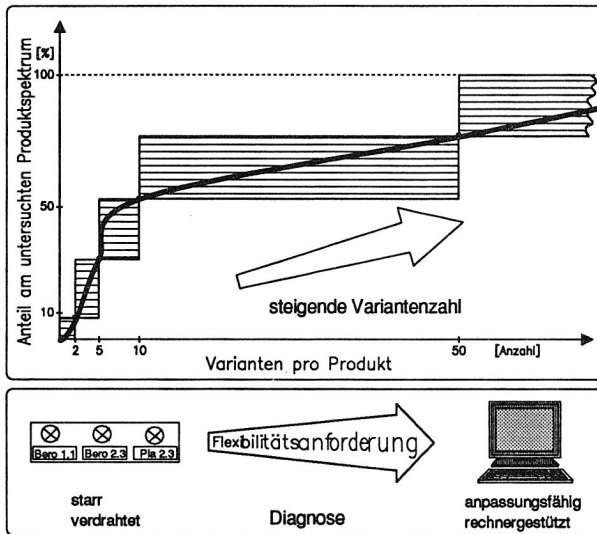


Bild 3.1: Variantenzahl als Automatisierungshemmnis in der Montage (nach / 81/)

Eine Untersuchung hat gezeigt / 81/, daß 40% der Montageprodukte in 3 bis 10 Varianten, jedoch bereits 25% der Produkte in mehr als 50 Varianten zu montieren sind (Bild 3.1). Varianten können sich durch geringe Geometrieabweichungen bis hin zu veränderten Montageabläufen und Montagehilfsmitteln unterscheiden. Dadurch werden erhebliche Anforderungen an die Steuerungstechnik und auch an Überwachungs- und Diagnosesysteme gestellt.

Folglich ergeben sich steigende Anforderungen an die Rechnerleistung. Diese Anforderungen sind jedoch bei komplexen, automatisierten Montagesystemen auch von leistungsstarken, zentralen Einheiten kaum zu bewältigen (vgl. / 75/). Die Kombination von autonomen Zellensteuerungen mit übergeordneten Montageleitrechnern hingegen

- verringert die Anforderung an die Einzelrechnerleistung,
- ermöglicht die Bewältigung neuer Aufgaben z.B. im Bereich der rechnergestützten Überwachung und Diagnose,
- verbessert die Transparenz des Systems durch Entkoppelung und Dezentralisierung der zellenspezifischen Aufgaben und
- erhöht die Verfügbarkeit des Gesamtsystems durch autonom funktionsfähige Zellen (Bild 3.2).

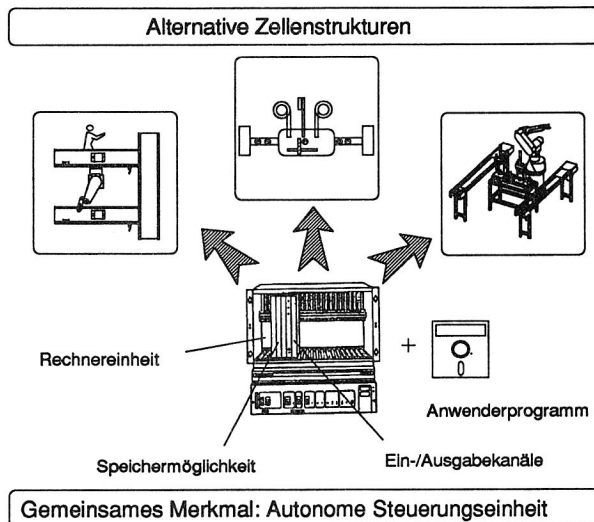


Bild 3.2: Autonome Steuerungseinheit als Kennzeichen der Montagezelle

3.2 Mechanische Komponenten

Die charakteristischen Montageaufgaben (Handhaben, Fügen /124/) werden durch das automatisierte Zusammenwirken von mechanischen Betriebsmitteln gelöst. Beispiele für Handhabungseinrichtungen sind Bewegungssysteme wie mehrachsige NC-Geräte oder Industrieroboter und Systeme zur Sicherung der Teileorientierung wie Greifersysteme. Die Teilebereitstellung erfolgt über Fördersysteme wie Doppelgurtbandförderer und Speichereinrichtungen wie Paletten, Vibrationswendelförderer. Daneben werden besondere Einrichtungen wie z.B. stationäre Einpreßvorrichtungen bei hohen Fügekräften oder mobile Werkzeuge z.B. Schweißeinrichtungen eingesetzt.

Bekannten, typischen Störungen - bedingt z.B. durch Verschleiß von Greifeinrichtungen - kann bereits konstruktiv - z.B. durch eine Veränderung der Geometrie oder der Werkstoffe - entgegengewirkt werden. Dieses Vorgehen ist in hohem Maße praxis- und erfahrungsorientiert. Eine optimierte Auswertung des Anlagenverhaltens z.B. durch eine verfeinerte Erkennung von Störungsursachen und damit verbesserte Bestimmung der Abhilfemaßnahmen ist das Ziel der Entwicklung neuer Diagnosesysteme (Bild 3.3).

Die Vielfalt der eingesetzten, alternativen Komponenten stellt hohe Ansprüche an die Anpaßbarkeit der Systeme der Überwachung und Diagnose. Neben flexiblen, modular aufgebauten Handhabungseinrichtungen (/ 10/, / 77/) werden auch starre, kurvengesteuerte Geräte eingesetzt. Die Zellenflexibilität ergibt sich aus dem Zusammenspiel flexibler und starrer Elemente (vgl. / 50/).

Die Entwicklung eines Überwachungs- und Diagnosesystems muß diese Vielfalt der Möglichkeiten zur Realisierung der angesprochenen Flexibilität durch eine eigene Flexibilität berücksichtigen. Eine Konzentration auf bestimmte mechanische Komponenten mit besonderen Aufgabenstellungen in der Überwachung von Bahnbewegungen o.ä. kann also nicht erfolgen.







Mechanische Komponenten flexibler Montagezellen und Fehlermöglichkeiten					
Handhabung		Bereitstellung		Sonderaufgaben	
Bewegen	Sichern	Fördern	Speichern	stationär	mobill
				Vorrichtung	Werkzeuge
					
Linearachsen	Zangengreifer	Doppelgurtband	Paletten	Verstemmen	Schweißen
-"stick-slip" -Lagerspiel	-Verschmutzung -Verschleiß	-Rutschen -Verkanten -Stau	-Beschädigung -Fehlteile	-Einstellwerte fehlerhaft -Verschmutzung -Verschleiß	

Bild 3.3: Fehlermöglichkeiten bei mechanischen Komponenten flexibler Montagezellen

3.3 Steuerungstechnische Komponenten

Üblicherweise werden heute in automatisierten Montagezellen speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) eingesetzt. Diese SPS weisen in ihrer Funktion, Programmierung und in ihrem Aufbau einige Besonderheiten im Unterschied zu z.B. Prozeßrechnern auf, die den Entwurf von Diagnoselösungen wesentlich beeinflussen.

Es handelt sich bei der SPS um eine Weiterentwicklung der ursprünglich verbindungs-, also verdrahtungsorientierten Schütz- und Relaissteuerungen (VPS) und um eine Umsetzung dieser Funktionalität in moderne, freiprogrammierbare und mikroprozessorgestützte Bausteine.

Im Unterschied zu den verbindungsprogrammierten Steuerungen, die beliebig viele Signalzustände gleichzeitig verarbeiten können (parallele Arbeitsweise), arbeitet eine SPS quasiparallel, da sie auf ein virtuelles, zyklisch aktualisiertes Prozeßabbild der Ein- und Ausgangskanäle zugreift. Man kann von einer quasiparallelen Arbeitsweise sprechen, weil die Zeit zur Ausführung eines Zyklus üblicherweise im Millisekundenbereich liegt /144/.

Im Sinne einer Verbesserung der Anwenderakzeptanz im Übergang von VPS- zu SPS-Anwendungen wurde die aus den VPS bekannte Programmierlogik - trotz der völligen technologischen Umstellung - beibehalten (/111/, /128/). Die Anwenderfreundlichkeit der Bedienung und die einfache Programmierung werden auch als Unterschied gegenüber Prozeßrechnersystemen betont, die u.a. aus diesen Gründen in vielen Bereichen von den immer leistungsfähigeren SPS ersetzt werden (/ 13/, / 54/). In der Programmierung sind im besonderen zwei Programmablaufarten zu unterscheiden.

Zum einen finden sich Steuerungen mit vorwiegend kombinatorischen Funktionen oder Zeitfunktionen, jedoch ohne zwangsläufig schrittweisen Ablauf. Sie werden als Verknüpfungssteuerungen bezeichnet. Bei Ablaufsteuerungen hingegen ist immer nur ein ganz bestimmter Programmteil, ein Programmschritt, zur Bearbeitung freigegeben. Erst wenn die Ablaufbedingungen dieses Schrittes erfüllt sind, wird der nächste Schritt geschaltet.

Einer Verknüpfungssteuerung kann durch das Einbringen von Verriegelungsgliedern und -bedingungen ein ablauforientiertes Verhalten aufgeprägt werden / 88/. Die ablauforientierte Programmbearbeitung erleichtert die Einbindung von komplexeren Abfragen von für die Montage typischen Weiterschaltbedingungen im Sinne einer Anlagenüberwachung.

Eine Problematik in der Erweiterungsflexibilität bestehender SPS-Programme ergibt sich aus dem Zusammenhang zwischen Zykluslänge und Anzahl der Programmanweisungen. Eine Erweiterung der Schrittzahl führt in der Regel zu einer Zyklus- und damit Reaktionszeitverlängerung.

Für die SPS-Programmierung wurden besondere Programmierverfahren oder -sprachen entwickelt, die sich von den Hochsprachen anderer Rechnersysteme unterscheiden. Diese Sprachen sind in weiten Bereichen in der Anwenderoberfläche standardisiert worden. Nach der VDI-Richtlinie 2880 /125/ z.B. ist ein Programmentwurf für eine SPS in folgender Form möglich:

- Anweisungsliste (AWL)
Klarschriftprogrammierung, ähnlich Assembler
- Kontaktplan (KOP)
grafische Programmierung, ähnlich Stromlaufplan
- Funktionsplan (FUP)
grafische Programmierung, ähnlich Logikplan

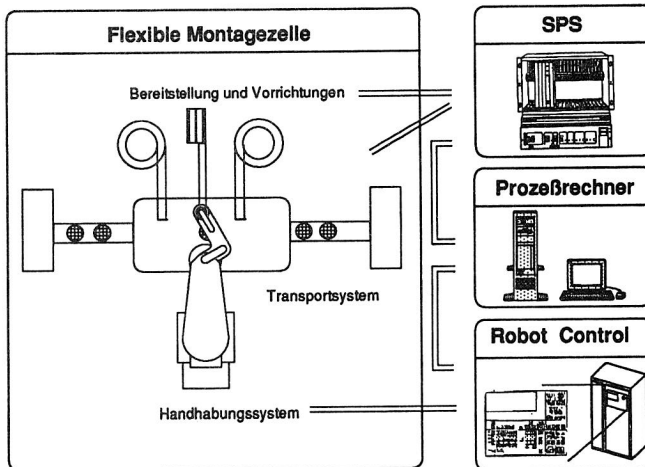


Bild 3.4: Alternative steuerungstechnische Komponenten

Eine größtmögliche Flexibilität in der Anpassung der Steuerungskomponente an den spezifischen Einsatzfall bieten modular aufgebaute SPS. Die Basis-CPU und Standardbaugruppen zur Behandlung binärer Ein- und Ausgänge können durch steckbare Zusatzbaugruppen erweitert werden, unter anderem durch spezialisierte Diagnosebaugruppen (siehe Abschnitt 4.3).

In der Praxis werden neben SPS (Bild 3.4) jedoch auch eine Vielzahl anderer Rechnersysteme zur Steuerung der Montagezelle eingesetzt, z.B. spezifische Steuerungen für Handhabungsgeräte (vgl. / 60/, /112/). Vereinzelt werden heute schon Personalcomputer (PC) zur Steuerung von Montagesystemen eingesetzt. Das Konzept eines universellen, übertragbaren Diagnosesystems kann sich deshalb nicht auf die Berücksichtigung der SPS-Technik beschränken.

3.4 Sensortechnik

Die Sensortechnik ist ein elementares Hilfsmittel der Überwachung und Diagnose. Sensoren dienen der Gewinnung der Informationen über den Prozeß - der Gewinnung des Prozeßabbildes.

Wesentliche Sensoraufgaben in einem Montageprozeß sind

- Anwesenheitserkennung,
- Geometrieerkennung und -beschreibung,
- Kraft-, Momenten- und Beschleunigungsermittlung.

Durchfluß, Temperatur oder Drücke in Gasen oder Flüssigkeiten lassen sich als Meßgrößen in Montagesystemen i.d.R. vernachlässigen (Bild 3.5).

Für diese Sensoraufgaben werden auf dem Markt eine Vielzahl von komplexen und einfachen Sensorlösungen angeboten (vgl.

/ 6/, / 52/, / 85/). Als Hilfsmittel der Montagablaufüberwachung und -steuerung werden bisher jedoch nur in Einzelfällen komplexe Sensorsysteme eingesetzt (vgl. / 59, / 91/):

- Systeme der Bildverarbeitung,
- Lasermesßgeräte zur Abstandsmessung oder Konturerkennung,
- Kraftmeßsysteme.

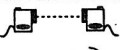



Sensortyp	Einfach	Komplex
Beispiel	  <ul style="list-style-type: none"> - Lichtschranke - Näherungsschalter 	  <ul style="list-style-type: none"> - Bildverarbeitung - Dehnmeßstreifen
Erkennungsaufgabe	- Anwesenheit	- Muster - Kraft
Sensorinformation	gering	hoch
	binär	analog digital
Verbreitung	hoch	gering
Schnittstelle	Standard	spezifisch

Bild 3.5: Einsatz einfacher und komplexer Sensoren
in der Montage

Wie in einer Untersuchung von Nolting / 86/ bestätigt wird, dominieren in Montageanlagen einfache Sensoren mit schaltender Funktion, induktive oder optische Näherungsschalter oder Lichtschranken.

In der Praxis wird der Einsatz komplexer Sensorsysteme in Montageanlagen z.B. aufgrund der komplexen Fragen der Datenübertragung und -verarbeitung eingeschränkt (/ 15/, / 69/).

Die Verringerung der Schnittstellenproblematik durch die Standardisierung von Signalübertragungswegen und -anschlüssen wird durch den Einsatz genormter Feldbussysteme, wie z.B. dem PROFIBUS (/ 46/), angestrebt. Ein fortschrittliches Diagnosekonzept sollte diese Entwicklungen durch eine angepaßte Modularität in Bezug auf die Schnittstellen zur Sensortechnik berücksichtigen.

4 Beispiele für Überwachungs- und Diagnosesysteme

Der Zwang zur wirtschaftlichen und technischen Optimierung der Fertigungseinrichtungen hat zur Entwicklung und Realisierung einer großen Zahl von Systemen geführt, die sich mit Fragen der Überwachung und Diagnose befassen. Einleitend werden wesentliche Begriffe und Merkmale zu dieser Problematik erläutert. Im weiteren geben die Ergebnisse einer Marktuntersuchung einen Überblick über den zur Zeit erreichten Stand der Technik. Diese Untersuchung konzentriert sich auf Systeme, die im Bereich der flexiblen Montage einsetzbar sind.

4.1 Merkmale der Überwachungs- und Diagnosesysteme

Nach DIN 19222 / 16/ ist unter Überwachen das Überprüfen ausgewählter Größen auf Einhaltung vorgegebener Werte, Wertbereiche oder Schaltzustände zu verstehen. Der Vergleich der bereitgestellten IST-Größen und SOLL-Größen sowie die Feststellung einer Abweichung oder Einhaltung sind Aufgaben eines Überwachungssystems (vgl. auch / 18/, / 67/, / 96/ oder /106/). Werden IST-Größen lediglich protokolliert oder visualisiert, entspricht dies einer Beobachtung des Prozesses (siehe Bild 4.1).

Der Schritt von einer Überwachung zu einer Diagnose erfolgt durch die Weiterverarbeitung des Überwachungsergebnisses. Liegt eine Abweichung vor, so sind die Ermittlung

- des Abweichungsortes (Lokalisieren) und
- der Abweichungsursache (Diagnostizieren)

die kennzeichnenden Merkmale eines Diagnosesystems. Das Ergebnis der Diagnose kann eine Rückwirkung auf den Prozeß bewirken. Die Bereitstellung diagnoserelevanter Informationen kann indirekt über den Menschen (off-line, z.B. Eingabe

über Tastatur) oder direkt über automatisierte Systeme erfolgen (on-line, z.B. über ein Datenbussystem).

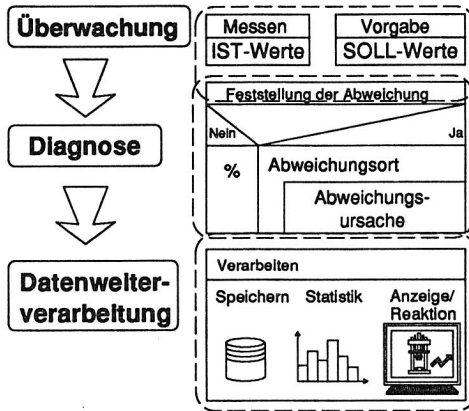


Bild 4.1: Merkmale der Überwachung, Diagnose und Datenweiterverarbeitung

Zu unterscheiden ist ferner das Einsatzfeld der Systeme im prozeßfernen oder -nahen Bereich. Diese Zuordnung der hierarchischen Betriebsebenen verdeutlicht neben dem unterschiedlichen Funktionsumfang der Systeme vor allem die Einsatzschwerpunkte und -bedingungen aus Herstellersicht.

Betrachtet werden im folgenden die Einsatzbereiche der

- Steuerungsebene (prozeßnah),
- Prozeßleitebene (Übergang von prozeßnah und -fern),
- Betriebsleitebene (prozeßfern).

Der ersten Ebene, der Steuerungs- oder Einzelleiteebene, sind Einzelsteuerungen und maschinengebundene Geräte und Systeme

zuzuordnen. Hier erfolgt ein direkter Eingriff in den Prozeß.

Als Prozeßleitebene wird die Ebene zwischen Steuerungs- und Betriebsleitebene bezeichnet. Auf dieser Ebene werden unterlagerte Stationen der Steuerungsebene zusammengefaßt. Sie bietet eine Übersicht über mehrere Maschinen oder Bearbeitungsabläufe und -vorgänge und somit die Möglichkeit der Beobachtung und zum Teil der Bedienung von verschiedenen Stationen bzw. deren Steuerungen. In Anlehnung an / 16/ wird in diesem Bereich keine unmittelbare Einwirkung über Stellglieder auf den Prozeß erfolgen.

Der höchsten Ebene, d.h. der Betriebsleitebene, zugehörig sind Systeme, die eine globale Übersicht über das Betriebsgeschehen und eine zentrale Überwachung von Unterstationen ermöglichen. Diese Grenzen sind allerdings nicht absolut vorgegeben. Ein System kann auch Funktionsbereiche mehrerer Ebenen umfassen.

Wie in Bild 4.2 dargestellt lassen sich die untersuchten Systeme in einer Baumstruktur mit zwei Hauptgruppen von Systemen unterteilen.

Integrierte Systeme werden in eine vorhandene Steuerung eingebunden, d.h., sie nutzen vorhandene logische und andere Kapazitäten mit oder sind im Sinne eines festen Einbaues, z.B. durch Zusatzprozessoren in einer zentralen Rechnerbaugruppe als Unterstützung der CPU, von diesen nicht trennbar.

Diese integrierten Erweiterungen können sowohl gerätetechnische als auch programmtechnische Komponenten in Ergänzung des Kernsystems umfassen. Externe Systeme hingegen bauen auf Erweiterungen der Basissteuerung auf. Letztere können direkt oder on-line bzw. indirekt oder off-line an den Prozeß angeschlossen werden. Im Bereich der off-line Systeme werden neben Ansätzen mit Expertensystemen (XPS) auch andere, kon-

ventionelle Verfahren vorgestellt, die sich auf eine manuelle Eingabe von Prozeßinformationen stützen.

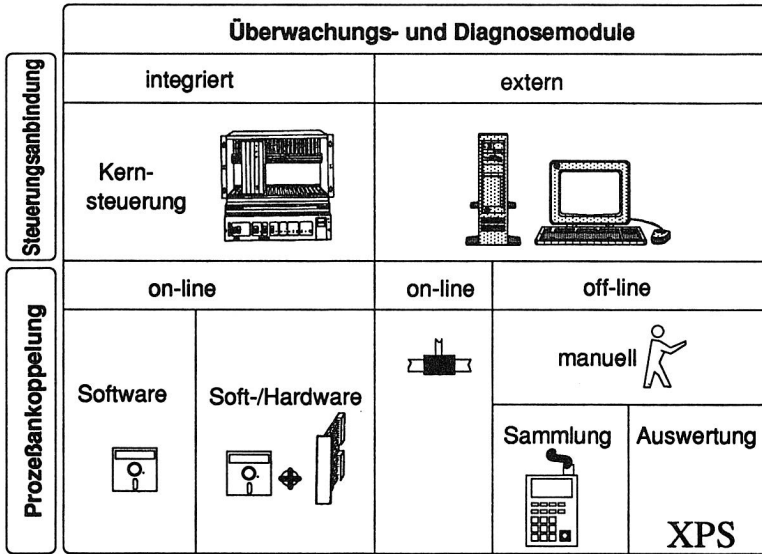


Bild 4.2: Einteilung der Systeme nach der Koppelungsart an Kernsteuerung und Prozeß

4.2 Einsatz- und Entwicklungsstand der Systeme

Eine Marktbeobachtung hat ergeben, daß eine große Anzahl von Systemen oder Komponenten unter dem Begriff der Prozeßbeobachtung, der Überwachung oder Diagnose angeboten wird. Kurzbeschreibungen vieler Überwachungs- und Diagnosesysteme für technische Einrichtungen lassen eine universelle Einsetzbarkeit z.B. auch für den Bereich der Montage vermuten. Folgende einfache Auswahlkriterien werden jedoch bereits von einer Vielzahl von Systemen nicht erfüllt:

- Eine Bedienerunterstützung in gerätespezifischen, steuerungstechnischen Problemstellungen (z.B. Parameterisierung von Modulbaugruppen) alleine ist nicht ausreichend. Der Bediener muß vielmehr über Funktionen zur Erfassung und Auswertung des gesamten Prozeßablaufs verfügen können.
- Keine Verwendung als reines Überwachungs- und Leitsystem für kaufmännische und planerische Aufgaben, sondern Eignung für eine maschinennahe Prozeßkontrolle.
- Es sind dem Bediener Prozeßwerte und -zustände anzuzeigen und nicht nur einer rechnerinternen Weiterverarbeitung zu unterziehen.
- Die Informationsausgabe an den Bediener soll in einer allgemein verständlichen Form erfolgen. Dies bedeutet, daß keine codierten Meldungen in Zahlen-/Ziffernform angestrebt werden, sondern die Möglichkeit von Klartextmeldungen.

Eine Untersuchung der Einsatzbereiche und technischen Eigenschaften wurde an solchen Systemen durchgeführt, die für den Einsatz in der flexiblen Montage mit ihren typischen steuerungs- und gerätetechnischen Hilfsmitteln geeignet erscheinen (Untersuchung von 31 Systemen nach Herstellerangaben, Einsatzfeld Montage vgl. Abschnitt 3).

Da z.B. für den Bereich der spanenden Fertigung interessante Komponenten entwickelt wurden, die als modulare Erweiterung eines allgemeinen Diagnosesystems genutzt werden können, wird auf solche, spezialisierten Systeme in Abschnitt 4.5 eingegangen.

Der Systemvergleich orientiert sich an Merkmalen, die für den praktischen Anwendungsfall einen Ansatz zur Erfassung der wesentlichen Leistungsdaten ermöglichen:

- grobe Beschreibung der Funktionalität,
- Darstellung der Hard- und Softwaremerkmale und
- Darstellung der Schnittstellen zu unter- und übergeordneten Systemen.

Es kann sich in der folgenden Darstellung der Einsatzbereiche und technischen Merkmale allerdings nur um eine qualitative Darstellung der Systemeigenschaften handeln, da der Markt der Systeme wegen der großen Zahl der Anbieter sehr dynamisch ist.

4.2.1 Einsatzbereiche

Durch die Zuordnung zu verschiedenen Einsatzebenen in der Produktion - von der Steuerungs- bis zur Betriebsleitebene - werden Schwerpunkte des Systemeinsatzes deutlich. Die Funktionalität einzelner Systeme erlaubt jedoch den Einsatz auch in unterschiedlichen Ebenen.

Die Breite des Einsatzspektrums wird durch die Durchgängigkeit beschrieben. Es wird hierbei sowohl das Beobachten als auch das Bedienen der eigenen und aller unterlagerten Einrichtungen untersucht.

Die Aussage vieler Hersteller, eine absolute Durchgängigkeit der Systeme hinsichtlich der Beobachtungs- und Bedienbereiche anzubieten, kann nicht uneingeschränkt bestätigt werden. Diese Durchgängigkeit trifft überwiegend lediglich auf die Beobachtungsmöglichkeit zu (vgl. / 7/, / 8/).

Im Bereich der Bedienfähigkeit ist die Situation differenzierter zu sehen. Hier ist zwar mit allen Anlagen der Betriebsleitebene ein Bedienen dieser und der Prozeßleitebene möglich, nicht aber ein Bedienen der Steuerungsebene (Bild 4.3). Etwas günstiger liegt das Verhältnis auf der Stufe der

Prozeßleitsysteme. Bei 90% aller Systeme ist ein Bedienen der eigenen und bei immerhin noch 38% ein Bedienen der Steuerungsebene durchführbar. Auch bei Systemen, die der Steuerungsebene zugeordnet sind, ist eine unmittelbare Bedienung der Steuerungseinheit des Prozesses für 29% der Geräte möglich.

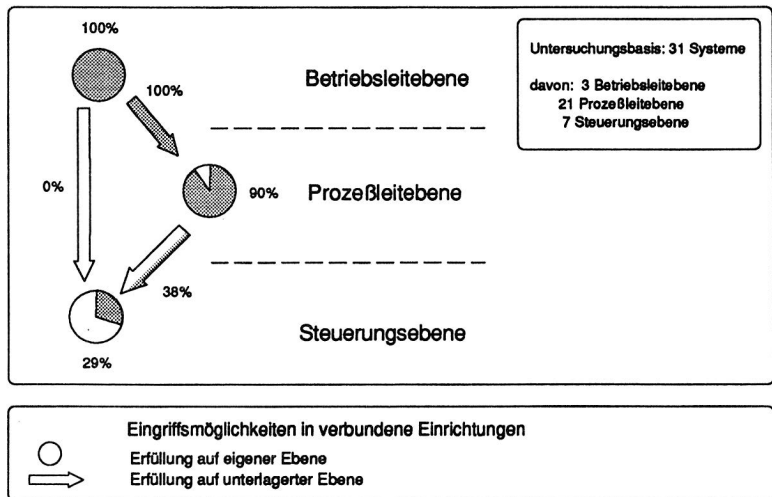


Bild 4.3: Einsatz- und Wirkungsbereich der Systeme

Eine Durchgängigkeit im Bereich des Beobachtens ist typisch für Betriebsleitsysteme mit globalen Verwaltungs- und Organisationsfunktionen. Die direkte Eingriffsmöglichkeit ist hier ausgeklammert und bleibt den untergeordneten Systemen vorbehalten.

4.2.2 Technische Merkmale

Unter dem Gesichtspunkt der Übertragbarkeit einer Systemlösung auf verschiedene Montagezellen und -prozesse sind zum einen die Möglichkeiten der Koppelung mit dem Prozeß und den Schnittstellen zum Prozeß, zum anderen auch die Anforderungen des lauffähigen Systems an die Betriebssystemumgebung und damit an die Hardware der Recheneinheit die wesentlichen technischen Merkmale.

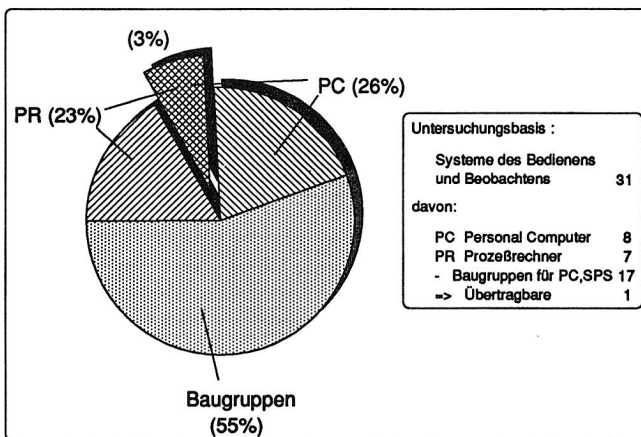


Bild 4.4: Systemanforderungen an die Rechnerbasis

Die Hardwareportabilität ist ein Hinweis auf eine mögliche Anpassung der Leistungsfähigkeit des Rechnersystems unter Kostengesichtspunkten an das erforderliche und damit mindestnotwendige Maß. Eine Steigerung der Datenverarbeitungsleistung kann in diesen Fällen in Abhängigkeit von den Randbedingungen des Prozesses erfolgen - eine variable Anpaßbarkeit des zeitlichen Ablaufverhaltens der Software ohne Ein-

schränkung der Funktionalität. Wie in Bild 4.4 dargestellt, ist die Übertragbarkeit eines Systems auf verschiedene Rechnerleistungsklassen jedoch noch unüblich.

Bei vergleichbarer Funktionalität werden bei einem Viertel der untersuchten Systeme des Bedienens und Beobachtens als Hardwarebasis Prozeßrechnersysteme eingesetzt. Ein weiteres Viertel der Systeme ist auf PC-Systemen lauffähig. Der Hauptanteil des Marktangebotes wird durch Zusatzausstattungen, also Baugruppen und/oder Software, für eine vorhandene Kernsteuerung gebildet.

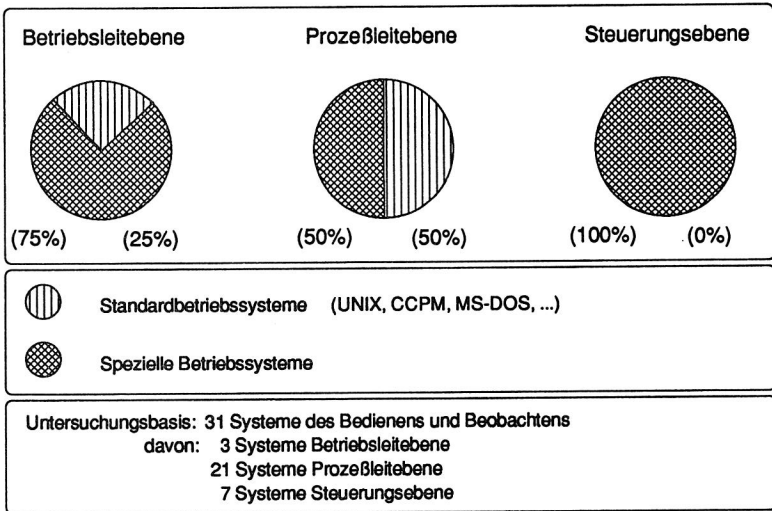


Bild 4.5: Systemanforderungen an das Betriebssystem

Betrachtet man den Anteil spezieller, firmenspezifischer Betriebssysteme im Bereich der Kernsoftware, so ist bei den Systemen des Einsatzbereichs der Betriebsleitebene dieser

Anteil mit zwei Dritteln der Systeme doppelt so hoch wie der Anteil der Systeme mit Standardbetriebssystemen wie UNIX, CCPM oder ihren Derivaten (Bild 4.5).

Dieses Verhältnis ist im Bereich der Prozeßleitsysteme nahezu ausgeglichen. Für die Geräte der Steuerungsebene sind nur herstellereinspezifische Betriebssysteme verfügbar, sie sind demnach als speziellere Problemlösungen eng mit dem System der Basissteuerung verbunden.

Über die Hälfte der betrachteten System verfügt über eine direkte Schnittstelle zum Prozeß, der Informationsaustausch kann ohne Zwischenglieder abgewickelt werden. Ein- und Ausgabekanäle für analoge oder binäre/digitale Signale bilden diese Schnittstellen (vgl. Bild 4.6).

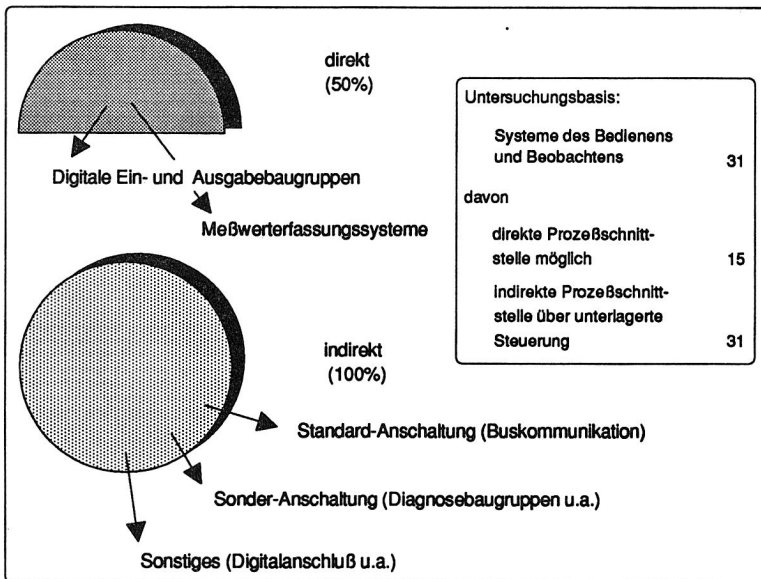


Bild 4.6: Systemanforderungen an die Prozeßschnittstelle

Für die Systeme insgesamt ist die alternative, indirekte Ankoppelung der typische Prozeßanschluß. Indirekt besagt, daß das System über eine unterlagerte Steuerung mit Informationen aus dem Prozeß versorgt wird. Ausschließlich mit einer SPS als Basis-Steuerung arbeiten nahezu zwei Drittel der Systeme. Keine besonderen Voraussetzungen an die Steuerung stellen lediglich ein Drittel der Systeme. Ein Informationsaustausch erfolgt in der Regel über Kommunikationsbaugruppen der SPS. Hierbei ist zwischen Standardanschlüssen - z.B. über standardisierte Bussysteme wie Ethernet (vgl. / 23/) - und speziellen Anschaltungsbaugruppen zu unterscheiden. Ein Großteil der Systeme bietet optional beide Möglichkeiten. Zwei Drittel der Systeme können mit einer Standard- oder einer systemspezifischen Anschaltung an den Prozeß angebunden werden.

Eine von der Basissteuerung völlig unabhängige Prozeßdatenerfassung ist für ein Zehntel der Systeme über die Anschlußmöglichkeit von besonderen Datenerfassungsgeräten - BDE-Terminals, vorgeschaltete Datenkonzentratoren - durchführbar.

4.3 Integrierte Systemlösungen

Die SPS hat sich, wie in Abschnitt 3.3 dargestellt, nicht nur in der Montage zu einer Standardsteuerung entwickelt. Für diesen Gerätetyp mit seinen besonderen Software- und Hardwarestrukturen findet sich entsprechend dem Verbreitungsgrad eine Vielzahl von Hilfsmitteln für die Überwachung und Diagnose. Zum einen werden grundsätzliche Konzepte für eine fortschrittliche Systemplanung und -programmierung auf herstellernerneutraler Basis entwickelt. Zum anderen stehen angepaßte spezielle Lösungen der Hersteller selber oder externer Anbieter zur Verfügung.

Erstere Vorschläge basieren üblicherweise auf Erweiterungen im Bereich der Softwarehilfsmittel oder der Programmgenerierung allgemein, letztere im besonderen auf der Bereitstellung besonderer Baugruppen für modulare SPS, sogenannter Visualisierungs- oder Diagnosebaugruppen.

4.3.1 Einsatz integrierter Softwarelösungen

Die Weiterentwicklung der vorhandenen Systemmöglichkeiten hat im Bereich der speicherprogrammierbaren Steuerung zur Ergänzung der standardisierten Programmiersprachen um besondere Programmstrukturen und -bausteine geführt (vgl. /144/). Die prozeßablauforientierte Programmierung in Schrittketten und deren Darstellung z.B. im Funktionsplan ist hier das klassische Beispiel (Bild 4.7). Es ist somit durchaus möglich, bei fehlenden Weiterschaltbedingungen z.B. in Kombination mit einer Zeitüberwachung eine einfache Fehlerdiagnose im Sinne der Lokalisierung eines aufgetretenen Fehlers nach Schrittnummerncodierung o.ä. durchzuführen. Entsprechende Zeitschranken werden geschätzt oder empirisch ermittelt. Dieses Vorgehen ist als Stand der Technik zu bezeichnen (vgl. / 35/, / 39/, / 95/, /106/).

Eine Nutzung der Elemente der Standardprogrammiersprachen erlaubt auch die indirekte Überwachung der Sensor- und Stellglieder in verfeinerter Form durch spezielle Mechanismen der Überwachung der Ein- und Ausgangskanäle - z.B. durch Wechselkontakte oder paarweise Schalterüberwachung / 20/. Es werden Möglichkeiten zur Selbsttestfunktion bei Schaltern beschrieben, z.B. durch Antivalenzüberwachung bei Signalgliedern. Die hier zu berücksichtigenden kleinen Zeiteinheiten im Millisekundenbereich vermindern die Sicherheit dieser Selbstüberwachung des Systems, da der Überwachungsmechanismus empfindlich gegenüber Zeitschwankungen im zyklischen Programmablauf ist / 44/.

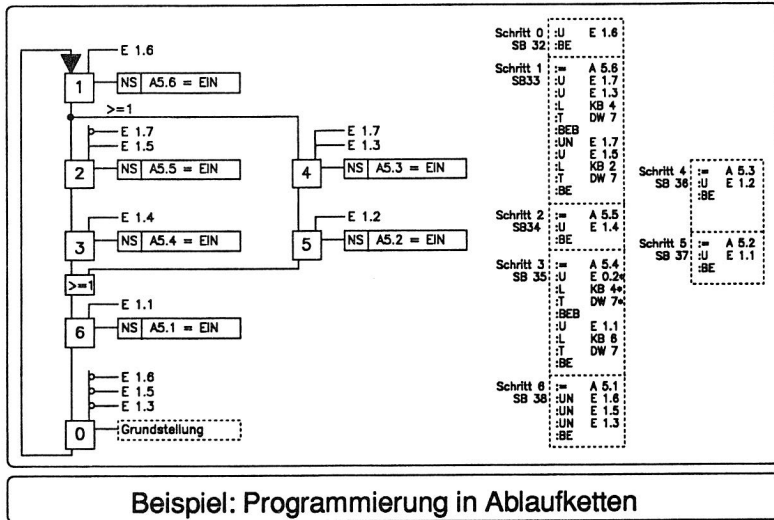
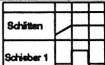
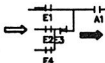
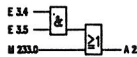

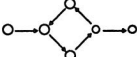


Bild 4.7: Integrierte Prozeßüberwachung und -diagnose

Softwarepakete für die Einbindung standardisierter Programm-schablonen, von Funktionsbausteinen und Programmbausteinen für entsprechende Aufgabenstellungen von den Herstellern der SPS oder anderen erhältlich (vgl. / 13/, / 55/, /109/).

Neuere Ansätze versuchen unter Nutzung leistungsfähiger Rechereinheiten (Workstations) und benutzerfreundlicher Programmoberflächen (Fenstertechnik, grafische Hilfsmittel) die SPS-Programmierung zu unterstützen oder neue Problembe-schreibungselemente, wie sie z.B. in der Prozeßablaufbe-schreibung durch Zustandsgraphen erforderlich sind, für die Programmierung zu erschließen (vgl. / 28/, / 44/, / 87/, /116/ und Bild 4.8).

Problembeschreibung mit	Ablaufbeschreibung		rechner- gestützter Programm- entwurf	standardisierte Programm- module	Einsatz von Überwachungs- elementen	Zielsystem unabhängig
	unabhängig, sequentiell	abhängig, parallel				
Funktionsdiagramm 	●	○	○	○	○	●
Kontaktplan 	◐	○	◐	○	○	●
Funktionsplan 	●	◐	●	●	◐	◐
Zustandsgraphen 	◐	○	(◐)	(◐)	◐	●
Petri-Netze 	○	●	(◐)	(◐)	◐	●

Eignung der Verfahren: mäßig sehr gut (..) Entwicklungsstand
 ○ → ●

Bild 4.8: Gegenüberstellung alternativer Problem-
beschreibungsmethoden

Ein Vergleich verschiedener Ansätze zur Problembeschreibung zeigt die Problematik der Umsetzung überwachungs- oder diagnosespezifischer Elemente in ein Steuerungsprogramm. Je nach Komplexität der Ablaufbeschreibung in der Darstellung paralleler unabhängiger oder abhängiger Abläufe ist der Einsatz abstrahierender Methoden zur Problembeschreibung sinnvoller.

Die Entkoppelung der Aufgabe der Problembeschreibung vom Sprachumfang der Standardprogrammiersprachen, wie sie auf den herstellerspezifischen Programmiersystemen in Anlehnung an die genormten Elemente zur Verfügung stehen, erlaubt die

Entwicklung neuer Sprachelemente zur Struktur- oder Ablaufbeschreibung / 28/. Sie erweitern die standardisierten Befehle zur Signalverarbeitung und Programmorganisation auf der Ebene der Programmprojektierung.

Aus der abstrakten Problembeschreibung heraus wird automatisch der ablauffähige Programmcode unter Einhaltung der konventionellen Sprachelemente generiert. Eingebunden in die Programmerstellung ist z.B. die Beschreibung der Ablaufbedingungen und damit der bereits beschriebenen Möglichkeit der Prozeßüberwachung und -diagnose (vgl. auch /106/).

4.3.2 Entwicklung spezieller Baugruppen

Neben der Einbindung in Programmform realisierter Überwachungs- und diagnoserelevanter Funktionen in das Steuerungsprogramm der CPU besteht ein weiterer praxisorientierter Ansatz darin, modular aufgebaute SPS um besondere Baugruppen, d.h. durch Hardware, zu ergänzen. Sie werden im allgemeinen Sprachgebrauch auch als Diagnose-, Monitor- oder Kommunikationsbaugruppen bezeichnet (vgl. / 11/, /108/, /109/ u.a.).

In der Regel besteht das Systempaket aus einer Zusatzbaugruppe, aus Betriebssystem und Softwarekomponenten für diese Zusatzbaugruppe sowie aus Funktionsbausteinen als Ergänzung für das in der Kernsteuerung hinterlegte Steuerungsprogramm (Bild 4.9).

Eine Synchronisation zwischen der Kernsteuerung und dem Prozeßmodell der Zusatzbaugruppe erfolgt über in das Kernsteuerungsprogramm einzubindende baugruppenspezifische Programmelemente oder über eine an die Ansteuerung digitaler Ein- oder Ausgabebaugruppen - also von Standardbaugruppen - angelehnte direkte Adressierungslogik und -semantik. Zu berücksichtigen ist ferner, daß der Einsatz der Zusatzbaugruppen

üblicherweise die Einhaltung einer bestimmten Programmlogik des Kernsteuerungsprogramms voraussetzt, d.h. z.B. die Programmierung in Schrittketten. Nur in einer Lösung wurde auf die Einsetzbarkeit der Diagnosebaugruppe bei Verknüpfungsprogrammierung hingewiesen.

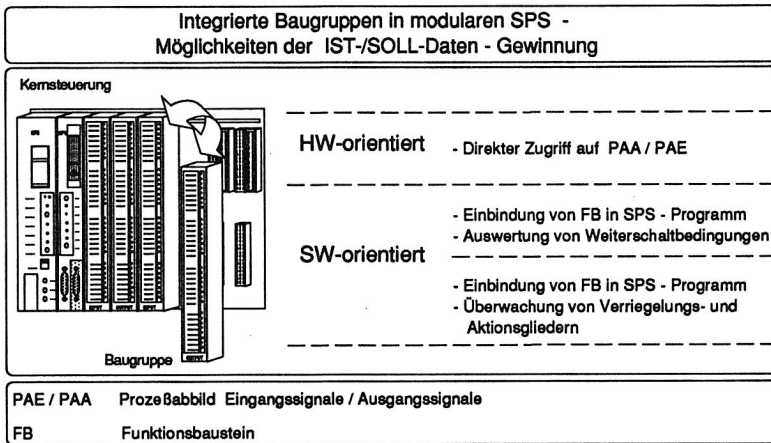


Bild 4.9: Integrierte Baugruppen für die Überwachung und Diagnose in modularen SPS

Auch wenn die Beschreibung der Baugruppen verschiedener Hersteller im einzelnen sehr unterschiedlich ist - dies betrifft vor allem den Leistungsumfang nach Zahl, Größe der erfaßbaren Signale usw., so umfaßt er doch bei allen Systemen eine ähnliche Funktionalität, z.B. die

- Überwachung von Ablaufstartbedingungen (Verriegelungsbedingungen),
- Überwachung von Ablaufschritten (Schrittkettenüberwachung),
- Überwachung von statischen Zuständen (Signalpaarüberwachung),
- Grenzwertüberwachung,
- Überwachung und Aufbereitung von steuerungsinternen Informationen (Merker, Zähler, Datenbausteine usw.),
- Speicherung von Systemmeldungen (Klartextmeldungen),
- Aufbereitung von Prozeßvisualisierungselementen (Fließbilder),
- Ansteuerung weiterer Komponenten (Bildschirme, Textanzeige, Bedienfelder, Drucker, Busanschluß).

Eine wesentliche Erweiterung derjenigen Funktionalität, die auch durch die Möglichkeiten der Kernsteuerung realisierbar ist, liegt vor allem im Bereich der Visualisierung sowie im Anschluß an übergeordnete Systeme über Busanschaltungen.

Ein sinnvoller Einsatz dieser Zusatzbaugruppen ist daher unter dem Gesichtspunkt der Steigerung der Informationsverarbeitungsleistung, einer Steigerung des Bedienerkomforts durch die Bereitstellung zusätzlicher Systeminformationen und Bedienungsmöglichkeiten bzw. in einer möglichen Entlastung der Kernsteuerung von entsprechenden Überwachungs- und Diagnoseaufgaben zu sehen.

Für die Programmierung der Zusatzbaugruppen werden herstelllerspezifische Hilfsmittel zur Verfügung gestellt, die jedoch methodisch keinen neuen Ansatz im Sinne der im vorhergehenden Abschnitt dargestellten Möglichkeiten darstellen. Üblicherweise kann für die Programmierung der Baugruppen auf die Programmiergeräte der SPS zurückgegriffen werden.

4.4 Lösungsverfahren mit externen Hilfsmitteln

Systeme mit externen Hilfsmitteln basieren auf Komponenten, die prinzipiell hardware- und softwareseitig unabhängig von einer Kernsteuerung sind. D.h., es wird die Kernsteuerung nicht ersetzt, sondern es wird der Funktionsumfang der Zellensteuerung insgesamt durch den Einsatz kernsteuerungsexterner Hilfsmittel im Sinne der Überwachung und Diagnose erweitert.

Diese Erweiterung kann sowohl mittels direkter Ankoppelung an die Kernsteuerung on-line oder aber auch off-line erfolgen. Ein klassisches Beispiel für den off-line Anschluß stellt die manuelle Datenerfassung mit dem Menschen als Informationsträger dar. Von steigender Bedeutung sind on-line Verfahren, die eine automatisierte Überwachung und Diagnose erlauben. Gesondert betrachtet werden die Möglichkeiten der Datenauswertung mittels des Einsatzes von Expertensystemen.

4.4.1 Manuelle Datenerfassung

Ein häufig eingesetztes Hilfsmittel bei der zeitlich begrenzten Überwachung einer Produktionsanlage auch im Bereich der Montage ist der Einsatz von zusätzlichem Personal zur Datenerfassung. Die Möglichkeit der rein manuellen Datenerfassung über formfreie Aufzeichnungen oder Strichlisten u.ä. soll an dieser Stelle nur erwähnt werden, obwohl sie ein immer noch häufig eingesetztes und sicher auch in Einzelfällen nicht zu umgehendes sinnvolles Hilfsmittel darstellt, um bei Ermangelung anderer Hilfsmittel maschinennah auf Werkstattebene entsprechende Informationen über das Maschinenverhalten gewinnen zu können.

Die Alternative, durch eine rechnergestützte Dateneingabe- und Auswerteeinheit die Datenerfassung bei manueller Daten-

eingabe zu standardisieren und zu beschleunigen, wird vielfach bei unterstützenden Systemen für die Produktionsplanung und -steuerung eingesetzt. Diese Einrichtungen werden in der Regel als Terminals zur Betriebsdatenerfassung bezeichnet.

Im Mittelpunkt steht bei diesen Systemen die Erfassung organisatorischer Daten wie z.B.

- Auftragsnummer,
- Stückzahlen,
- Beginn und Ende einer Maschinenstörung.

Eine weitergehende Beschreibung des Maschinenverhaltens durch detailliertere Betrachtung der Störungen, Bildung von Kennzahlen und anderes erfolgt hier nicht (vgl. / 38/, / 51/, / 66/).

Ein auf manueller Dateneingabe basierendes System für eine umfassendere Maschinen- und Anlagenbeschreibung - eine Diagnose des Betriebsverhaltens - wurde z.B. bei verschiedenen Reihenuntersuchungen an automatisierten Montageanlagen eingesetzt (siehe / 45/, /146/).

4.4.2 Automatisierte Verfahren mit externen Rechneinheiten

Der Leistungsbereich der externen Rechneinheiten erstreckt sich von maschinennahen, intelligenten Textanzeigemodulen bis hin zu Minirechnersystemen in der Prozeßleitebene. Einzelne Systeme lassen sich eher als komplexe Sensorsysteme bezeichnen. Sie werden zur Bewältigung spezifischer Teilaufgaben der Überwachung und Diagnose eingesetzt, und setzen sich aus einem komplexen Sensor zur Meßwerterfassung und aus einem zugeordneten Meßwertverarbeitungsrechner einschließlich spezifischer Software zusammen. Ein typisches Beispiel ist der Einsatz der Bildverarbeitung in der Werkstückerkennung und -lageüberwachung.

Als Bestandteil komplexerer, übergeordneter Fertigungssteuerungssysteme und als deren Bindeglied in den Produktionsbereich hinein sind Systeme einzuordnen, die ihre Funktionsschwerpunkte in der reinen Erfassung und Aufbereitung der BDE haben (vgl. /143/). Hier steht nicht die Interaktion mit dem Prozeß im Mittelpunkt, sondern die Aufbereitung der überwiegend von einer unterlagerten Steuerung bereits vorverarbeiteten Meldungen, wie z.B. die Meldung eines Störungsbegins und des Störungsortes. Die vorverarbeiteten Informationen werden

- verdichtet über statistische Operationen und die Bildung von Kennzahlen wie Zykluszeit, Maschinenlaufzeit oder Verfügbarkeit,
- ergänzt durch im Dialog eingegebene Informationen seitens des Bedieners, und
- aufbereitet, d.h., sie werden visualisiert oder über Rechenkoppelung an weitere Datenverarbeitungsstationen übermittelt.

Als einfache, maschinennahe Systeme finden sich intelligente Textanzeigergeräte (z.B. / 82/), die - wenn auch bei eingeschränkter Leistungsfähigkeit - eine Überwachung und Diagnose durch z.B. spezifische Störungsmeldungen anhand programmierter Textmeldungstabellen ermöglichen.

Weiterhin werden in diesem Bereich sogenannte maschinennahe MDE/BDE-Terminals (z.B. / 2/) oder Datenkonzentratoren (vgl. /101/) ohne eigene Visualisierungsfunktionen eingesetzt, die Meldungen und Daten direkt aus einzelnen oder gekoppelten, unterlagerten Steuerungen und über Handeingabetableaus aufnehmen, zwischenspeichern und über Bussysteme den Leitrechnereinheiten übergeben. Eine Datenanalyse und -darstellung erfolgt dort mit zentral angelegten Überwachungs- und Diagnosefunktionen.

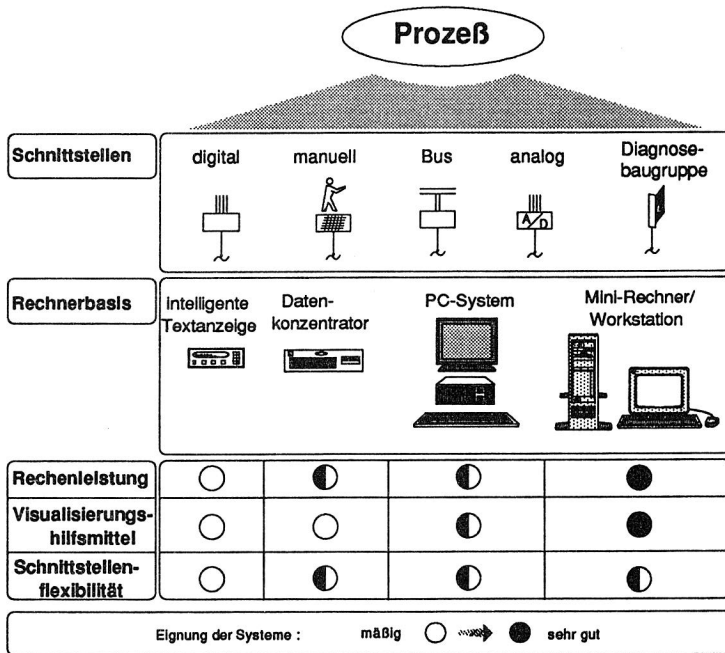


Bild 4.10: Überwachungshilfsmittel vom erweiterten
Textdisplay bis zu Prozeßrechnersystemen

Eine Unterstützung der maschinennahen Prozeßdiagnose ist bei Lösungsvorschlägen gegeben, die unverarbeitete Prozeßsignale parallel zur Basissteuerung aufnehmen und zwischenspeichern. Im Fehlerfall können mittels einfacher Visualisierungsfunktionen (Zustandsdiagramm) Signalverläufe nachvollzogen und daraus Schlüsse auf Fehlerentstehung und -ursache gezogen werden (vgl. / 73/). Dieses Vorgehen ist vergleichbar mit dem Einsatz von Logik- oder Signalanalysatoren.

Bei externen Überwachungs- und Diagnosesystemen ist die Bereitstellung geeigneter Schnittstellen zur Datenerfassung von besonderer Bedeutung. Der Gestaltungsspielraum der Schnittstellen ist bei steigender Rechenleistung großzügiger (Bild 4.10). Textanzeigeräte werden in der Regel ausschließlich mittels digitaler Baugruppen der Kernsteuerung, verdrahtet über Ein- und Ausgabekanäle, angesprochen. Nur bei PC-Systemen ist auch die ergänzende analoge Datenerfassung direkt aus dem Prozeß möglich. Üblich ist hier neben dem digitalen Anschluß die Nutzung von standardisierten Bussystemen z.B. auf Ethernet-Basis oder der Anschluß von BDE-Tastaturen. Bei Minirechnersystemen werden auch zusätzliche, spezielle SPS-integrierte Baugruppen eingesetzt.

4.4.3 Einsatz von Expertensystemen

Ein neuer Weg zur Optimierung der Datenauswertung wird durch den Einsatz von Expertensystemen beschritten. Die Problematik der logischen Beschreibung eines geplanten Prozeßablaufs unter Berücksichtigung bekannter und auch noch unbekannter Störungseinflüsse und der programmtechnischen Umsetzung dieses Wissens in funktionsfähige Systeme hat, mit der Erfahrung der mit herkömmlichen Methoden anfallenden Entwicklungsarbeit, große Erwartungen in die Methoden einer sogenannten künstlichen Intelligenz (KI) oder der Expertensysteme (XPS) freigesetzt.

Der bisher beschrittene Weg der konventionellen Nutzung der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) bestand darin, die Lösung eines Problems explizit und vom logischen Ablauf her unveränderlich in zusammenhängenden Programmen oder Dateien abzubilden und abzulegen. Diese vollständig geplanten Lösungswege müssen bei neuen Problemstellungen neu programmiert werden.

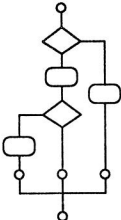
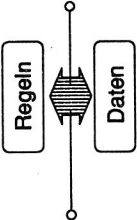
	konventionelle Datenverarbeitung	Expertensystem
		
Wissensbasis	vollständig	unvollständig
- Fakten	bedingt erweiterbar	frei erweiterbar
- Regeln	festgelegt	frei erweiterbar
Problemlösungsweg	Programm - vorgegeben	Interferenz - selbständig

Bild 4.11: Konventionelle Datenverarbeitung und XPS
im Vergleich

Der Einsatz von Datenbanksystemen (DBS) ermöglicht die anpassungsfähige, erweiterbare Handhabung von Informationen und Daten, die Eingang in entsprechende Programmsysteme finden, und die damit als veränderliche Entscheidungsparameter eine gewisse Systemflexibilität gewährleisten. Diese Datenunabhängigkeit ist jedoch nicht von einer weiter bestehenden Starrheit des Regelwerks zu trennen.

Der neue Weg, der durch XPS beschriftet wird, besteht in der Möglichkeit, ohne ein starres Regelwerk auch mit unvollständigem, unsicheren oder vagen Wissen eine Problemlösung anzustreben (Bild 4.11). Die Wissensbasis ist nicht festgelegt.

Der Umgang mit diesem Wissen ist nicht unveränderlich bestimmt, sondern es soll ein sogenanntes assoziatives Problemlösungsdenken in Abhängigkeit vom vorhandenen und erweiterbaren Wissen möglich sein. In Abhängigkeit von Eingabeparametern, die nicht vollständig den Problemfall beschreiben müssen, wird durch das XPS interpretiert, welche Regeln unter Berücksichtigung der Eingaben zur Anwendung kommen, und welche Daten aus dem systeminternen Datenspeicher ergänzt werden. Abhängig von Eingabedaten und Wissensbasis, bestehend aus Daten und Regeln, können unterschiedliche Lösungswege beschriftet werden (vgl. / 43/, / 94/).

Ein wesentliches Merkmal der heute eingesetzten Systeme ist die noch fehlende Fähigkeit zur automatischen Wissenserweiterung, die Fähigkeit des Selbstlernens. XPS sind heute noch auf die wesentliche Komponente des Dialogs mit dem Bediener angewiesen. Aus diesem Dialogbedarf folgt die Abgrenzung der sinnvollen Einsatzgebiete der XPS vor allem in den Bereich der Unterstützung des Menschen in Entscheidungsprozessen (vgl. / 4/, / 26/). Die mangelnde Automatisierbarkeit der Wissensakquisition wird z.B. nach Wildemann /142/ als besonderes Einsatzhemmnis für den Bereich der Überwachung und Diagnose gesehen.

Untersuchungen in Bezug auf die Verbreitung von XPS haben zu der ernüchternden Feststellung geführt, daß zwar nach Veröffentlichungen von einer großen Zahl existierender Lösungsvorschläge ausgegangen werden kann (vgl. / 33/, / 34/, / 83/), daß aber kaum ein Überblick über erprobte oder praktisch eingesetzte Systeme besteht ist. Mertens / 72/ hat in einer Untersuchung festgestellt, daß von rund 700 Expertensystemen im deutschsprachigen Raum

- nur 28 Systeme sich nachweislich im Einsatz befinden,
- ein geringer Anteil hiervon in der Produktion allgemein arbeitet,
- im Bereich der Montage kein System im Einsatz ist.

Die Skepsis in der Einschätzung der Eignung für die Praxis wird auch durch andere Autoren geteilt, z.B. von Westkämper /136/.

Einsatzbeispiele für XPS sind eher im Bereich der Diagnose als im Bereich der Überwachung angesiedelt (vgl. /137/). Sie unterstützen den Bediener in der Fehlersuche und in der Störungsbehebung, d.h. sie werden erst nach Störungseintritt, nach Anlagenstillstand, aktiviert. Praktische Anwendung findet z.B. ein System zur Unterstützung des Service-Personals bei der Störungsbehebung für Industrieroboter (/ 93/), allerdings ohne Berücksichtigung peripherer Einrichtungen. Ein interessanter Ansatz im Hinblick auf eine vorausschauende Anlagenüberwachung findet sich z.B. im Versuch der Verschleißprognose durch wissensbasierte Meßwertanalyse /104/. Als ein Beispiel der selbstständigen Prozeßüberwachung wird von Zrimec /148/ der Laboraufbau eines Robotersystems mit einfachem Handhabungsproblem beschrieben. Das System soll teils automatisch, teils im Dialogbetrieb selbstlernend ein Ablaufprogramm für einfache Bewegungen und Werkstückmanipulationen aufbauen.

Unter dem Stichwort der Diagnose des Betriebsverhaltens wird von Wiendahl /140/ ein auf die Montage abgestimmtes XPS vorgestellt. Das Einsatzfeld liegt bei diesem System jedoch weniger in der Überwachung und Diagnose eines Montageprozesses, sondern vielmehr in der Diagnose des Verhaltens verketteter Montagestationen zur Optimierung von Verkettungselementen, wie Pufferstationen, oder zur Eliminierung von "Steuerungsschwachstellen" in der Auftragssteuerung.

4.5 Diagnosesysteme in anderen Einsatzfeldern

Im Bereich der Vorfertigung ist der Einsatz von Hilfsmitteln der Überwachung und Diagnose weiter fortgeschritten als im Bereich der Montage (vgl. / 57/ und auch /113/). Grundsätzliche, systematische Untersuchungen des technologischen Prozesses bei Konzentrierung auf Teilprobleme, z.B. Untersuchungen an einschneidigen oder mehrschneidigen Werkzeugen in der Zerspanungstechnik, haben zu einem detaillierten, verallgemeinerbaren Systemwissen geführt, das auch die Bildung verfeinerter, komplexer Prozeßmodelle für die Überwachung des realen Prozesses ermöglicht (vgl. /131/).

Für den Einsatz bei spanenden Werkzeugmaschinen wurde beispielsweise ein umfangreiches Instrumentarium zur

- Steuerungsüberwachung,
- Bewegungsüberwachung / Kollisionsverhütung (/117/) und
- Werkzeugüberwachung (/ 57/, / 61/)

entwickelt. Anpassungsfähige Systeme finden sich im praktischen Einsatz (vgl. / 1/, / 90/). Aufwendige Meß- und Überwachungseinrichtungen, standardisierte Hilfsmittel zur maschinennahen Diagnose der auch Ferndiagnose mittels telefontemogestützter Datenübertragung an zentrale Diagnoserechner unterstützen die Anwender moderner Werkzeugmaschinen, wie CNC-Drehmaschinen. Der Umfang der Überwachungs- und Diagnoseroutinen an der Systemsoftware liegt bereits bei einem Anteil von 15% bis 30% des Softwareumfanges, und der Anteil steigt weiter /145/.

5 Problematik bekannter Systemkonzepte in der Montageautomatisierung

Trotz der Vielzahl der Lösungswege ist die universelle Einsetzbarkeit eines Überwachungs- und Diagnosesystems bisher nicht gegeben. Die besonderen Einsatzhemmnisse, die einem flexiblen Einsatz in der Praxis entgegenstehen, werden im folgenden zusammenfassend dargestellt.

Anhand typischer Randbedingungen, die bei der Einführung eines Überwachungs- und Diagnosesystems zu beachten sind, werden die Vor- und Nachteile der angesprochenen Lösungskonzepte (siehe Abschnitt 4.2 ff) diskutiert. Im einzelnen sind dies die Problembereiche der

- Nachrüstung bestehender Montagezellen,
- Übertragbarkeit auf unterschiedliche Zellenstrukturen und Montageaufgaben sowie die
- Einbindung der Überwachungs- und Diagnosekomponenten in übergeordnete Informationssysteme.

5.1 Nachrüstung vorhandener Anlagen

Im Vergleich zu einer Neuplanung von Montagezellen sind bei der Nachrüstung existierender Anlagen die Freiräume bei der Einführung von rechnerunterstützten Verfahren der Anlagenüberwachung und Diagnose begrenzt (Bild 5.1).

Die Nachrüstung von Montagezellen ist bei integrierten Lösungen ohne zeitaufwendige Fertigungsunterbrechung und Testphase kaum möglich. Ohne Eingriffsmöglichkeit in die Kernsteuerung muß in der Regel auf Zusatzeinrichtungen mit externen Rechereinheiten zurückgegriffen werden, die entkoppelt von der Kernsteuerung entweder eine manuelle Dateneingabe erfordern und damit kaum einen wirtschaftlichen Dauer-

einsatz gewährleisten können (vgl. / 78/), oder die bei automatischer Arbeitsweise nur ein eingeschränktes Auflösungsvermögen in Bezug auf die auftretenden Systemzustände und Fehler ermöglichen.

		Nachrüstung	Neuplanung
Integriert	Software	○	●
	Soft-/Hardware	○	◐
Extern	on-line	◐	●

Eignung der Systeme : mäßig sehr gut <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 10px;">○</div> <div style="font-size: 2em; margin-right: 10px;">➡</div> <div style="margin-left: 10px;">●</div> </div>

Bild 5.1: Aufrüstung der Überwachung und Diagnose mit vorhandenen Lösungsvorschlägen

Die Nachrüstung vorhandener Steuerungseinrichtungen um z.B. Diagnosebaugruppen ist mit Einschränkungen möglich. Auch bei Einsatz einer offensichtlich modular erweiterbaren SPS und einer einsteckbaren Zusatzbaugruppe ist eine Synchronisation zwischen Ablaufprogramm und Überwachungsprogramm durch eine Einbindung von programmtechnischen Koppelbausteinen und damit eine Anpassung des Steuerungsprogramms nötig. Dies stellt einen erheblichen Eingriff in das bestehende System dar. Diese Nachrüstungsoption ist zudem sehr stark von der eingesetzten Gerätetechnik und den damit verbundenen spezifischen Ergänzungsmodulen abhängig.

5.2 Übertragbarkeit der Lösungsansätze

Die Frage der Kosten aus Projektierungs-, Anpassungs- und Inbetriebnahmeaufwand der überwachungsspezifischen Zusatzelemente und ihre Relation zum Investitionsaufwand der Basismontagezelle ist ein kritischer Faktor in der ersten Beurteilung der Übertragung von Lösungsansätzen. Letzendlich muß der angestrebte Nutzen aus z.B. einer Verfügbarkeitssteigerung in wirtschaftlich vertretbarer Relation zu den nötigen Investitionen stehen.

Die Übernahme der z.B. erprobten Lösungen aus dem Bereich der Verfahrenstechnik scheitert häufig bereits ohne die Berücksichtigung des Anpassungsaufwandes an der Höhe der Grundinvestition. Obwohl die Systeme zum Teil - ein Beispiel für die universelle Einsetzbarkeit einer SPS - auf der gleichen Gerätetechnik aufbauen, wie sie in der Montagetechnik Verwendung findet, ist die erforderliche Gesamtinvestition mit z.B. Leitrechnereinheiten als übergeordneten Datenverarbeitungseinheiten beträchtlich. Wie Untersuchungen im Rahmen der Marktrecherche gezeigt haben, beträgt der Investitionsaufwand einzelner Systeme der Überwachung- und Diagnose ein Mehrfaches des Investitionsaufwandes einfacher Montagezellen.

Die hohen Anforderungen an die Rechenleistung bei der parallelen Überwachung mehrerer Montagezellen erschwert den Einsatz eines zentral organisierten Überwachungs- und Diagnosesystems. Die Anforderungen an die Rechnerleistung sind bei komplexen Systemen auch von leistungsstarken Einheiten nicht zu bewältigen / 75/. Eine zentrale Organisation ermöglicht wirtschaftlich gesehen jedoch eine Verringerung des relativen Investitionsanteiles pro Einzelzelle auf einen vertretbaren Umfang durch die Umlage der Kosten auf mehrere Zellen (Bild 5.2).

Preisgünstigere Konzepte auf dezentraler Basis können sich einerseits auf das breite Angebot an integrierten Lösungs-

vorschlägen oder andererseits auf weniger komplexe Lösungen mit externen Rechneinheiten stützen. Die Konzeption einer frei konfigurierbaren, reinen Softwarelösung ist heute noch nicht möglich, da sich entsprechende Programmierwerkzeuge noch in der Entwicklungsphase befinden.

		Einzelstation	Montagelinie
Integriert	Software	●	○
	Soft-/Hardware	◐	◐
Extern	on-line	○	◐

Eignung der Systeme : mäßig sehr gut

○ $\xrightarrow{\text{Wahl}}$ ●

Bild 5.2: Übertragbarkeit der Lösungsvorschläge bei heterogener Systemkomplexität

Der Einsatz modularer Zusatzbaugruppen wird kritisch betrachtet / 54/, da die damit verbundene Entwicklung zu immer komplexeren Informationssystemen den ursprünglichen Vorteil der SPS, der in einer einfachen Handhabung und Programmierung zu sehen ist, durch eine unüberschaubare Vielfalt von Programmbausteinen und Programmievorschriften zunichte macht. Die zur Verfügung stehenden Ergänzungsmodule erfordern noch beträchtlichen Anpassungsaufwand in jedem Einsatzfall, der bis hin zu einer Vorbestimmung der Programmierlogik im Bereich der SPS reicht. Die Investitionskosten liegen bei spezialisierten Zusatzmodulen in der Größenordnung der Kernsteuerung (vgl. / 76/). Ferner ist zu beachten, daß Zusatzbaugruppen auf spezifische Systeme der Kernsteuerung

abgestimmt und nicht auf Systeme unterschiedlicher Hersteller übertragbar sind.

Aufgrund der weiten Verbreitung der SPS konzentriert sich die Verfügbarkeit der Lösungsvorschläge für Überwachungs- und Diagnosesysteme für die Montage im maschinennahen Bereich auf diesen Steuerungstyp. In einzelnen, herstellerspezifischen Einsatzfällen ist dabei die Übertragung von Komponenten - z.B. der Visualisierung - auch auf andere Steuerungstypen wie Robotersteuerungen desselben Herstellers möglich / 60/.

Auch wenn die Forderung nach einem allgemeingültigen Diagnoseprogrammkonzept ohne Anforderungen an das Anwenderprogramm bekannt ist, um

- eine geschlossene Überwachung und Diagnose nicht zu einer unwirtschaftlichen Speziallösung werden zu lassen, oder
- eine nicht geschlossene, einfache Lösung zu einem wenig sinnvollen Einsatz zu führen (vgl. /103/),

so ergibt sich durch die mangelhafte Übertragbarkeit vieler Systemvorschläge, daß der Nutzen des Systemeinsatzes vor Ort an der Montagezelle durch die notwendigen spezifischen Anpassungen insgesamt beeinträchtigt wird. Nur in speziellen Bereichen wie z.B. der Elektronikfertigung bei der Montage von elektronischen Bauelementen können bei serienähnlichen Montageanlagen erprobte Diagnosekomponenten eingesetzt werden (vgl. /101/).

5.3 Gewinnung und Aufbereitung der Prozeßinformationen

Die Analysefähigkeit der Diagnoseeinrichtung steht in unmittelbarem Zusammenhang zur Qualität der bereitstehenden Informationen über den Prozeß. Zu unterscheiden sind die Anforderungen aus einer

- Bereitstellung direkter Prozeßinformation und der
- Erweiterbarkeit der Prozeßinformationen.













Eine differenzierte Analyse des Prozeßzustandes setzt die Verfügbarkeit direkter, unverfälschter Informationen über den Prozeß voraus. Eine Datenverdichtung z.B. durch eine summarische Weiterleitung mehrerer Eingangskanäle von einer unterlagerten Steuerung an ein Überwachungs- und Diagnosesystem steht dem entgegen (Bild 5.3).

Die Forderung zur Erweiterbarkeit der Prozeßinformationen ergibt sich aus dem Bedarf, gegebenenfalls z.B. bei variantenbedingten, veränderten Montagebedingungen zusätzliche Sensoren zur Analyse kritischer Prozeßzustände in das System einzubringen.

Integrierte Softwarelösungen können naturgemäß nur auf die Schnittstellen der Kernsteuerung zugreifen. Bei hardware-kombinierten integrierten Lösungen werden Schnittstellenerweiterungen auf der Zusatzbaugruppe angeboten. In beiden Fällen erfordert eine Erweiterung der Sensorausstattung Eingriffe in das System der Kernsteuerung und nicht nur in das Diagnosesystem. Vorteilhaft bei der ersten Gruppe ist, daß Peripheriesignale von der Kernsteuerung und dem Diagnosesystem parallel genutzt werden. Bei Zusatzbaugruppen hingegen wird häufig bereits eine Erkennung von Störungen durch die Kernsteuerung vorausgesetzt - die Störungsmeldung initiiert dann den Diagnoseablauf zur Feinanalyse.

Im weiteren ist die Aufbereitung und Weiterleitung von Prozeßinformationen, z.B. Informationen über den Prozeßzustand

oder Kennwerte zur Anlagenverfügbarkeit, an übergeordnete Leiteinrichtungen zu beachten. Neben der Ermittlung der Kennwerte sind die entsprechenden Geräteschnittstellen zu berücksichtigen. Sie sind bei externen Systemen am universellsten verfügbar (vgl. /143/).

		Geräte- schnittstelle	Informationsschnittstelle		
			Rohdaten	Stördaten	Kennwerte
Integriert	Software				
	Soft-/Hardware				
Extern	on-line				

Eignung der Systeme : mäßig sehr gut








Bild 5.3: Universelle Nutzbarkeit zur Verfügung gestellter Schnittstellen

Systeme, die bereits vor Ort eine Datenverarbeitung und Kennwertbildung ermöglichen, z.B. Berechnung der Anlagenverfügbarkeit und Ausgabe von Laufzeitdiagrammen, haben oft Mängel z.B. in der nach Fehlerursachen differenzierenden Überwachung. Der sehr unterschiedliche Grad der Datenverarbeitung, insbesondere der Informationsverdichtung, ist ein Merkmal der auf dem Markt befindlichen Systeme. Von Gehler / 32/ wird z.B. als typischer Mangel der Systeme der Betriebsdatenerfassung aufgeführt, daß Stillstandsursachen einer Zelle zu wenig differenziert aufgenommen werden können. Die Programmstruktur erlaube nur die Eingabe oder Ermittlung weniger Parameter. Eine sinnvolle Weiterverarbei-

tung oder Analyse der gewonnenen Stördaten sei kaum möglich, da sich hinter einer Stillstandsursache ganze Fehlerbäume verbergen.

Die Datenaufbereitung ist bei integrierten Systemen in der Regel stark durch die Leistungsfähigkeit der Prozessorsysteme und vor allem der Kapazität der Speichermedien begrenzt. Dies erlaubt deshalb nur eine Momentaufnahme des Prozeßzustandes ohne Speicherung der Prozeßinformationen.

Eine Auswertung des Betriebsverhaltens im Sinne einer Vergangenheitsdiagnose über das programmierte Maß hinaus ist nicht mehr möglich, wenn die Datenbasis der Rohdaten kontinuierlich überschrieben wird. Es besteht keine Möglichkeit, eine nachträgliche Analyse der Rohdaten - im Sinne einer Analyse des durch eine Folge von Eingangs- und Ausgangssignalen gekennzeichneten Prozeßabbildes - durchzuführen, da eine Speicherung der auslösenden und auch weiterer, vorhergehender Prozeßabbilder unterbleibt.

6 Entwicklung eines flexiblen Diagnosesystems für die integrierte Montage

Wie die Analyse bestehender Systemvorschläge gezeigt hat, ist es bisher noch nicht gelungen, ein im besonderen für das Einsatzgebiet der flexiblen Montage geeignetes Diagnosesystem bereitzustellen. Im folgenden werden die Randbedingungen eines neuartigen Diagnosesystemkonzeptes als Grundlage eines geeigneten Lösungsvorschlages dargestellt.

6.1 Ziele des Systemeinsatzes

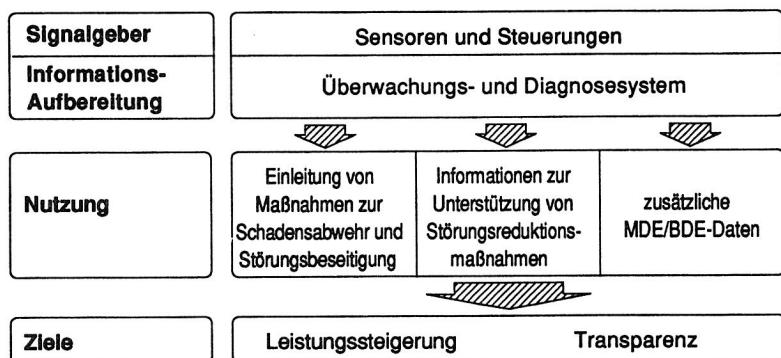


Bild 6.1: Ziele des Einsatzes eines Überwachungs- und Diagnosesystems

Der Einsatz eines Überwachungs- und Diagnosesystems dient der Leistungssteigerung und Verbesserung der Transparenz des Betriebsverhaltens der Montagesysteme. Notwendige Prozeßinformationen sind durch Sensorsysteme direkt aus dem Prozeß oder indirekt aus der Steuerung zu gewinnen. Sie müssen

aufbereitet und zu einer Prozeßbeeinflussung genutzt werden. Ein direkter Erfolg stellt sich durch eine Leistungssteigerung des Montagesystems ein (Bild 6.1).

6.1.1 Leistungssteigerung der Montagesysteme

Als primäres Ziel kann die Leistungssteigerung bezeichnet werden. Sie ergibt sich aus einer Maximierung der Ausbringung und einer Minimierung der Personalbindung des Montagesystems. Diese Größen sind quantifizierbar und ermöglichen einen Wirtschaftlichkeitsvergleich. Das Potential einer Leistungssteigerung ergibt sich aus folgendem:

- Erhöhung der Ausbringung durch Vermeidung von störungsbedingten Stillstandszeiten,
- Reduktion des Schlecht-Teile-Anteils durch verfeinerte Diagnose und
- Verringerung der Personalbindung zur Störungsbehebung durch Verkürzung der Reparaturzeiten (vgl. / 44/, /146/).

Verschiedene Konzepte der Fehlerbehandlung sind zu vergleichen. Das Ausfallkonzept erfordert organisatorisch gesehen den geringsten Aufwand in Bezug auf vorbeugende Maßnahmen, da bewußt eine Überwachung der Anlage unterlassen und der Fehler- oder Schadensfall erwartet wird. Im Fehlerfall wirkt sich das erheblich auf den Prozeß aus (Bild 6.2).

Durch die Anwendung des Präventivkonzeptes erfolgt eine gewisse Vorbeugung, wobei hier aus der Erfahrung heraus im wesentlichen Fehler aufgrund von Verschleiß berücksichtigt werden. Eine aktuelle Überwachung erfolgt auch hier nicht.

Die Überwachung des Montageprozesses erlaubt eine aktuelle Reaktion durch Fehlerkompensation, Fehlerfrüherkennung oder durch Fehlererkennung und Abbruch des Montageablaufs zur Begrenzung der Fehlerauswirkung.

Fehlerbehandlungskonzept						
		Ausfall- konzept	Präventiv- konzept	Überwachung		
				Kompensation	Frühwarnung	Abschalten
Zielkriterien	-Fehlervermeidung	●	◐	◐	◐	◐
	-Fehlererkennung	●	●	○	○	◐
	-Fehlerbehebung	○	◐	◐	◐	◐
Rückwirkung	Personaleinsatz	○	◐	●	◐	◐
	Ausbringung	○	◐	●	●	◐
Berücksichtigung des Zielkriteriums Negative konzeptbedingte Auswirkungen auf Merkmal				○ stark hoch	➡	● schwach niedrig

Bild 6.2: Gegenüberstellung alternativer Fehlerbehandlungskonzepte

Bei gesichertem Prozeßablauf kann eine Leistungssteigerung ferner durch eine bessere Nutzung der theoretisch möglichen Kapazität der Anlage erreicht werden. Dies kann z.B. durch eine Ausweitung der Produktionszeiten infolge der Nutzung von Pausenzeiten und Zusatzzeiten vor oder nach der Arbeitszeit des Bedienerpersonals (personalreduzierter Betrieb) realisiert werden.

Die vollständige Nutzung der personalreduzierten Fertigungszeiten ist jedoch nur möglich, wenn eine Überwachung und Diagnose weitgehend automatisch funktioniert. Ohne Berücksichtigung des automatisierten Ablaufs ist die Entwicklung eines Überwachungskonzeptes in sich hinfällig. Die Automati-

sierung der Überwachung trägt bereits zu einer verringerten Personalbindung bei. Die fortgeschrittene Automatisierung auch der Diagnosefunktionen reduziert Reparaturzeiten durch Verkürzung der Dialogzeiten, die z.B. bei Einsatz von XPS-Systemen typisch sind. Eine schnelle Reaktion minimiert in jedem Fall Stillstandszeiten der Anlage.

Eine Erweiterung der Funktionen der Überwachung und Diagnose ist durch den Einsatz von Störungsbeseitigungseinrichtungen möglich. Fehlerfallspezifisch können geeignete Fehlerbeseitigungsmechanismen eingesetzt werden. Somit kann ein personeller Eingriff umgangen oder reduziert werden (vgl. / 21/, / 63/).

6.1.2 Transparenz des Betriebsverhaltens der Fertigungseinrichtungen

Die Transparenz des Betriebsverhaltens ergibt sich aus einer möglichst vollständigen Kenntnis relevanter organisatorischer und technischer Informationen an verschiedenen Stellen des Betriebes in angepaßter, verdichteter Form (Bild 6.3). Während der Bediener oder der für den Produktionsbetrieb Verantwortliche ein verstärktes Interesse an der Kenntnis aktueller Zustände hat, so haben Planung und Konstruktion ein eher langfristiges Interesse an der Transparenz der Fertigungseinrichtungen. Bedeutet für den Bediener an der Maschine die Kenntnis des Störverhaltens einer Anlage eine Handlungsanleitung zu einer optimierten Störungsbehebung, so kann in den planenden Bereichen die Störanfälligkeit wirksam reduziert werden.

Für die Planung und Konstruktion oder den Fertigungsmittelbau ist es unter Umständen ausreichend, charakteristische Daten wie Zuverlässigkeitswerte u.a. durch eine Recherche aus Normen, Aufzeichnungen oder der Literatur zu gewinnen. Für andere Aufgaben aus den Bereichen der Instandhaltung oder der Optimierung vorhandener Anlagen ist diese vergan-

genheitsorientierte Datengewinnung sicher nicht ausreichend. Die Gewinnung aktueller Daten ist hier erforderlich, wobei am Bedarfsfall orientiert eine sporadische Erhebung erfolgt, oder auf eine institutionalisierte Datengewinnung zurückgegriffen werden kann.

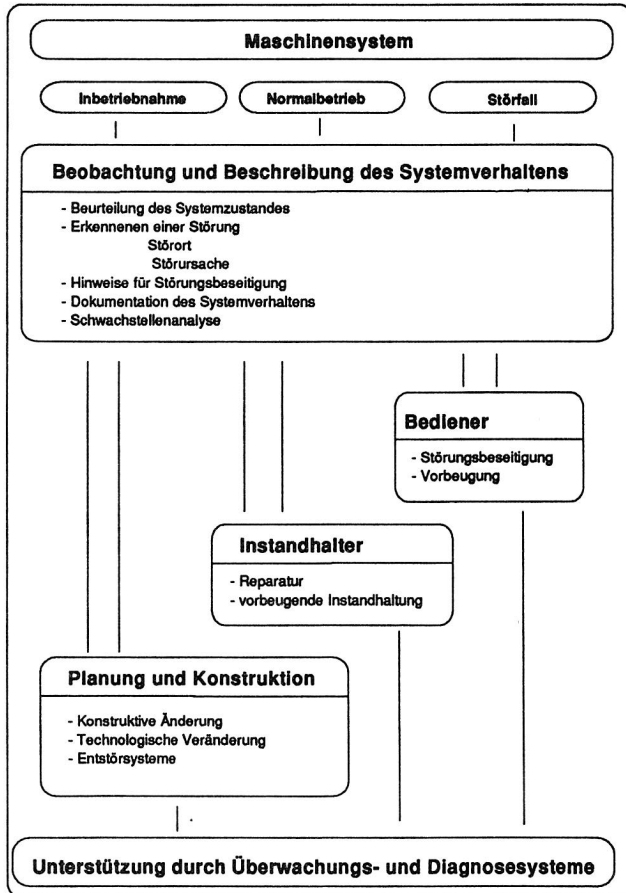


Bild 6.3: Kenntnis und Auswertung des Systemverhaltens in verschiedenen Nutzerbereichen

Auch wenn eine sporadische Datengewinnung kurzfristig eine wirtschaftlich günstigere Lösung darstellt, so kann doch nur eine institutionalisierte und automatisierte Datengewinnung eine sowohl aktuelle als auch durch langfristige Auswertung sichere Datenbasis für die Beurteilung des Betriebsverhaltens liefern. Gerade die Nachteile der manuellen, sporadischen Datengewinnung werden durch Einsatzerfahrungen belegt, wie sie im Abschnitt 4.4.1 dargestellt wurden.

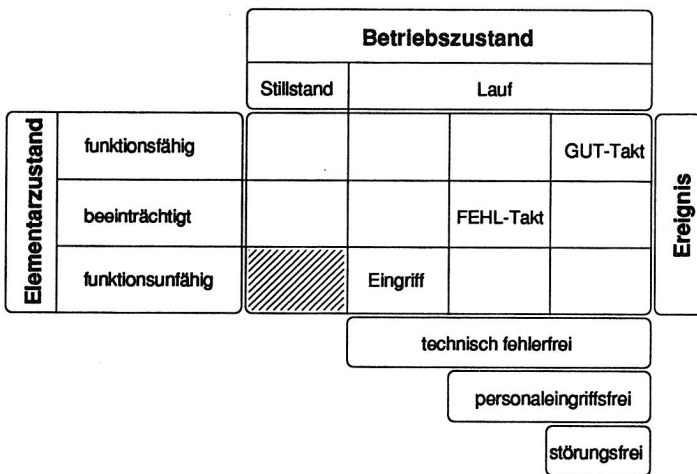


Bild 6.4: Differenzierte Betrachtung und Beschreibung des Betriebszustandes (nach /146/)

Stand der Technik in der Betriebsdatenerfassung ist die Betrachtung der Stillstände als relevantes Merkmal z.B. für Rüstoperationen oder für die Auswirkung von Störungen. Wie von Ziersch /146/ ausführlich dargestellt ist dies allein jedoch keine ausreichend differenzierte Betrachtungsweise.

Im besonderen bei automatisierten Montageanlagen trifft man in der Praxis z.B. auf das Phänomen, daß Bediener aufgrund von Erfahrungswerten an bekannten kritischen Stellen vorbeugend in den Prozeß eingreifen und dadurch Stillstände vermeiden bzw. Störungen beheben, bevor sie zu einem Anlagenstillstand führen (vgl. Abschnitt 4.4.1).

Ziersch /146/ schlägt eine Unterscheidung vor, die nach einer Zuordnung zu sogenannten Elementarzuständen, d.h. Beschreibung der Funktionsfähigkeit, und zu sogenannten Betriebszuständen, d.h. Beschreibung der Auswirkung der Elementarzustände, in drei Bereiche gestaffelt ist (Bild 6.4). Zum einen ist die bekannte grobe Unterscheidung in Stillstand und Lauf möglich. Eine Verfeinerung ergibt sich durch die Unterscheidung in der Betrachtung der Qualität der montierten Teile. Eine ergänzende Unterscheidung des Laufzustandes wird ferner unter dem Gesichtspunkt der Erfassung von Personaleingriffen vorgeschlagen.

Mit der differenzierten Kenntnis dieser Betriebszustände und der Zuordnung der Zustände zu ursächlichen oder auslösenden Ereignissen können das Betriebsverhalten beschreibende, statistische Analysen durchgeführt und Kennwerte zur Beurteilung des Betriebsverhaltens gebildet werden (vgl. / 30/, / 68/, / 98/ oder /126/ bis /129/, Bild 6.5).

Vereinfachte statistische Analysen z.B. der Stördauern in ihrer Verteilung mit Minima, Maxima und Durchschnittswerten erlauben in der Praxis der Montageautomatisierung bereits einen Ansatz zu einer Steigerung der Anlagenproduktivität (vgl. /101/). Die Kenntnis der für das Betriebsverhalten tatsächlich bedeutungsvollen Einflüsse und die Unterscheidung von unbedeutenden Einflüssen erlaubt ein zielorientiertes Vorgehen.

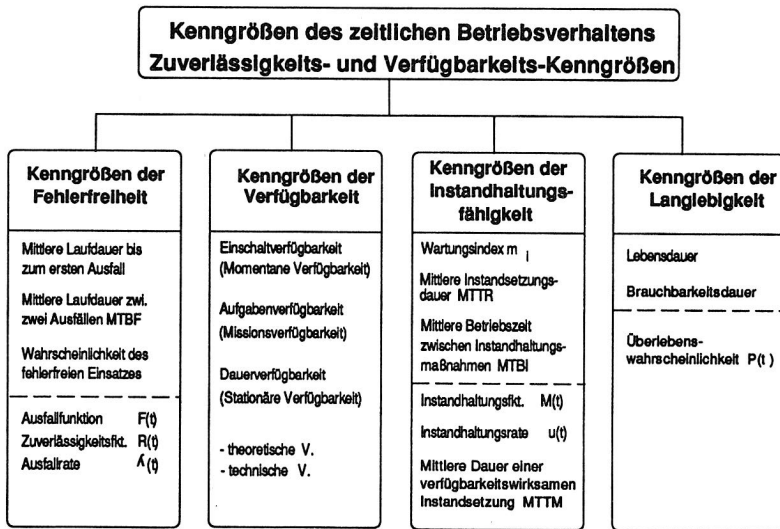


Bild 6.5: Kenngrößen des zeitlichen Betriebsverhaltens

6.2 Anforderungen an ein flexibles Lösungskonzept

6.2.1 Universelles Anwendungsspektrum

Die Flexibilität eines Lösungskonzeptes zur Überwachung und Diagnose soll neben der Anpaßbarkeit an aktuelle Prozeßbedingungen innerhalb einer Zelle auch auf Montagezellen unterschiedlicher Struktur und mechanischer bzw. steuerungstechnischer Ausstattung bei verschiedenen Montageaufgaben übertragbar sein. Diese Übertragbarkeit sollte zudem nicht nur beim Einsatz in neuen Zellen möglich sein, sondern es sollten bei Bedarf auch vorhandene Zellen nachgerüstet werden können. Eine vielfältige Übertragbarkeit des Lösungsansatzes erleichtert die standardisierte, institutionalisierte Nutzung des Systems (vgl. Bild 6.6).

Im besonderen im Hinblick auf die Nachrüstbarkeit bestehender Montagezellen müssen daher die Anforderungen des Konzeptes an diese vorhandenen Einrichtungen so gering wie möglich sein. Prinzipiell sollte das Konzept also unabhängig von herstelleraufspezifischen Voraussetzungen in der Hardware sein.

Anforderungen an	Einsatzfall	
	Nachrüstung	Neuplanung
Kernsteuerungs- basis - Hardware - Software	Neutralität	
Schnittstellen	Standardapplikation	
Überwachungs- funktionen - Erweiterung - Ersatz	Modularität	
Leistungs- fähigkeit - Überwachungsumfang - Diagnosegrad - Reaktionszeit	Erweiterbarkeit	

Bild 6.6: Randbedingungen aus dem Systemeinsatz
bei Nach- und Erstausrüstung

Eine Neutralität in der Anschlußvoraussetzung muß sich auch bezüglich der Software einstellen. Dies betrifft z.B. Anforderungen an die Programmiersprache oder -logik der unterlagerten Steuerung, wie es ausführlich bei der Beschreibung der Einsatzbeispiele (Abschnitt 4.3 ff) erläutert wurde.

Da nur bei einer geringen Zahl von Einsatzfällen davon ausgegangen werden kann, daß eine vollständige Überwachung relevanter Prozeßzustände bereits im vorhandenen Kernsystem durchgeführt wird und damit Störungsmeldungen für die nachfolgende Diagnose bereits in ausreichend differenzierter

Form vorliegen, besteht eine wesentliche funktionelle Anforderung an ein übertragbares System darin, daß es in der Lage sein sollte, eine von den in der Kernsteuerung implementierten Funktionen unabhängige Überwachung des Prozesses zu ermöglichen. Die Auswertung vorhandener Steuerungssystemmeldungen ist nur in Kombination mit der Auswertbarkeit von Sensorsignalen als direkter Prozeßinformation zulässig. Eine Überwachung und Diagnose des Ablaufsteuerungsprogramms an sich ist nicht Bestandteil des vorliegenden Einsatzfeldes - seine fehlerfreie Erstellung wird vorausgesetzt.

Unter dem Gesichtspunkt der bedarfsgerechten Anpassung der Systemleistungsfähigkeit nach z.B.

- Überwachungsumfang und -detaillierungsgrad,
- Reaktionszeit der Diagnose,
- Hilfsmittel der Datenauswertung und -darstellung
(Visualisierung, Statistik etc.)

ist ein in Hard- und Software modular aufgebautes und einsetzfähiges Lösungskonzept erforderlich.

Es sollte unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten auch eine angepaßte Wahl der für das Überwachungs- und Diagnosesystems bereitzustellenden Rechnerleistung möglich sein. Diese Leistung wird im wesentlichen durch die Anforderungen an die Reaktions- und Laufzeit bestimmt. Durch die Wahl einer standardisierten und übertragbaren Betriebssystemumgebung ist eine Übertragbarkeit des lauffähigen Systems an Rechneinheiten unterschiedlicher Prozessorleistungsklassen möglich.

6.2.2 Maschinennahe Einsetzbarkeit

Der Einsatz von flexiblen Montagzellen erfordert maschinen-nahe Lösungsvorschläge. Neben den Anforderungen, die aus der Übertragbarkeit des Lösungskonzeptes abgeleitet werden, sind

hier in erster Linie Randbedingungen der benutzergerechten Auslegung zu sehen.

Vor Ort, an der Maschine, soll das System unmittelbar von verschiedenen Nutzerkreisen handhabbar sein. Betrachtet man z.B. den Fehler- oder Störfall, so ist zu unterscheiden in leichte Fehler, die durch den Bediener vor Ort behoben werden können, und schwere Fehler, die den Einsatz von Spezialisten z.B. der Instandhaltung erfordern. Bei leichten Fehlern sollten die kurzen Reaktionswege vor Ort durch eine schnelle, prägnante Information des Personals unterstützt werden, bei schweren Fehlern dagegen sind der Einsatz eines erweiterten Analyseinstrumentariums und die Bereitstellung erweiterter Systemdaten sinnvoll.

Neben dem Maschinenbediener und dem Instandhaltungspersonal sind die Meister als Werkstattführer sowie Personal aus übergeordneten Bereichen potentielle Nutzer eines Überwachungs- und Diagnosesystems. Solange ein Systemverbund der rechnerintegrierten Fertigung nicht realisiert ist, müssen entsprechende Daten am Ort der Gewinnung und Aufbereitung für diese Nutzer abrufbar sein.

Das Ergebnis einer Befragung und Diskussion mit einem Betreiber automatisierter Montagezellen zur Gestaltung eines bedienergerechten Diagnosesystems zeigt Bild 6.7. Eine Grundforderung ist die Beschränkung der visualisierten Informationsmenge, d.h., nicht zu jeder Zeit sollte jede mögliche Information angezeigt werden. Auch wenn der Informationsausschnitt auf verschiedene Nutzerkreise umgelegt wird, sollte ein Bedarf bei normaler und ein Bedarf bei besonderer Anforderung unterschieden werden.

Dem Maschinenbediener z.B. sollten Informationen aus dem Störungsumfeld sowie einfache Informationen zur Ausbringung (Gut-/Schlechtteile) angezeigt werden. Letzteres ist für ihn im Sinne der Leistungsabschätzung und -berechnung auch für die Entlohnung sinnvoll.

	Bediener	Einrichter	Meister	Inbetriebnahme	Instandhaltung	"übergeordnete" Stellen (*)
Störrort	●	●	○	●	●	
Störungsstatistik			●	●	●	●
Stückzahlen	●			●		
Flexibler Auswert- zeitraum			○	●		
Verfügbarkeits- kennwerte			●	○	●	●
Rüstzeitstatistik			○	○	○	●
Instandhaltungsstat.			○		●	●
Stückzahlstat.-attr.			●		○	●
Hilfsmittel Störungs- beseitigung	●	●			●	
Einstelldatum	○	●		●	●	
Masch. Anschlußwerte	○	●		●	●	
Ent- und Versorg.- vorgang Anschlüsse	●	●			○	
Frühwarnsystem	●					
-Speicherüberwachung						
-Verschleißprognose		●			●	
-Teilequalitätsüber- wachung "Input"	●					
Frühwarnstatistik		●	●	●	●	●

● Normalfall

○ Ausnahmefall

(*) Betriebsingenieur,
Auftragssteuerung,
Planer

Bild 6.7: Anforderungen an die Informationsbereitstellung

Dem Meister, als Führungsperson in der Werkstattebene, wird ein Bedarf an Informationen aus dem Bereich der das Zellenverhalten beschreibenden Kennwerte zugeordnet. Ähnliche verdichtete Daten sind auch für übergeordnete Bereiche von Bedeutung. Ein geeignetes Lösungskonzept sollte die unter-

schiedlichen Nutzungsfälle durch eine abgestuft abrufbare und geschützte Funktionstiefe berücksichtigen (Bild 6.8).

	Systemmerkmale
Informations-gewinnung	erweiterte Prozeßinformation parameterisierbare Überwachungsfunktion parameterisierbare Störungsbeschreibung
Informations-aufbereitung	flexible Visualisierung Hinweise Störungsbeseitigung statistische Datenaufbereitung einfache Datenaufbereitung
Informationsfähigkeit	hierarchische Zugriffsbeschränkung

Bild 6.8: Merkmale einer bedienergerechten Systemauslegung

Ein besonderes Nutzungsziel eines neuartigen Lösungskonzeptes soll auch darin bestehen, daß die Erfahrungen des Bedieners oder des Instandhaltungspersonals vor Ort unmittelbar in die Überwachung und Diagnose einfließen können. Es sollte daher möglich sein, daß vor Ort einfache Erweiterungen der Hinweise zur

- Fehlererkennung,
- Fehlerort und
- Fehlerursachenbeschreibung

in das System eingebracht werden können, ohne daß über den bisher in der Praxis bekannten, langwierigeren Instanzenweg Systemspezialisten angefordert werden müssen, die alleine die Kenntnis und Berechtigung zum bisher notwendigen Ein-

griff in das Programm besitzen. Das Überwachungs- und Diagnosesystem muß in diesem Sinne flexibel im Betrieb bedienbar sein. D.h., diese Anpassungen in der Logik sollten in einfacher Form, ohne spezielle Kenntnis besonderer Programmiersprachen, und unter Vermeidung der Gefahren, die ein direkter Eingriff in ein komplexes Ablaufsteuerungsprogramm für die Gesamtfunktion der Zelle birgt, möglich sein.

6.2.3 Integration in eine rechnergeführte Produktion

Der Einsatz eines leistungsfähigen und universell einsetzbaren Überwachungs- und Diagnosesystems bedeutet die Bereitstellung eines Instrumentariums zur Gewinnung vielfältiger Informationen aus dem Montagebereich. Ist ein System der rechnerunterstützten Fertigung im praktischen Einsatz weiter fortgeschritten, so können Informationen des Basissystems z.B. über einen lokalen Datenverbund auch im Meisterbüro oder in Planungs- und Konstruktionsabteilungen on-line abgerufen werden.

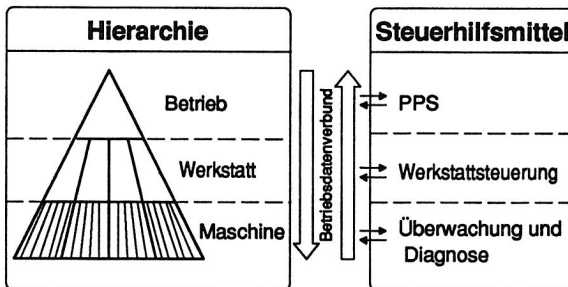


Bild 6.9: Pyramide der rechnerintegrierten Fertigung

Wie z.B. von Schneider /104/ ausführlich beschrieben, ist von besonderer Bedeutung, daß überhaupt ein Informationsaustausch zwischen Produktionssystemsteuerung, Zellensteuerung und anderen Datenverarbeitungseinrichtungen möglich ist (Bild 6.9). Nur durch den Informationsaustausch ist die aufwendige, redundante Gewinnung von Informationen zu verschiedenen Zwecken zu umgehen (vgl. / 71/).

7 Das rechnergestützte Diagnosesystem CADig

Aufbauend auf den Anforderungen, die an ein System der Überwachung und Diagnose in der Praxis gestellt werden, wurde ein neuer Lösungsansatz entwickelt. Die Überwachung und Diagnose des Montageprozesses basiert hier auf dem von beliebigen Signalgebern - Sensoren oder Steuerungen - erfaßten und dargestellten aktuellen Prozeßabbild und einem kontinuierlichen Vergleich mit vorgegebenen Referenzabbildern auf einem Diagnoserechner. Charakteristisch sind die einfache Nachrüstbarkeit des Systems und seine anwenderfreundliche Bedienung und Programmiermöglichkeit. Dieser Ansatz führte zur Konzipierung und Erprobung des rechnergestützten Überwachungs- und Diagnosesystems CADig (Computer Aided Diagnosis).

In den folgenden Abschnitten werden die grundlegenden Gedanken zur Systemkonzipierung, zur Vorgehensweise bei der systematischen und fortschrittlichen Realisierung des programmtechnischen Entwurfes und zur Erprobung des Systems am Beispiel einer flexiblen Montagezelle für die Komplettmontage eines Elektrokleinmotors dargestellt.

7.1 Das Systemkonzept

7.1.1 Grundgedanken zum Systementwurf

Die Funktion der Überwachung und Diagnose soll automatisiert ablauffähig und unabhängig von Hersteller oder Typ der unterlagerten Steuerungen und ihrer Programme sein. Dazu muß eine Lösung mit externen Hilfsmitteln, d.h. mit eigener, autarker Rechnerbasis, entwickelt werden.

Der Einsatzbereich von CADig ist die Montage. Im besonderen ist es der Einsatz in zellenorientierten Strukturen mit der Option eines erweiterten Arbeitsumfanges, wie sie für den

Bereich einer flexiblen Komplettmontage von Baugruppen oder Teilen charakteristisch sind (Bild 7.1). Noch beherrschen Lösungen mit serieller oder paralleler Aufteilung des Montageumfanges auf gekoppelte Einzelstationen den Montagebereich. Es wird jedoch aufgabenangereicherten Zellen, mit weiter in Richtung Autarkie und Dezentralisierung hin ausgeprägten Merkmalen, ein erhebliches Entwicklungspotential zugemessen (vgl. /107/).

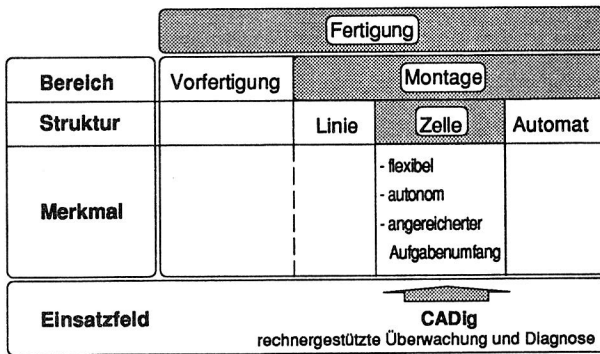


Bild 7.1: Geplantes Einsatzfeld des Überwachungs- und Diagnosesystems CADig

Bezüglich der Funktionalität liegt der Systemgedanke im besonderen darin, eine Kernsteuerung mit spezialisierten Funktionen - z.B. der Steuerung des Bewegungsablaufes eines Handhabungsgerätes oder der Ablaufsteuerung verschiedener Fertigungseinrichtungen - nicht zu ersetzen, sondern sie durch ein nebengeordnetes System zu ergänzen.

Eine Aufgabenverteilung zwischen Kernsteuerung/-en und Überwachung/Diagnose soll dahingehend erfolgen, daß idealerweise eine Folge von Abläufen von der Kernsteuerung initialisiert

und der Einzelschritt gesteuert wird. Die Funktion der Überwachung des fehlerfreien Ablaufes im Zusammenspiel der Einzelschritte und die allgemeine Zustandsüberwachung wird jedoch ausgelagert. Durch eine Rückkoppelung der Systeme wird gewährleistet, daß im fehlerfreien Fall ein unbeeinflußter Ablauffortschritt stattfinden kann (Bild 7.2).

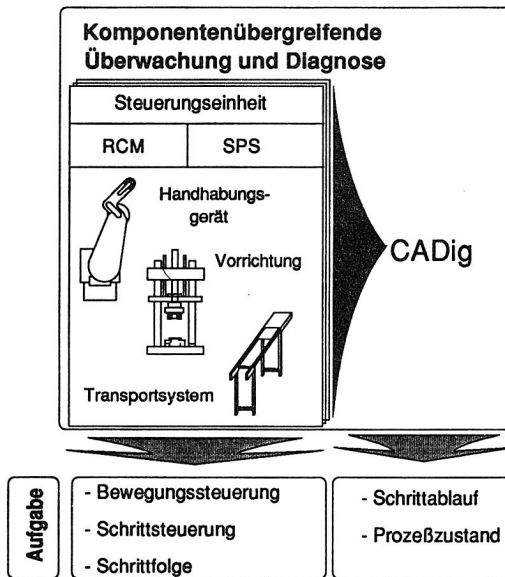


Bild 7.2: Einbettung der Kernsteuerung in das Überwachungs- und Diagnosesystem

Die Diagnose des Montageprozesses ist direkt abhängig von der Qualität der Überwachung, d.h. von der Qualität der einer Auswertung zur Verfügung stehenden Prozeßinformationen. Die Überwachungsfunktion ist daher auch Bestandteil des Systems CADig (zum Problem der Erweiterung der Überwachungsfunktion bei integrierten Lösungsvorschlägen siehe Abschnitt

4.3.1). Neben der Auswertung vorhandener oder in der Grundausstattung der Zellenplanung vorgesehener Prozeßinformationen, bereitgestellt durch Steuerung oder Sensoren, soll eine erweiterte, Überwachungs- oder diagnosespezifische Informationsgewinnung mittels nachträglichem Anschluß von Sensoren möglich sein.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die wesentlichen Bausteine des Systemkonzeptes,

- Darstellung des Prozesses in überwachungsangepaßter Form,
- Datenerfassung zur Verfolgung des Prozeßzustandes,
- Erkennung und Klassifizierung des Prozeßzustandes,
- Aufbereitung der Informationen und Gestaltung der Schnittstellen zum Bediener,

sowie die aus der Überwachung und Diagnose ableitbaren erweiterten Systemfunktionen im einzelnen erläutert.

7.1.2 Prozeßabbild und -überwachung

Die Problematik der Überwachung eines Prozesses ergibt sich aus zwei Aufgabenstellungen. Zum einen ist festzustellen und festzulegen, wie der Prozeß ohne Fehler ablaufen soll. Zum anderen ist sowohl planerisch zu erfassen, welche Fehlereinflüsse wahrscheinlich sind (FMEA), um diese Störungen in geeigneter Weise abzufangen, als auch vor Ort erfahrungsbasiert auf aufgetretene Einflüsse entsprechend zu reagieren. Diese prozeßbeeinflussenden Regeln müssen in geeigneter Weise in Anweisungen für die Programmierung von Steuerungseinrichtungen umgesetzt werden (Bild 7.3).

Der reale Prozeß wird in ein rechnerinternes Modell transformiert, es wird ein Vergleich zwischen Modellzustand und Prozeßzustand durchgeführt und es werden aufgrund des Vergleichsergebnisses weiterführende Aktionen eingeleitet.

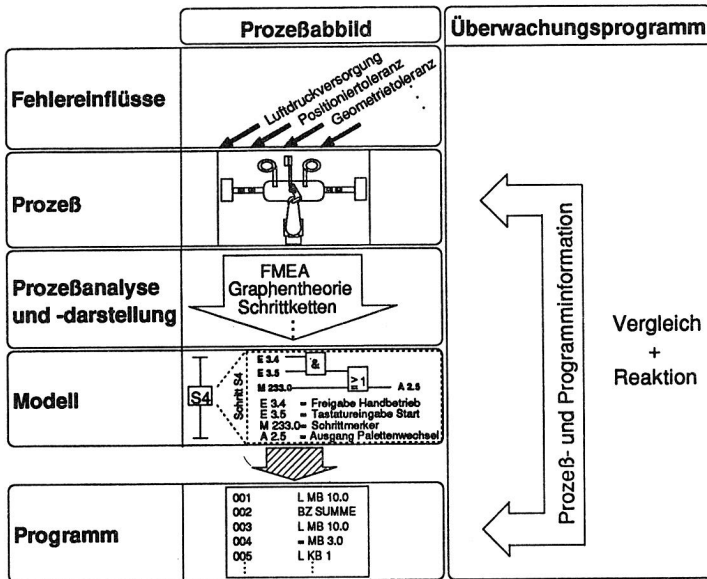


Bild 7.3: Modellhafte Prozeßabbildung und programmgesteuerte Überwachung

Eine vollständige planerische Erfassung des Prozeßgeschehens und seiner bestimmenden Einflüsse wäre zwar ideal, muß aber als nicht realisierbar betrachtet werden. Ein Rest Unsicherheit in der Beschreibung des Prozeßgeschehens ist auch bei Bereitstellung systematischer Hilfsmittel nicht zu umgehen.

Als Hilfsmittel im Planungsstadium wird z.B. das System der FMEA als Fehlermöglichkeits- und -einflußanalyse eingesetzt. Die FMEA bietet die Grundlage für eine systematisierte und methodische Analyse der Bedeutung, der Wahrscheinlichkeit des Auftretens und der Wahrscheinlichkeit des Erkennens oder Nicht-Erkennens eines Fehlers (vgl. / 56/).

Ziel bisheriger Hilfsmittel zur Realisierung von Überwachungs- und Diagnosefunktionen ist die ideale, weil vollständige Darstellung des Prozesses und die Umsetzung dieser Darstellung in einen ablauffähigen Programmcode.

Der Ansatz im System CADig jedoch besteht darin, sich vom Komplex der Darstellung der Ablauffolge zu lösen und konsequent den Prozeß als Menge von einzelnen Signalen, d.h. Signale von Sensoren oder Steuerungseinrichtungen, zu betrachten (Bild 7.4). Es besteht dabei eine Ähnlichkeit zu der Darstellung der Prozeßzustände in Matrizen, wie er in / 87/ als Zwischenform der Prozeßdarstellung in den Ansätzen zur Entwicklung neuer Hilfsmittel der Programmierung von Steuerungseinrichtungen eingesetzt wird (vgl. Abschnitt 7.1.4).

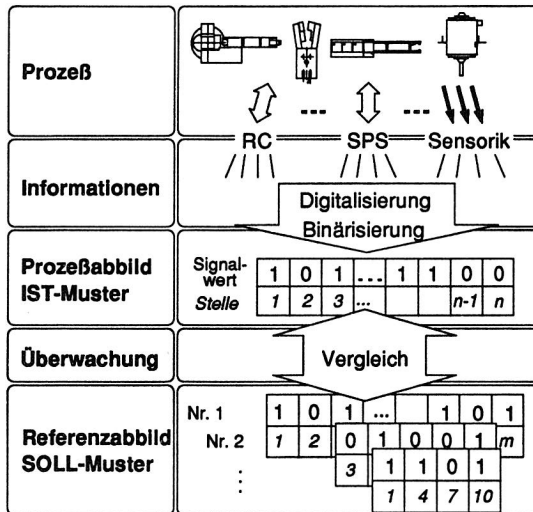


Bild 7.4: Überwachung durch Vergleich des Prozeßabbildes mit Referenzabbildern

Der bei der Entwicklung des Systems CADig gemachte Ansatz orientiert sich an den besonderen Gegebenheiten der Montage: Es werden überwiegend binäre Signale erfaßt und ausgewertet. Der einfache, schaltende Sensor ist das vorherrschende Erfassungselement. Diese Betrachtung stimmt überein mit den Ergebnissen einer Untersuchung in Montagezellen von Nolting / 86/.

Werden komplexe, z.B. analoge, Meßwerte erfaßt und verarbeitet, so liegen diese Werte in der Regel in digitalisierter Form vor, und sie lassen sich somit auch als Folge von binären Signalen verstehen. Üblicherweise werden jedoch auch komplexe Meßwerte im Sinne einer Grenzwertfassung verarbeitet. Das Ergebnis läßt sich bei einer einfachen Unterteilung in GUT- oder SCHLECHT-Werte binär auffassen. Diese Menge von binären Signalen - aus dem Prozeß direkt über Sensoren oder indirekt über die Steuerung ermittelbar - stellt das Prozeßabbild dar. Es wird ausgedrückt als Anordnung binärer Signale in einer bestimmten Reihenfolge. Diese Darstellung wird im folgenden als Summe bezeichnet.

Die Quelle der Signale ist für den prinzipiellen Mechanismus der eigentlichen Überwachung ohne Bedeutung, sie ist jedoch über die Stelle oder Platznummer eines oder mehrerer zugehöriger binärer Zeichen in der Summe eindeutig identifizierbar.

Der Prozeßzustand wird durch eine Menge von binären Signalen beschrieben. Somit ist eine Beschreibung eines geplanten, fehlerfreien Zustandes durch die Vorgabe einer Summe möglich. Durch den Vergleich einer vorgegebenen Summe - dem SOLL-Zustand - mit der Summe des aktuellen Prozeßabbildes - dem IST-Zustand - ist eine Abweichung erkennbar und damit eine Überwachung möglich.

Der Prozeßablauf wird gekennzeichnet durch eine Folge von Summen der IST-Werte. Eine kontinuierliche Überwachung des

Prozesses erfolgt über einen kontinuierlichen Vergleich von IST- und SOLL-Zuständen. Die durch geeignete Datenerfassungssysteme aufgenommenen Signale bilden als Prozeßabbild die IST-Summe. Sie wird mit einer Menge von vorgegebenen SOLL-Summen verglichen. Wird eine Übereinstimmung der IST-Summe mit einer SOLL-Summe festgestellt, so werden die Summenattribute ausgewertet. Die SOLL-Summe kann durchaus auch eine Untermenge der Stellen der IST-Summe umfassen.

Da die Signalquellen prinzipiell voneinander unabhängig sind, kann eine Summe sozusagen beliebig viele Summenwerte in Abhängigkeit von ihrer Stellenzahl annehmen. Ein bestimmter Summenwert - eindeutig charakterisiert durch den Wert jeder Stelle - wird als Belegung dieser Summe bezeichnet.

Die Idee der Überwachung geht somit nicht von einem - im Sinne der zeitlichen Orientierung - synchronen Prozeßabbild aus. Unbestritten ist die zeitliche Abfolge im Sinne einer Vorher/Nachher-Betrachtung ein entscheidendes Merkmal zur Beschreibung des Prozeßablaufes. Diese zeitliche Folge wird jedoch auch erkennbar aus einer Veränderung des Abbildes z.B. der Steuerungseingangs- und -ausgangssignale. Sollte sich diese Differenzierung anhand vorgegebener Signale nicht als eindeutig erweisen, so ist durch zusätzliche Sensorelemente oder das Einfügen von z.B. den Programmschritt charakterisierenden Ausgangssignalen seitens der Steuerung eine Synchronisation des realen Prozesses mit dem Überwachungssystem möglich. Ist z.B. auch die Überwachung einer Zeitdauer als Ablaufbedingung unumgänglich, so ist es prinzipiell möglich, die Zeitüberwachung innerhalb der Basissteuerung durchzuführen und den Ablauf der programmierten Zeitdauer über das Setzen eines Ausgangssignals anzuzeigen. Diese Signale können dann in SOLL-Summen eingebunden werden.

Tritt eine als Fehler zu bezeichnende Abweichung der Summen auf, so ist eine nachfolgende Auswertung des Zustandes im Hinblick auf eine Rückwirkung auf die Prozeßsteuerung oder

die Fehlerort-, Fehlerursachen- und Abhilfebeschreibung durch Analyse der Einzelsignale möglich.

Mit dem vorgestellten Konzept der Prozeßabbilddarstellung und Prozeßüberwachung ist ein kernsteuerungsunabhängiges Überwachungs- und Diagnosesystem realisierbar. Das Konzept setzt zudem auf elementare, wenn auch "einfache", weitgehend unverdichtete Informationen aus dem Prozeß auf - der Informationsverlust durch zwischengeschaltete Verarbeitung wird minimiert.

7.1.3 Klassifizierung und Diagnose der Prozeßzustände

Das Überwachungs- und Diagnosekonzept des Systems CADig baut auf dem Vergleich von SOLL- und IST-Summen als den - den Prozeß und seinen Ablauf - charakterisierenden Merkmalen auf.

Die Überwachung als Vergleich vorgegebener SOLL-Summen und der aktuellen IST-Summe liefert als Ergebnis die Meldung einer Übereinstimmung und die Angabe der entsprechenden SOLL-Summe oder die Meldung, daß für die aktuelle Summe keine deckungsgleiche Summe in der Menge der SOLL-Summen gefunden wurde. Ein Hinweis auf einen fehlerbehafteten oder fehlerfreien Zustand der Montagezelle ergibt sich durch weitere, definierte SOLL-Summen-Merkmale.

Ein Merkmal wird durch beschreibbare Zustandsmöglichkeiten gebildet. Die Beurteilung der möglichen Zustände erfolgt auch im Hinblick auf Rückwirkungen auf den Prozeßablauf und auf Meldungsfunktionen des Überwachungssystems gegenüber dem Bediener. Die definierten Summen werden entsprechend in fünf Merkmalsklassen eingeteilt (siehe Bild 7.5):

- NDZ = Nicht definierter Zustand,
- OKZ = OK-Zustand,
- AFZ = Achtung-Frühwarnung-Zustand,
- UFZ = unkritischer Fehlerzustand,
- KFZ = kritischer Fehlerzustand.

Wie auch bei anderen Verfahren der Prozeßablaufplanung angesprochen, ist es - aufgrund eines unsicheren Wissens über alle möglichen Zustandsbilder - praktisch nicht sinnvoll oder möglich davon auszugehen, daß alle diese Zustände programmiert und als Summen definiert werden. Eine vollständige Definition aller Summen führt z.B. bei einer üblichen Montagezelle bei Berücksichtigung von 20 einfachen Sensorsignalen (vgl. / 86/) zu einer maximal 20stelligen Summe und damit zu 2^{19} - d.h. über 500 000 - möglichen Zustandsbeschreibungen. Aus dieser maximalen Menge ist nur eine Teilmenge, wie im Beispiel des Einsatzfalles näher erläutert wird, für die Zellenüberwachung relevant.

Zustandsklassen					
Name	nicht definierter Zustand	OK-Zustand	Achtung-Frühwarn-Zustand	unkritischer Fehlerzustand	kritischer Fehlerzustand
Kurzzeichen	NDZ	OKZ	AFZ	UFZ	KFZ
Rückwirkung auf den Prozeß	-	START	-	HALT	STOP
	-	Setzen Schrittfreigabe	-	Rücknahme Schrittfreigabe	Abbruch Bewegungssatz
Priorität	5	3	4	2	1
Meldung	-	+	+	+	+
Kennfarbe	gelb	grün	gelb/rot	rot/gelb	rot

Bild 7.5: Abgestimmte Systemrückwirkung durch Klassifizierung von Prozeßzuständen

Eine indirekte Definition auch der geplanterweise nicht relevanten Zustände erfolgt durch das Merkmal des "Nicht definierten Zustandes" (NDZ). Wird also bei einem Summenvergleich festgestellt, daß die Belegung einer IST-Summe keiner Belegung einer zugehörigen SOLL-Summe entspricht, also nicht definiert ist, so wird sie automatisch dieser Merkmalsklasse zugeordnet. Es ist auch möglich, per Definition einer vorgegebenen Summe dieses Merkmal zuzuordnen.

Eine im Sinne eines fehlerfreien Montageablaufs aufgenommene Menge von Summen wird in der Klasse der "OK-Zustände" (OKZ) zusammengefaßt. D.h., alle geplanterweise fehlerfreie Zustände beschreibenden Summen werden dieser Merkmalsklasse zugeordnet. Wird eine Übereinstimmung der IST- und einer SOLL-Summe dieser Klasse festgestellt, ist z.B. das Setzen einer Freigabe für den Prozeßfortschritt die Folge.

Eine Beschreibung fehlerbehafteter Zustände durch eine Merkmalsklasse alleine ist nicht möglich. Löst man sich z.B. von der Denkweise der Überwachung einzelner Schritte in Ablaufketten, so ist - Stichwort: Frühwarnung Materialzuführung - ersichtlich, daß bestimmte Prozeßzustände zwar eine unzulässige Abweichung von einem geplanten Zustand einnehmen können, dieser Fehler aber nicht unmittelbar für den Fortschritt des Prozesses relevant ist. Der Merkmalsklasse der "Achtung Frühwarnung-Zustände" (AFZ) können entsprechende Zustände zugeordnet werden, die Frühwarnungen auslösen sollen. Sie haben keinen Einfluß auf den Prozeßablauf, wohl aber z.B. eine Meldung an den Bediener zur Folge.

Prozeßzustände, die fehlerbehaftet sind und eine einfache Rückwirkung auf den Prozeßfortschritt im Sinne einer Unterbrechung des Ablaufes erfordern, werden der Merkmalsklasse der "unkritischen Fehlerzustände" (UFZ) zugeordnet. Es werden eine Rückwirkung auf den Prozeß sowie eine Meldung an den Bediener ausgelöst. Der Prozeßablauf wird unterbrochen,

eine Fortführung des Prozeßablaufes ist erst nach Behebung des Fehlerzustandes und der Quittierung der Behebung möglich. Dies betrifft z.B. bei Handhabungsvorgängen eine nicht eindeutig bestimmbare Beendigung eines Greifvorganges durch fehlende Rückmeldung eines Sensorsignales zur Teileanwesenheitserkennung. Dies bewirkt ein Anhalten vor weiteren Verfahrenoperationen durch Negation eines Satzfreigabesignals.

Als "Kritische Fehlerzustände" (KFZ) werden Zustände definiert, die eine Stillsetzung der Montagezelle z.B. durch Betätigung der Bremsen eines Handhabungsgerätes und einen schnellen Anlagenstop erfordern. Eine Bewegungsoperation wird hierbei auch innerhalb eines Bewegungssatzes unterbrochen. Diese Klasse der KFZ ersetzt als softwarebasierte Überwachung nicht eine z.B. durch berufsgenossenschaftliche oder andere sicherheitstechnische Regelungen bestimmte Gestaltung einer NOT-AUS-Funktion.

Die der Fehlerklasse zugewiesene Priorität ist ein Ordnungsmittel für die Vergleichstrategie im Summenvergleich. Summen einer höheren Prioritätsklasse werden dabei zuerst in den Vergleich einbezogen. Sobald eine Übereinstimmung festgestellt wird, werden die zugeordneten Rückwirkungsmechanismen eingeleitet. Erst nach vollständigem Durchlauf einer Klasse werden die Summen der nächsten, untergeordneten Klassen einbezogen.

Eine weitergehende Diagnose des aktuellen Zustandes ist durch verschiedenen Attribute möglich. Im Prinzip ist es völlig unabhängig davon, ob es sich um einen fehlerhaften Zustand oder nicht handelt, da die Attribute oder Merkmale einer entsprechenden SOLL-Summe, nicht der Fehlerklasse, zugeordnet sind. Diese Attribute können in Textform als Name oder Bezeichnung einer SOLL-Summe in Kurzform und als Summenkommentar in ausführlicherer Form eingegeben werden. Hierdurch ist ein Hinweis auf Fehlerort, Fehlerursache und Abhilfemaßnahmen möglich. Wird eine mit der IST-Summe über-

einstimmende SOLL-Summe gefunden, so werden diese Hinweise angezeigt.

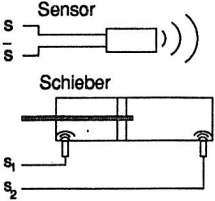
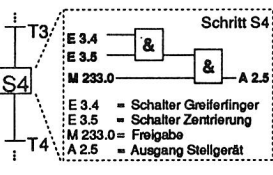
Überwachungsbereich		
Betrachtung	mikroskopisch	makroskopisch
		 <p> E 3.4 = Schalter Greiferfinger E 3.5 = Schalter Zentrierung M 233.0 = Freigabe A 2.5 = Ausgang Stellgerät </p>
Objekt	Einzelelement	Zusammenwirkung mehrerer Elemente
Merkmal	signal- und funktionsbezogen	vorgangs- und zustandsbezogen
Begrenzung	lokal begrenzt	elementeübergreifend
Beispiel	Sensorfunktion Leitungsbruch	Werkstückablage in Vorrichtung
Summenumfang	m-Signale	n-Signale
	$m \ll n$	

Bild 7.6: Differenzierte Überwachung mikroskopischer und makroskopischer Vorgänge und Funktionen

Über die Abbildung des Prozeßzustandes in diesen Summen - gebildet im maximalen Fall aus allen zur Verfügung stehenden Sensoren und Steuerungssignalen - ist eine mit den vorhandenen Hilfsmitteln der Zelle eindeutige Diagnose des Zustandes möglich. Die Analyse des Prozeßzustandes in einer globalen Sicht wird als makroskopische Überwachung bezeichnet. Es ist aber auch möglich, einzelne Funktionselemente, wie z.B. einzelne Sensorelemente oder Vorrichtungen, in Form einer

mikroskopischen Betrachtung zu analysieren (Bild 7.6). Verfahren dieser mikroskopischen Überwachung werden von verschiedenen Autoren z.B. von Eißler / 20/ oder Schwager /106/ zur Überwachung von Stellgliedern oder Bewegungselementen beschrieben.

Die mikroskopische Überwachung und Diagnose bezieht sich auf Untermengen der auszuwertenden Signale. Für eine Summenbildung werden bei dieser Aufgabe nicht alle Signale der Zelle herangezogen, sondern nur eine relevante, das Überwachungsteilobjekt betreffende Untermenge der Informationen. Im Fall der Endlagenüberwachung eines Pneumatikzylinders ist z.B. durch die gezielte Summenbildung der Signale aus zwei Endlagensensoren auch die Funktionsfähigkeit des Subsystems diagnostizierbar. Bemerkenswert für das CADig-System ist, daß die Teilsummenbildung und -auswertung übergangslos in das Verfahren und die Möglichkeiten der makroskopischen Überwachung und Diagnose eingebettet ist.

Es liegt in der Entscheidungsfreiheit des Bedieners und Projektplaners bzw. in der Erfordernis des Anwendungsfalles, in welchem Maße von der makroskopischen oder mikroskopischen Analyse Gebrauch gemacht wird.

Das Überwachungs- und Diagnosesystem CADig macht hier keine Einschränkungen. Es erlaubt vielmehr eine nachträgliche Einbringung von SOLL-Summen zur Überwachung und Diagnose von sich als funktionskritisch erweisenden Elementen. Diese Detailanalyse bietet sich z.B. auch für den Bereich einer Frühwarnung an.

7.1.4 Erfassung und Vorgabe der Prozeßzustände

Die Vorgabe einer Menge von SOLL-Summen entspricht in Anlehnung an den allgemeinen Sprachgebrauch der Programmierung der Formulierung der Überwachungsregeln in herkömmlichen

Systemen. Die Erfassung der IST-Summe entspricht weitgehend einer Aufnahme von Sensor- und Steuerungssignalen.

Die Generierung der SOLL-Summen kann prinzipiell auf drei Wegen erfolgen (Bild 7.7):

- Teach-In (Einlernen),
- manuelle Eingabe,
- automatisierte Ermittlung und Eingabe.

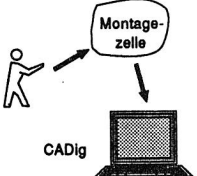
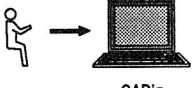
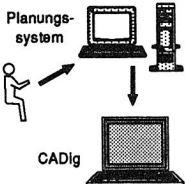
Alternative Möglichkeiten der SOLL-Summen-Ermittlung			
Verfahren	Teach-In	Manuell	Automatisiert
			
Merkmal	on-line	off-line	off-line
Experten	Bediener	Bediener Planer	Planer
Werkzeuge	Montagezelle	-	Programmieresystem
Informations- gewinnung	Nachfahren des realen Prozesses	theoretische Prozeßanalyse praktische Erfahrung	theoretische Prozeßanalyse

Bild 7.7: Verfahren zur Ermittlung und Vorgabe des Prozeßabbildes in SOLL-Summen

Das Verfahren des Einlernens setzt voraus, daß die zu überwachende Montagezelle betriebsbereit zur Verfügung steht. Es eignet sich im besonderen zur Aufnahme der charakteristi-

schen, die fehlerfreien Zustände beschreibenden SOLL-Summen. In einem Einlernvorgang wird nun ein Montageablauf gestartet, wobei durch das Inbetriebnahmepersonal eine quasi-optimale Arbeitsumgebung vorbereitet wird, d.h. Störungen durch Fehlteile, Verschmutzung o.ä. werden vermieden. Ausgehend von einem Grundzustand ergeben sich bei Änderung einzelner oder mehrerer Signale verschiedene SOLL-Summen, die automatisch erfaßt und gespeichert werden. Die Menge der aufgenommenen Summen beschreibt einen fehlerfreien Montageablauf. Prinzipiell ist es möglich, durch Simulation von vorhersehbaren Fehlerzuständen und Erfassung/Speicherung der entsprechenden Summen auch Fehlerzustände einzulernen.

Das Verfahren der manuellen Eingabe ermöglicht eine einfache off-line Parameterisierung des Systems. Wahlweise GUT- oder FEHL-Summen werden vom Bediener definiert und per Tastatur direkt in das System eingegeben. Diese Eingabe kann als kleiner Eingriff im praktischen Betrieb zwecks einer Anpassung erfolgen.

Die besondere Anpassungsfähigkeit des Systems CADig zeigt sich in der Eingriffsmöglichkeit des Bedieners vor Ort. Tritt ein bisher nicht ausreichend oder gar nicht parametrierter Prozeßzustand ein, so kann der Bediener bei nur kurzer Produktionsunterbrechung das System selbständig anpassen. Im Ausgangszustand z.B. wird eine Gesamtüberprüfung der Palettenbereitstellungsplätze einer Montagezelle durchgeführt, d.h. es werden entsprechende Sensoren zur Überwachung der Aufspannungen abgefragt. Im Betrieb kommt es bei Entnahmen aus Palette A wiederkehrend zu einer Lösung der Palette nach der Werkstückentnahme, die Gesamtüberwachung spricht an und es wird ein Abbruch des Montageablaufs ausgelöst.

Da der Bediener erkennt, daß diese Störung nur vor der Werkstückentnahme von Bedeutung ist und von ihm gefahrlos behoben werden kann, kann er eine gegenüber der Gesamtüberwa-

chung differenzierte Zustandsüberwachung parametrieren. Aus der Eingabe der Signalkombination des Überwachungssensors und der Positionscodierung des Handhabungsgerätes wird ein Zustand definiert, der nur dann zu einem Anlagenstopp führt, wenn diese Störung vor Werkstückabholung noch nicht behoben ist. In allen anderen Fällen erhält der Bediener einen Warnhinweis. Er kann dann die Störung beheben, ohne daß es zu einer Ablaufunterbrechung kommt (Bild 7.8).

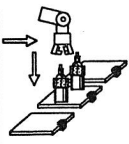
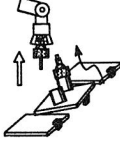
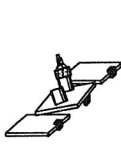
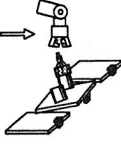
				
Prozeßzustand	Palette gespannt Teil greifen	Palette gelockert Teil gegriffen	Palette gelockert andere Operation	Palette locker Teil greifen
Grundprogrammierung	<div>Lauf</div> <div>OK</div>	<div>Stillstand</div> <div>STOP</div>		
Bedienererweiterung	<div>Lauf</div> <div>OK</div>			<div>Stillstand</div> <div>STOP</div>
Störung in aktuellem Arbeitsraum	ja	ja	nein	ja
Nutzen	<div>on-line Entstörung möglich</div> <div> ➔ Minimierung der Stillstandszeit ➔ Flexible, kurzfristige Anpassung im Betrieb ➔ Maximierte Nutzung der Maschinenkapazität </div>			

Bild 7.8: Flexible Systemanpassung durch Bedienereingriff nach Störungserkennung

Die Vorteile von CADig liegen zum einen in einer schnellen Reaktionsmöglichkeit auf ungeplante Prozeßeinflüsse und zum anderen in der differenzierten Zustandsbeschreibung. Wie im Beispiel dargestellt wird die Anlagenverfügbarkeit durch die angepasste Systemreaktion auf Störungen gesteigert.

Voraussetzung für eine sinnvolle Parameterisierung der SOLL-Summen der Prozeßabbilder in der Inbetriebnahmephase ist eine systematische Prozeßablauf- und Fehleranalyse. Entsprechende Informationen lassen sich aus den üblichen Projektierungsanweisungen ableiten (vgl. Abschnitt 4.3.1), da die Planung der Verknüpfung von Sensorsignalinformationen in ihrer Wirkung auf den Programmablauf auch für die herkömmliche Programmierung erforderlich ist.

Als Eingabevorlage für die Parameterisierung der SOLL-Summen ergeben sich quasi Wahrheitstafeln, in denen, nach Fehlerklassen geordnet, die entsprechenden Kombinationen der Sensorsignale in der Darstellung ihres Schaltzustandes - eine 1/0-Anordnung - vorliegen. Sie stellen mehr oder weniger willkürlich die Kombinationen von Ein- und Ausgängen dar. Logische Überschneidungen können verborgen bleiben. Wenn diese vorgegebenen, unbereinigten Grundstrukturen nicht zu einer unzulässigen Belastung des Diagnoserechners führen, so kann und sollte eine weitere logische Umformung vermieden werden. Wenn die Rechnerbelastung durch die Zahl der Vorgaben zu groß werden sollte, können die SOLL-Summen als Wahrheitstafeln dargestellt und mit Hilfe der Umformungsregeln der Schaltalgebra, z.B. mit den Verfahren nach DeMorgan, Karnaugh/Veitch oder Quine/McCluskey /144/, so umgeformt werden, daß Überschneidungen und Mehrdeutigkeiten eliminiert werden. Dies würde eine Minimierung der Summenvergleichsaufgabe und des Summenspeicherplatzes bedeuten. Als abstrakte Umformung bedeutet dieses allerdings auch einen Verlust in der Anschaulichkeit der Verknüpfungen. Die Umformung ist auch nicht vor Ort vom Bediener durchführbar und müßte in den Projektierungsabteilungen durch Spezialisten durchgeführt werden.

Naturgemäß bietet das Verfahren der automatisierten off-line Summendefinition und -übertragung in das System entscheidende wirtschaftliche Vorteile durch eine Verkürzung der Anlagenstillstandszeit in der Inbetriebnahmephase. Da eine

ideale Planung des Prozeßablaufes unter Berücksichtigung aller Fehlereinflüsse nicht möglich ist, ist dieses automatisierte Verfahren der Summendefinition alleine jedoch nicht ausreichend, und es muß durch die anderen angesprochenen Verfahren vor Ort ergänzt werden. Hauptsächlich beim Einsatz in komplexen Montagezellen mit einer großen Stellenzahl einzelner Summen und auch einer großen Zahl von zustandsbeschreibenden Summen ist der Einsatz der off-line Programmierung als vorteilhaft zu sehen.

Die Entwicklung eines geeigneten off-line Programmiersystems ist jedoch nicht als Insellösung notwendig. Es kann auf bekannte Lösungsvorschläge zur Entwicklung neuer Programmierwerkzeuge für eine rechnergestützte Projektierung und Programmierung moderner Steuerungseinrichtungen zurückgegriffen werden (vgl. / 35/, / 42/, / 87/). Die angeführten Beispiele schlagen neue Programmierwerkzeuge vor, die auf graphentheoretischen Beschreibungen z.T. auch unter besonderer Berücksichtigung zustandsorientierter Prozeßmerkmale basieren.

Die Zielsysteme dieser Hilfsmittel zur rechnergestützten Programmentwicklung sind speicherprogrammierbare Steuerungen mit ihren in Abschnitt 3.3 ausführlich beschriebenen funktionellen Eigenschaften. Aus den von Oestreicher / 87/ angeführten Merkmalen eines Systems der rechnergestützten Projektierung von Steuerungssystemen läßt sich aber auch eine universellere Verwendbarkeit ableiten. Er beschreibt ein System, daß wahlweise verschiedene Prozeßbeschreibungsformen in einem geschlossenen Modell zuläßt. Danach ist das System von der Projektierungsebene bis hin zur Ebene der Programmierung einsetzbar. Eine für alle Beschreibungsformen (siehe Bild 4.8) gemeinsame Datenbasis der Prozeßmerkmale wird in Form einer Matrix mit binären Zustandsinformationen entwickelt. D.h., eine derartige Zwischenform der Prozeßmerkmalspeicherung - bei Oestreicher / 87/ als Hilfsmittel eingesetzt für die Bildung verkleinerter, datentechnisch ein-

facher zu handhabenden Darstellungsformen für andere Einsatzfälle - könnte direkt zur Generierung der geforderten binären Summen genutzt werden.

7.1.5 Gestaltung der Mensch-Maschine-Kommunikation

Das Ziel der unmittelbaren Leistungssteigerung einer Montagezelle durch den Einsatz eines Überwachungs- und Diagnosesystems kann nur dann erreicht werden, wenn die festgestellten Fehler ohne Auswirkung auf den Montageprozeß bleiben, d.h., sie müssen behoben werden, bevor ein Anlagenstillstand und damit Produktionsverlust verursacht wird. Angestrebt wird eine Möglichkeit der Einbringung von automatisierten Fehlerkompensations- oder -behebungseinrichtungen (vgl. / 21/). Bis jedoch geeignete Mechanismen hierfür bereitgestellt werden können, bleibt der Mensch als Maschinenbediener das direkte Ziel der Informationsbereitstellung eines Überwachungs- und Diagnosesystems.

Unter den genannten Gesichtspunkten spielen die Steigerung der Systemakzeptanz, eine sichere Systembedienung und ein hoher Grad an Informationsfähigkeit eine wichtige Rolle in der Einsatzeignung von rechnergestützten Systemen. Von besonderer Bedeutung ist die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (/ 9/, / 79/, /147/).

Zur Unterstützung dieser Schnittstelle werden im System CADig ein Grafik- und ein Textbildschirm als Anzeigesysteme und eine Tastatur als Eingabemedium eingesetzt. Für den vorliegenden Fall wurde daher eine Kombination aus grafischer und alphanumerischer Darstellung für diese Schnittstelle gewählt (Bild 7.9). Zu unterscheiden sind dabei die Bereiche der dialogorientierten Interaktion, z.B. bei Systeminbetriebnahme und Parameterisierung, und der meldungsorientierten Betriebsweise bei laufendem Prozeß.

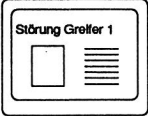
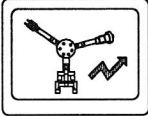
duale Bedieneroberfläche		
Typ	semi-grafisch	grafisch
Aufgabe	Dialog	Meldung
Betriebsphase - Schwerpunkt	- Inbetriebnahme - Parameterisierung	- Betrieb
Darstellungs- form	Menü Masken	bildhafte Darstellung
Kontraste	monochrom	farbig
Elemente	textuell Linien	Symbolik beliebig
Hardware		
	Text- Bildschirm	Grafik- Bildschirm

Bild 7.9: Einsatz der dualen Bedieneroberfläche zur Trennung dialog- und meldungsorientierter Darstellungen

Da eine Bedienung des Systems vor Ort ohne spezielle Programmierkenntnisse gewährleistet sein soll, wird der in diesem Bereich abzuwickelnde Arbeitsumfang - z.B. die Eingabe der angesprochenen Summendefinitionen und der beschreibenden Merkmale - menügesteuert und unterstützt durch Bildschirmmasken durchgeführt. Die dialogorientierte Darstellung baut auf Symbolen und Hilfsmitteln der Semi-Grafik auf, d.h., die Bildschirmmaske wird mit geraden Linienelementen und alphanumerischen Zeichen aufgebaut. Diese Masken können als Formulare aufgefaßt werden, die aus festen und variablen

Feldern aufgebaut sind. Feste Felder als Bezeichnungen sind nicht überschreibbar, in variablen Feldern können Eintragungen wahlfrei oder nach Vorgabe einer Merkmalsfolge und Auswahl des gewünschten Merkmals eingegeben werden. Zur Erhöhung der Meldungsintensität und strukturierenden Gestaltung werden blinkende Elemente und inverse Zeichendarstellungen eingesetzt (vgl. / 9/).

Die Visualisierung des Prozeßgeschehens erfolgt hingegen grafisch unterstützt durch ein Zellenabbild und mehrfarbige Symbole. Die farbige grafische Darstellung erlaubt einen schnellen Systemüberblick auch für einen Bediener, der sich nicht unmittelbar am Bildschirmgerät aufhält. Eine Darstellung der Diagnoseergebnisse erfolgt ebenfalls mit Texten in Maskenform mit den Hilfsmitteln der dialogorientierten Darstellung. Beispiele der Darstellungen finden sich in den nachfolgenden Abschnitten (Bild 7.30 ff).

Besondere Aufmerksamkeit wurde der Ausgestaltung des grafischen Anlagenabbildes gewidmet. Zum einen sind gegenläufige Funktionsweisen des Systems CADig zu berücksichtigen - seine mikroskopische und makroskopische Überwachungs- und Diagnosefähigkeit - zum anderen ist die Eignung der Darstellung für einen maschinennahen Einsatzort zu berücksichtigen.

Eine Kombination der erstgenannten Anforderungen wäre z.B. durch eine hochauflösende Grafik mit einem großen Detailreichtum in einer Komplettdarstellung der Zelle möglich. Makroskopisch relevante Ereignisse könnten durch entsprechende zusätzliche Symbol- und Farbwahl mit hoher Aufmerksamkeitswirkung dargestellt werden. Dieser Detailreichtum in einer Komplettdarstellung läuft aber einer bedienerfreundlichen Darstellung entgegen. Erfahrungen im praktischen Einsatz grafisch unterstützter Systeme zeigen, daß ein hoher grafischer Aufwand mit detaillierten Darstellungen eher zu einer verminderten Akzeptanz der Systeme im maschinennahen Bereich führt.

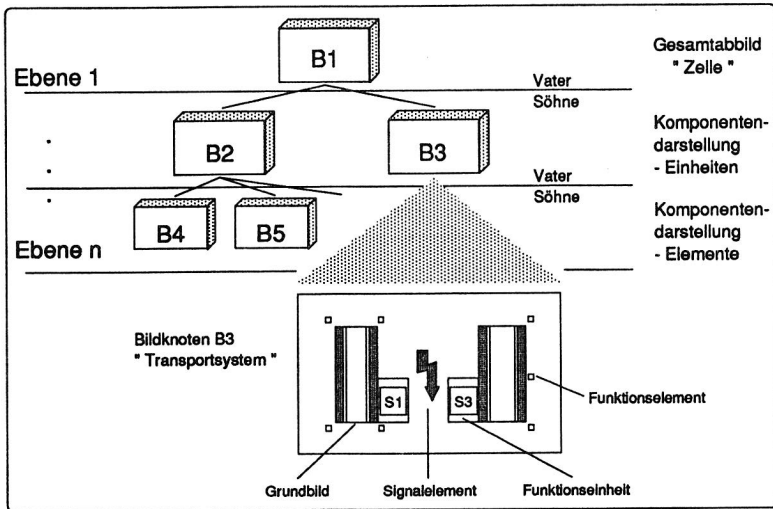


Bild 7.10: Hierarchisches Abbild einer Montagezelle

Zum einen ist der Informationsgehalt vollständiger grafischer Darstellungen zu hoch - symbolisierte Teildarstellungen schaffen hier Abhilfe - zum anderen zeigt sich jedoch auch, daß eine Gesamtdarstellung nicht erforderlich ist, da sich in der Regel die nicht immer vorhersehbaren fehlerträchtigen Bereiche auf einzelne Anlagenteile beschränken. In diesen Bereichen ist dann allerdings eine lupenbildhafte Darstellung notwendig.

Als Konsequenz dieser Überlegungen wurde für das System CADig für den grafischen Teil eine hierarchische Darstellung des Anlagenabbildes gewählt. In der Projektierungsphase sind hierzu aus den Funktionselementen der Montagezelle Funktionseinheiten zu bilden. Diese Einheiten können aus einzelnen Elementen und auch Untereinheiten bestehen. Das hierarchi-

sche Anlagenabbild setzt sich also aus einer baumartigen Struktur von Einzelementen und Funktionseinheiten zusammen (Bild 7.10). Die Spitze dieser Baumstruktur ist das Gesamt-abbild der Zelle.

Ein aktuelle Darstellung erfaßt in einem Bild jeweils nur einen Knoten dieses Baumes. Werden andere Ansichten erforderlich, so kann maskengesteuert zu entsprechenden Vater- oder Sohn-Bildern weitergeschaltet werden. Die Wahl des grafischen Anlagenausschnittes hat dabei nicht eine Einschränkung des überwachten Zellenbereiches zur Folge. Überwacht wird immer die Gesamtheit aller vorgegebenen Summen und damit der gesamte Prozeß.

Innerhalb eines statischen Grundbildes erfolgt nun im einzelnen eine dynamische Anzeige der Schaltzustände der eingebundenen Sensoren oder anderer Signale als Einzelemente eines Bildes, sowie eine dynamische Anzeige der Zustands-klasse einer Einheit (Bild 7.11).









Bildanteil				
Beispiele	Grundbild	Signal- element	Funktions- einheit	Funktions- element
				E 21 
	Förderband Rahmen	Warnungs- symbol	" Black-Box- Symbol "	Signalbezeichner und -symbol
Anzeige - statisch		—	—	—
- dynamisch	—			

Bild 7.11: Statische und dynamische Anteile des Anlagenabbildes

Die grafische Darstellung der Einzelsignale und der Funktionseinheiten geschieht abstrahiert. Wird über eine mikroskopische Analyse einer Einheit eine Zustandsklasse zugeordnet, so wird dies durch einen Farbwechsel eines stellvertretenden Symbols visualisiert. Je nach Bedarf können die SOLL-Summen mit entsprechenden grafischen Elementen als weiteres Merkmal neben Fehlerklassen und Textelementen assoziiert werden. Ein fehlerhafter Zustand einer Untereinheit setzt sich hierarchisch auch in einer entsprechenden farblichen Symbolik der übergeordneten Einheiten fort.

Befindet sich der Darstellungsmodus in einem Bildknoten, der die fehlerhafte Einheit nicht darstellt, so erfolgt im grafischen Bereich symbolisch ein allgemeiner Hinweis auf einen als fehlerhaft erkannten Zustand. Über die Anzeige der Beschreibung der auslösenden SOLL-Summe im semi-grafischen Teil läßt sich dann gegebenenfalls die entsprechenden Knotendarstellung direkt anwählen.

Durch das hierarchische Anlagenabbild und eine Darstellung der Einzelsignalzustände besitzt der Bediener ein flexibles Instrumentarium zur optischen Darstellung des Montageprozesses. Er kann gegebenenfalls durch die Wahl der Darstellung der untersten Ebene, nämlich einer Einzelsignaldarstellung, einen Vergleich der aktuellen Einzelsignalzustände mit den in vorgegebenen Referenzabbildern definierten Zuständen durchführen. Dadurch ist eine Verifizierung der Fehlerursache und gegebenenfalls eine Anpassung durch Veränderung einer SOLL-Summe möglich.

7.1.6 Erweiterbare Systemfunktionalität

Die Überwachung und Diagnose der Montagezelle liefert in der vorgestellten feinen Auflösung nach Fehlerort, -ursache und -abhilfemaßnahmen in Verbindung mit einem zugehörigen Pro-

zeßabbild im Fehlerfall - der IST-Summe - eine breite Datenbasis für eine statistische Datenaufbereitung und -auswertung, z.B. für eine Kennwertbildung (vgl. Abschnitt 6.1.2).

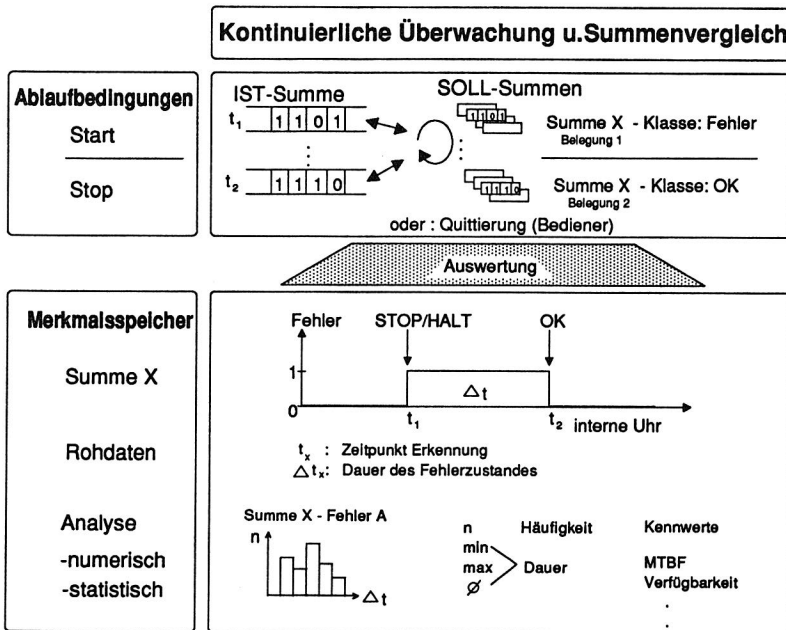


Bild 7.12: Diagnose des Zellenverhaltens durch Fehleranalyse

Aus der Menge der vorgegebenen Summen lassen sich diejenigen Zustände bestimmen, die einer weitergehenden statistischen Analyse unterzogen werden. Systemintern kann der Beginn eines Zustandes - festgelegt durch die Übereinstimmung der Belegung einer SOLL-Summe (Kennzeichnend für die Fehlerklasse) mit der IST-Summe - durch eine interne Uhr vermerkt werden. Das Ende eines Zustandes wird durch die Erfüllung der Weiterschaltbedingungen angezeigt. Dies bedeutet, daß

der Bediener entweder das Fehlerende nach Anlagenstillstand quittiert hat, oder daß nach einer Frühwarnung und on-line-Fehlerbehebung eine Übereinstimmung der IST-Summe mit der entsprechenden OK-Belegung der SOLL-Summe festgestellt wird (Bild 7.12).

In einem Statistikmodul lassen sich die erfaßten Ereignisse nach den ausgewählten Zuständen aufzeichnen, in Zeitklassen verteilen und numerisch nach Dauer und Anzahl summieren und analysieren. Dadurch ist ein Vergleich der Bedeutung der einzelnen Zustände - respektive Fehlerzustände - durch eine ABC-Analyse möglich. Dieses Instrument erlaubt einen objektiven Ansatz zur Optimierung des Anlagenverhaltens durch Eliminierung der Fehlerzustände mit der größten Auswirkung auf z.B. die Personalbindung oder die stillstandsfreie Laufzeit der Montagezelle.

Die Erweiterung der erfaßbaren Signalelemente auf Signale oder Codierungen für nicht direkt montageablaufbedingte Zustände, z.B. Rüstzeiten, ermöglicht den Einsatz des Diagnosesystems als vielseitiges Betriebsdatenerfassungssystem. Durch die im nachfolgenden Abschnitt beschriebene Wahl einer geeigneten Rechner- und Betriebssystembasis ist es möglich, mit dem Kernsystem der Überwachung und Diagnose im Hintergrund weitere Programm- und Hardwaremodule zu betreiben, die eine Funktionalität des Gesamtsystems auch als Montagezellenrechner ermöglichen.

Neben der Überwachung und Diagnose sind hier Aufgaben aus dem Bereich der Auftragsplanung und Auftragsdurchführung auf der Ebene der autonomen Zelle zu bewältigen (vgl. / 36/).

Die beschriebene Abbildung des Prozeßzustandes über binäre Signale führt zur angepaßten Ausbildung einer entsprechenden Schnittstelle des Systems CADig zur Aufnahme der Signale aus dem Prozeß, d.h. aus der Montagezelle. Eine Rückwirkung des Systems erfolgt ebenfalls primär über diese Schnittstelle.

Damit ist es jedoch z.B. bei einer Robotersteuerung auch möglich, die Signale einer übergeordneten Leit-SPS zu simulieren. Auch eine Anwahl von Programmen, ihr START, STOP etc., ist über diese Schnittstelle steuerbar. Ferner erlaubt die offene Modulstruktur des Programmsystems die Einbindung weiterer Schnittstellenbausteine zur Emulation von z.B. DNC-Schnittstellen. Es kann auf der Basis der durch das Überwachungs- und Diagnosesystem verwalteten Schnittstellen eine weitergehende Zellenrechnerfunktionalität verwirklicht werden (vgl. Abschnitt 7.3).

7.2 Die Entwicklungsumgebung

7.2.1 Rechnerbasis

Ein wesentlicher Nachteil bisheriger Systeme zur Anlagenbedienung und -beobachtung auf der Basis externer Hilfsmittel besteht darin, daß viele Systeme auf die Rechnerumgebung spezieller Prozeßrechner zugeschnitten sind. Damit ist für diese Rechnersysteme zum einen eine hohe Grundinvestition erforderlich. Zum anderen setzen die speziellen Betriebssysteme der freien Softwareerweiterung enge Grenzen (vgl. Abschnitt 5.2).

Aus diesem Grunde wurde aus der großen Menge der im Prinzip geeigneten Rechnersysteme ein System gewählt, das aufgrund seiner weiten Verbreitung und seiner noch in Bewegung befindlichen Weiterentwicklung im Sinne der Leistungsanpassung eine sichere und zugleich preisgünstige Basis bietet.

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Systems wurde ein zum sogenannten Industriestandard kompatibles System der Personal-Computer-Klasse, und zwar ein PC-Advanced Technologie Rechner (PC-AT) mit einem Prozessor des Types Intel 80286 als CPU, gewählt. Die Entwicklungsumgebung basiert auf einem PC-AT mit einer Taktfrequenz von 6 MHz.

Die Reserve in der Leistungsfähigkeit dieser CPU-Familie zeigt sich schon jetzt durch die gesteigerte Leistungsfähigkeit der gleichen CPU-Klasse mit einer Taktfrequenz über 15 Mhz, durch die kürzlich eingeführten Nachfolger der Typen des Intel 80386 und die in Einführung befindlichen Systeme des Types 80486.

Da auch diese neu entwickelten Prozessoren abwärtskompatibel zu vorhergehenden Typen sind, ist eine Übertragbarkeit in der Rechnerleistungsklasse bei geringem Anpassungsaufwand auf jeden Fall sichergestellt.

Ein weiterer Vorteil eines zum Industriestandard kompatiblen Rechnersystems liegt gerade in der großen Zahl der zur Verfügung stehenden Hardwareerweiterungsmöglichkeiten z.B. zur Vergrößerung des Hauptspeichers oder der Plattenspeicherkapazität, zur Wahl geeigneter Schnittstellenkarten zur Bildschirmsteuerung (Grafikbildschirm) oder zur Realisierung besonderer Schnittstellen zur Prozeßankoppelung.

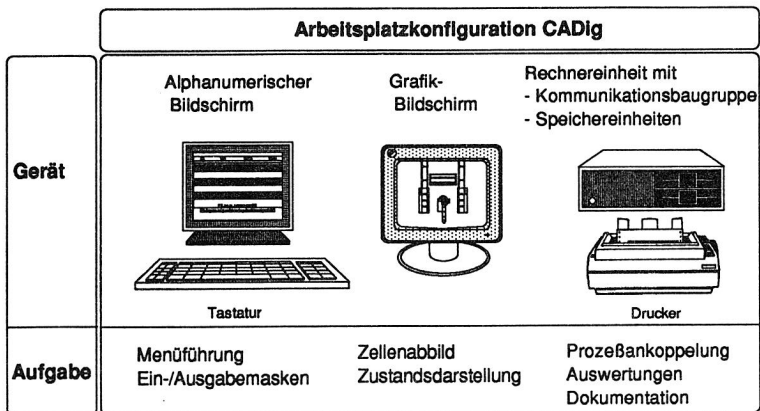


Bild 7.13: Grundausrüstung des CADig-Arbeitsplatzes

Neben der Grundausstattung mit Monochrom-Bildschirm, Tastatur, seriellen und parallelen Schnittstellen wurde für den Entwicklungsrechner folgende Zusatzausstattung verwendet (Bild 7.13):

- mathematischer Co-Prozessor Intel 80287,
- Hauptspeicher 2 Mb RAM,
- Festplattenspeicher 80 Mb,
- Datenträger Floppy-Disk 1,2 Mb,
- Grafikkarte und separater Farbbildschirm.

Letztendlich hat man bei dieser Familie der Rechnersysteme auch eine Auswahlmöglichkeit in Bezug auf die Betriebssystemumgebung, die zur Verfügung stehenden Programmiersprachen und die Softwaresysteme oder -bausteine für verschiedenste Anwendungsfälle, z.B. Schnittstellentreiber (Programme für die Ansteuerung von Geräte- oder Programmschnittstellen), Netzwerkanschluß (Ethernet u.a.).

7.2.2 Betriebssystem und Programmiersprache

Durch das CADig-Systemkonzept werden in groben Zügen die Anforderungen an die Eigenschaften der Betriebsart der Recheneinheit festgelegt (Bild 7.14).

Unter dem Gesichtspunkt der Systemreaktionszeit auf äußere Ereignisse ist ein Echtzeitverhalten in der Größenordnung von Zehntelsekundenschritten ausreichend. Wie in / 19/ beschrieben, ist unter Echtzeitverarbeitung oder Realtime-Processing zu verstehen, daß ein Rechnersystem in einem Kommunikationsvorgang auf einen direkt angeschlossenen Regelprozeß schritthaltend einwirken, Rückmeldungen empfangen, den internen Modellzustand anpassen und erneut auf den Prozeß Einfluß nehmen muß. CADig ergänzt vorhandene, geeignete Kernsteuerungen und ersetzt nicht ihre Funktion z.B. bei der

Steuerung von Handhabungsgeräten. Im Vordergrund steht die makroskopische Überwachung des Prozeßfortschrittes und die mikroskopische Analyse der statischen Funktionsfähigkeit der Einzelelemente. Daraus ergibt sich eine vereinfachte Anforderung an das Betriebssystem.

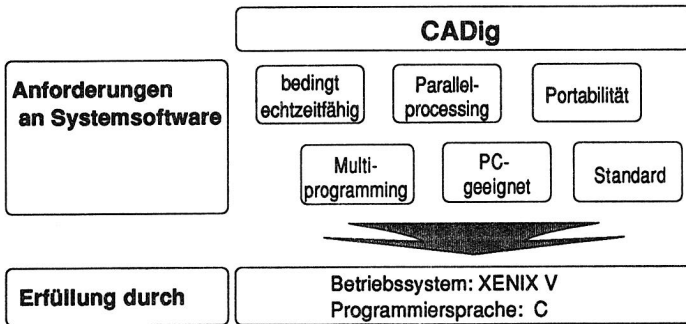


Bild 7.14: Anforderungen an die Betriebssystemumgebung und die Programmiersprache

Kennzeichnend für die Arbeitsweise des Systems CADig ist, daß mehrere Aufgaben mit unterschiedlicher Priorität bearbeitet werden sollten. Hierzu zählen im wesentlichen die Bearbeitung der Prozeßschnittstelle, der Summenvergleich, die Rückmeldung an den Prozeß und die Visualisierung.

Durch die Wahl der Rechnersystembasis ist eine reale Einprozessor-Umgebung seitens der CPU gegeben. Unter dieser Randbedingung war zu entscheiden, ob eine Stapelverarbeitung (Batch-Betrieb) oder eine Mehrprogrammbearbeitung (Multi-Programming, Parallel-Processing) in Frage kommt. Nur letztere ermöglicht es, softwaremäßig über die Variation von Bearbeitungsprioritäten einen Einfluß auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit einzelner Aufgaben bei gegebener Rechenlei-

stung nehmen zu können. Zudem ist die Nutzung der Rechneinheit bei Mehrprogrammbearbeitung besser. Zentraleinheit und Peripheriegeräte werden weitaus besser ausgenutzt / 19/.

Bei Belegung der Ein-/Ausgabeperipherie durch eine Aufgabe kann die Zentraleinheit z.B. bereits eine andere Aufgabe bewältigen. Im Stapelbetrieb könnten diese Einheiten in einem Block nur sukzessive von einer Aufgabenstellung durchlaufen werden.

Unter den genannten Anforderungen stellt das Betriebssystem UNIX eine geeignete Lösung dar. Wie bei der Wahl des Rechnersystems ist auch hier entscheidend, daß dieses Betriebssystem in seiner weiten und steigenden Verbreitung eine Vorzugsstellung besitzt. Eine wichtige systemspezifische Eigenschaft ist zudem, daß UNIX im besonderen eine Übertragbarkeit der Software auf Rechnersysteme verschiedener Hersteller und Typen erleichtert. Angepaßt auf das Rechnersystem wurde für die Entwicklungsumgebung von CADig die Version SCO XENIX V gewählt, die auf den Einsatz in Personal-Computern zugeschnitten ist (vgl. / 99/).

Als geeignete Programmiersprache ist C durch die Wahl des Betriebssystems UNIX bereits vorgegeben (vgl. / 12/, / 53/), und zwar deshalb, weil das Betriebssystem UNIX und die meisten seiner Kommandos in C geschrieben sind. Diese Übereinstimmung erleichtert das Verständnis der Befehlstrukturen in beiden Bereichen und auch die Einbindung betriebssystemnaher Befehle in das in C geschriebene Programm. Als Hochsprache bietet C mit einer Vielfalt von Sprachelementen einen großen Komfort in der Erstellung portabler Programme. Gleichzeitig ist es auch möglich, durch z.B. direkten Zugriff auf Speicherzuweisungen - Zeigerprogrammierung - eine ablauf- und geschwindigkeitsoptimierte Gestaltung der Datenverarbeitung zu realisieren.

7.2.3 Systematische Programmierung mit CASE-Hilfsmitteln

Um eine hohe Qualität der Software des Systems CADig im Sinne einer strukturierten Programmierung und einer integrierten Dokumentation als Voraussetzung für eine fehlerarme Programmierung und gute Software-Wartbarkeit zu gewährleisten (vgl. /115/), wurde für die Erstellung der Programme ein CASE-Instrument (Computer Aided Software Engineering, rechnergestützte Programmentwicklung) genutzt.

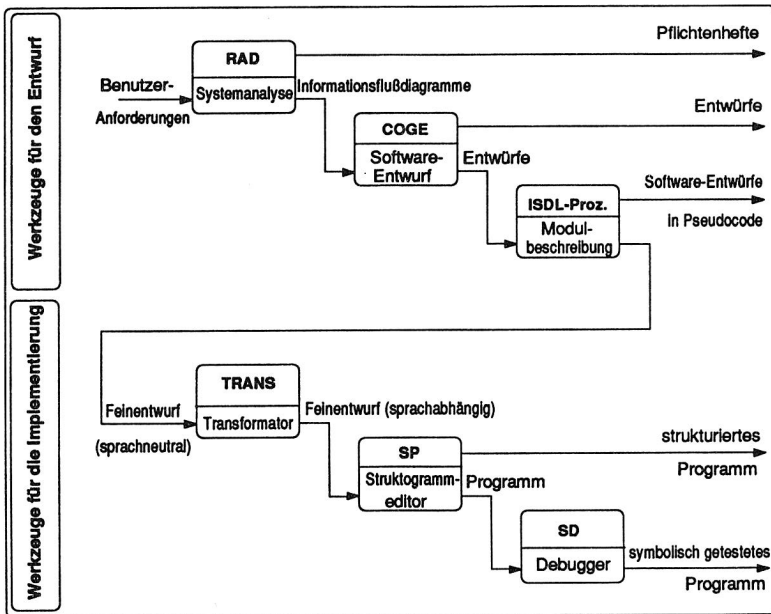


Bild 7.15: Werkzeuge des CASE-Hilfsmittels INNOVATOR

In diesem Fall wurde das System INNOVATOR / 48/ eingesetzt, das unter dem Betriebssystem XENIX V verschiedene Werkzeuge

und Hilfsmittel für eine fortschrittliche Programmentwicklung bereitstellt. Der INNOVATOR unterstützt die systematische Entwicklung nicht erst bei der Generierung von Quellcode, also echten Programmzeilen, sondern setzt bereits in der Konzeptphase an (Bild 7.15).

Beginnend bei der Grobanalyse des Problems bis einschließlich zur Implementierung der Programmodule im Quellcode der gewünschten Programmiersprache wird eine durchgängige Entwicklungsumgebung geboten. Der grundlegende Gedanke dabei ist die hierarchische Analyse der Aufgabe im Top-Down-Verfahren von der Aufgabenstellung bis zur Untergliederung in programmierbare Module und die Darstellung der informationstechnischen Beziehungen innerhalb des Projektes sowie in der Verbindung zwischen Projekt und Umwelt, also z.B. der Montagezelle. Zusätzlich werden die Implementierung der Module durch einen Struktogrammeditor und das Testen des fertigen Programms durch einen symbolischen Struktogrammdebugger erleichtert.

Ein systematischer Projektfortschritt wird durch die stufenweise Anwendung der Komponenten des RAD (Requirement Analysis and Design), des COGE (Conception Generator), des ISDL-Prozessors (INNOVATOR System Description Language) sowie des SP (Struktogramm Processor) unterstützt. Um einen Eindruck von der Anwendung dieses Entwicklungswerkzeuges zu vermitteln, wird die Entwicklung mit dem INNOVATOR im folgenden in groben Zügen dargestellt.

Beginnend mit der Komponente RAD / 48/ erfolgt zunächst die Analyse der Aufgabenstellung. Sie bezieht sich dabei auf eine systematische Aufteilung der Aufgabenstellung in einzelne Bearbeitungsinstanzen und den Informationsfluß zwischen diesen Instanzen (vgl. / 27/).

Der RAD ist ein grafischer Editor, der durch eine sukzessive Verfeinerung der gewonnenen Informationsflußdiagramme einem detaillierten Projektentwurf dient.

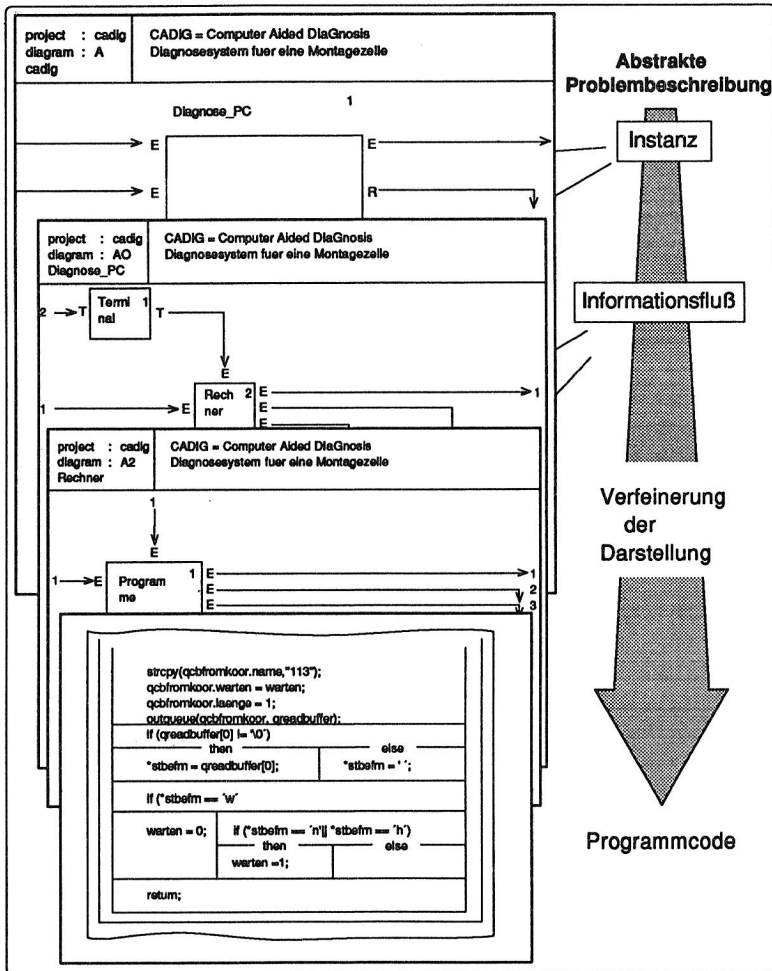


Bild 7.16: Grafisch orientierte Problemanalyse und Software-Entwurf

Aus diesem Projektentwurf kann dann wiederum mit dem RAD ein Pflichtenheft erzeugt werden, in dem das Projekt mit eingegebenen Texten und Systemverweisen vollständig beschrieben wird. Durch die Verfeinerung der Instanzen und der gerichteten Informationskanäle entsteht eine Baumhierarchie, deren Blätterinstanzen die Funktionen und die zugehörigen Kanäle die Informationsflüsse zwischen den Funktionen darstellen (Bild 7.16).

In der anschließenden Designphase werden die Funktionen verschiedenen Modulen zugeordnet. Als Modultypen stehen entweder sogenannten "Assignments" (d.h. die Aufgabe der Instanz wird im Modul erfüllt) oder "Functions" (d. h. es werden Daten mit anderen Modulen ausgetauscht) zur Verfügung. Die Informationsflüsse ("Kanäle") werden hier schon in der ISDL-Systembeschreibungssprache beschrieben.

Danach werden mit der Komponente COGE Modulschablonen in strukturierter Form erzeugt, die gemäß der Zuweisungen in der Designphase die Funktionen und Angaben zu ihren Parametern enthalten.

Diese Struktogrammschablonen enthalten auf Wunsch die Beschreibungen aus dem RAD-Entwurf in einem Kommentarteil. Der Datenaustausch mit anderen Modulen ist bereits vollständig definiert durch klare Import-/Export-Schnittstellen. Er findet über die definierten Funktionen statt, die von einem anderen Modul aus aufgerufen werden können.

In einem weiteren Schritt erfolgt der Übergang zur Implementierungsphase. Die Implementierung der Funktionen erfolgt in einer Zwischensprache mit Hilfe des Struktogrammeditors SP / 49/ und wird dabei durch eine Programmdarstellung nach Nassi-Shneiderman /105/ unterstützt. Durch die Anwendung der Zwischensprache ist es auf dieser Entwicklungsstufe noch nicht notwendig, die Zielsprache, d.h. die Hochsprache, in

der der Programmquellcode geschrieben sein soll, festzulegen. Erst nach Beendigung der Implementierung in ISDL-Code werden die Module in die gewünschte Programmiersprache, in diesem Anwendungsfall die Sprache C, transformiert.

Letztendlich können die Module in der abschließenden Testphase mit einem symbolischen Struktogrammdebugger (SD) getestet werden.

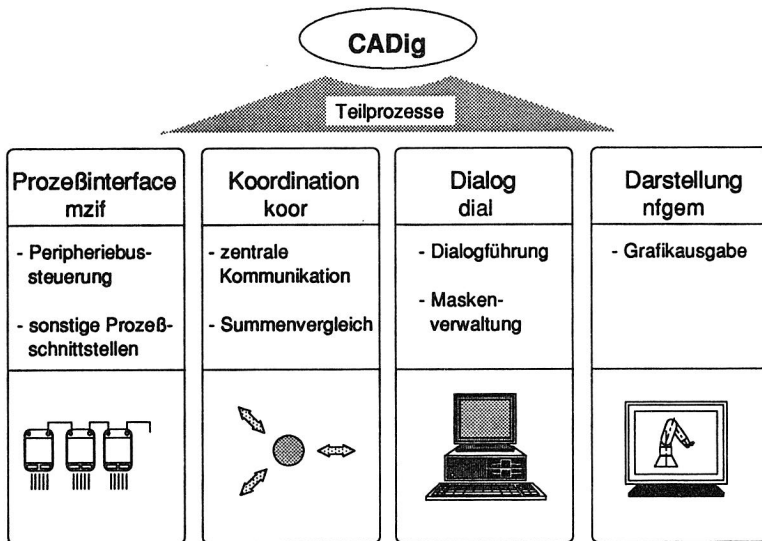


Bild 7.17: Systementwurf in unabhängigen Teilkomponenten

Um eine optimale Nutzung der Ressourcen des Rechnersystems und damit eine ausreichende Reaktionszeit des Systems CADig zu gewährleisten, wurde das Projekt modular als ein aus vier Teilprozessen bestehendes Programmsystem entworfen (siehe Bild 7.17). Eine Unterteilung in Prozesse im Sinne einer modularen Programmierung erleichtert die Übertragung und

Anpaßbarkeit der Systemsoftware erheblich. Dies betrifft im besonderen das Programm mzif, da hier durch die Einbindung von zusätzlichen Schnittstellenmodulen in der Entwurfsphase die Implementierung von speziellen Schnittstellenspezifikationen im Hinblick auf die projektierte erweiterte Systemfunktionalität bereits vorgesehen ist.

Im einzelnen handelt es sich um folgende Module:

- mzif Programm zur Bearbeitung der Schnittstelle zur Montagezelle (Montagezelleninterface),
- dial Dialogprogramm für den Benutzer,
- koor zentraler Koordinator zwischen dial, mzif und Überwachungsmodul,
- nfgem grafischer Editor und Treiberprogramm für Grafikbildschirm.

Die besonderen Schnittstellenmodule liegen als Schablonen vor, die im Anwendungsfall bis zum ausführbaren Programm verfeinert werden können.

Im Rahmen der Prioritätenabstufung wurde der Überwachungsfunktion der größte Stellenwert eingeräumt. Die Unabhängigkeit der Reaktionszeit dieses Modules von der Belegung der Prozessorkapazität durch nachrangige Visualisierungsfunktionen wurde durch die Trennung von Dialogprogramm (dial) und Überwachungsprogramm (koor) ermöglicht.

7.2.4 Gestaltung der Schnittstelle zur Zustandserfassung

Für die Grundfunktion der Überwachung im System CADig ist die Ermittlung des binären Anlagenabbildes in Form der IST-Summen von großer Bedeutung. Die summenbildenden Signale werden dabei wahlweise von Steuerungen oder Sensoren gesendet bzw. abgegriffen. Durch die modulare Programmstruktur im Bereich der Montagezellenanpassung ist im Projekt mzif eine

Anpaßbarkeit an verschiedene Schnittstellenanschlaltungen vorgesehen. Darüber hinaus wurde angestrebt, durch eine standardisierte Grundausstattung für die Summenaufnahme diesen Anpassungsaufwand für die Grundfunktion ganz zu vermeiden.

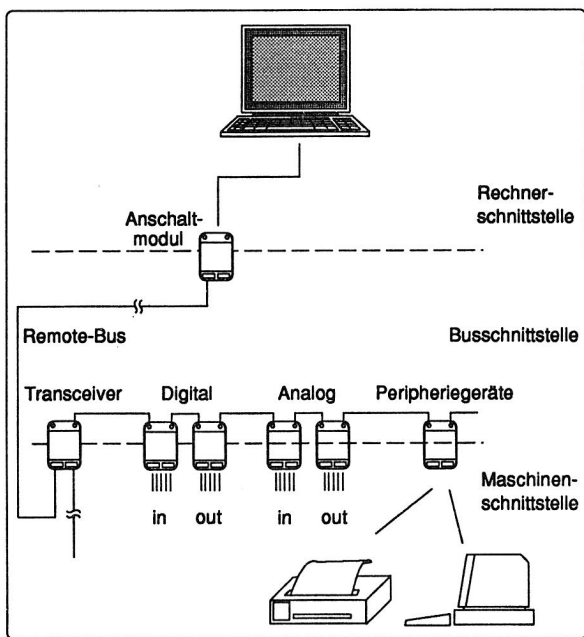


Bild 7.18: Prozeßzustandserfassung über ein zellen-unabhängiges Peripheriebussystem

Prinzipiell ist es möglich, durch den Einsatz marktgängiger Schnittstellenkarten für die Erfassung von Prozeßdaten eine Datensammeleinheit zu konfigurieren. Für die Erfassung von Meßwerten gibt es auf Basis intelligenter Sub-Systeme im

Bereich der IEC-Bus-Systeme hierzu vielfältige Lösungsvorschläge. Diese Meßwerterfassungssysteme sind auf eine hohe Datenübertragungsrate bei geringen Datenübertragungsdistanzen ausgelegt. Die Übertragbarkeit solcher Lösungsansätze ist jedoch durch die Verfügbarkeit rechner-systemabgestimmter zentraler Busanschlutungen und durch die Verfügbarkeit betriebssystemabhängiger Treibersoftware beschränkt.

Unter der Bezeichnung einer "intelligenten Klemme" werden für den industriellen Einsatz auf der Basis einer SPS ebenfalls Systeme angeboten, die vor Ort dezentral Signale erfassen und über ein Bussystem einem zentralen Datensammler - einer SPS - zuführen (z.B. /110/). Eine Anschaltung dieser SPS an das System CADig würde jedoch den Einsatz spezifischer Bausteine in Abhängigkeit vom Steuerungshersteller erfordern.

Eine funktionelle Kombination aus dezentraler Signalerfassung und rechnerintegrierter Datensammlung bei minimiertem Einsatz spezieller Schnittstellentechnik konnte durch den Einsatz einer SPS-unabhängigen elektronischen Klemmenleiste realisiert werden (Bild 7.18).

Das System INTERBUS / 89/ ist ein prozeßnahes serielles Bussystem mit dezentralem Interface zur Anschaltung eines Auswertesystems. Die Schnittstelle zur Anwenderapplikation - dem System CADig basiert auf einer seriellen Schnittstelle RS232C/V.24, die zur Standardausstattung eines PC gehört. Ein einfaches Kommunikationsprotokoll erleichtert die anwenderspezifische Anpassung durch die Erstellung eigener Treibersoftware. Die Datenerfassung in der Peripherie erfolgt über INTERBUS-I/O-Module die für z.B.

- digitale Ein- und Ausgaben,
- analoge Ein- und Ausgaben

als Standardbaugruppen zur Verfügung stehen. Damit kann das System nicht nur zur Datenerfassung sondern auch zur Rück-

wirkung auf den Prozeß gleichermaßen genutzt werden. Alle Module sind über Optokoppler galvanisch von der Peripherie getrennt. Dadurch wird ein hohes Maß an Störsicherheit im industriellen Einsatz gewährleistet.

Anwenderunabhängig werden durch eine Mikroprozessoreinheit des Anschaltmoduls die über die V.24-Schnittstelle erhaltenen Befehle und Daten in das serielle, synchrone Busprotokoll umgewandelt und an die I/O-Module übertragen. Prozeßinformationen werden als serielle, adresscodierte Informationen gelesen, analoge Werte digitalisiert und nach Sendeaufforderung durch das Rechnersystem via Anschaltmodul über die V.24 übertragen. Bei Anschluß von jeweils 512 Eingängen und 512 Ausgängen ist eine Zykluszeit in der Datenabfrage von 30 msec möglich. Dies ist im vorgesehenen Einsatzfall der Montagezelle völlig ausreichend, wie sich in der Testphase beim Einsatzbeispiel bestätigt hat. Bei der angesprochenen Komplettmontage liegen die Einzelschrittabläufe im Bereich von Zehntelsekunden.

Neben dieser standardisierten Basisschnittstelle zur Prozeßankoppelung ist es je nach Anwendungsfall möglich, spezialisierte Kommunikationsmechanismen softwaretechnisch in das Schnittstellenmodul mzif einzubinden. Prinzipiell kann auch die Einbindung einer Feldbusschnittstelle nach neuen Standards, wie z.B. dem PROFIBUS (Process Field Bus) erfolgen. Nach dieser Feldbusnorm könnte eine einheitliche Schnittstelle für den Anschluß von Sensoren, Aktoren und auch Ablaufsteuerungen geschaffen werden (vgl. / 46/).

7.3 Einsatz und Erprobung in einer Montagezelle

7.3.1 Komplettmontage mit Industrieroboter

Das System CADig wurde in einer flexiblen Montagezelle für Elektrokleinmotoren erprobt. Diese Zelle ist Bestandteil einer Modellfabrik, die im Labor des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen-Nürnberg genutzt wird (vgl. / 25/, / 40/). Der komplexe Zellaufbau und -funktionsumfang stellte in Verbindung mit dem Bedarf zur Bereitstellung eines Überwachungskonzeptes, daß in geeigneter Weise auf die Flexibilität des Montagekonzeptes abgestimmt werden kann und damit ein flexibles Gesamtkonzept in Hard- und Software ermöglicht, ein optimales Einsatzfeld für CADig dar.

Montageobjekt ist ein Elektrokleinmotor, der in dieser Zelle komplett montiert wird (Bild 7.19). Der Motortyp wird in verschiedensten Varianten vorwiegend in der Kraftfahrzeugtechnik als Hilfsantrieb eingesetzt. Die Produktentwicklung befindet sich hier in einem beständigen Fluß und bietet ein gutes Beispiel für die Anforderungen an die Produktionstechnik, mit modernen Montagekonzepten eine flexible und schnelle Reaktion auf den Markt zu gewährleisten. Stand der Technik sind in diesem Bereich hochproduktive Montagestraßen für die Großserienfertigung, mit dem bekannten Investitionsrisiko bei dynamischer Produktentwicklung, und Handarbeitsplätze für kleine Serien.

In diesem Montagekonzept tritt die Forderung nach kürzester Taktzeit in den Hintergrund, die Variantenflexibilität steht im Mittelpunkt. Besondere Merkmale der neuen Zellenkonzeption für die Motormontage ergeben sich daher in erster Linie aus der gesteigerten Flexibilität beim Einsatz für die Montage von B- und C-Serien, d.h. in der Montage von Sondertypen, bei Serienan- oder -auslauf sowie zur Deckung von Spitzenlasten der Hauptlinien.

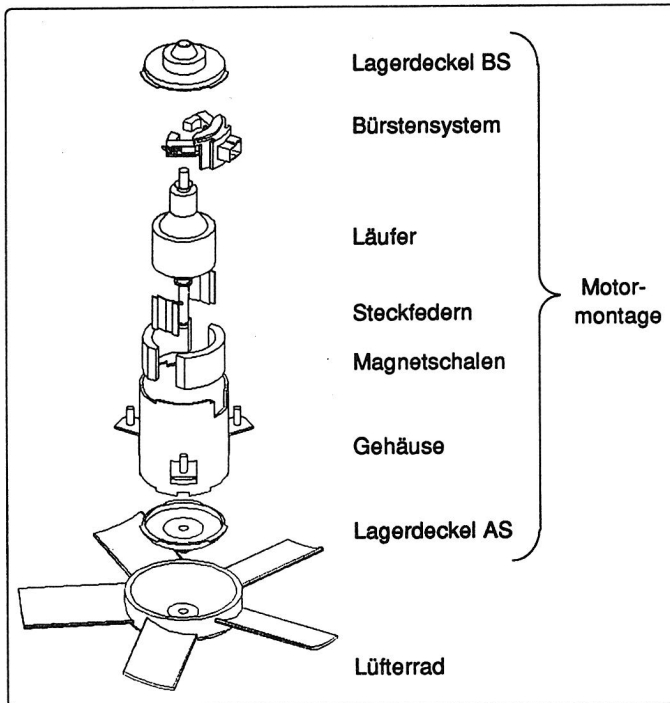


Bild 7.19: Produktstruktur des Elektrokleinmotors
im CAD-Modell

Der prinzipielle Aufbau der verschiedenen, betrachteten Varianten ist vom Montageumfang her identisch. Es müssen insgesamt 9 Bauteile und Baugruppen unterschiedlichster Geometrie und Werkstoffe als Bestandteile des Elektromotors gefügt werden (Bild 7.20). Sie werden weitgehend in einer der Explosionszeichnung entsprechenden Reihenfolge montiert.

Bauteile des Elektromotors						
Bezeichnung	Typ (1)	Werkstoff	Gewicht (g)	Hauptmaße (mm)	Fügetechnologie	Betriebsmittel (2)
Gehäuse	E	Stahlblech	400	Ø 125x120	Baugruppenträger	
Lagerdeckel	B	Stahlblech	50	Ø 18x76x1	Verstemmen mit Gehäuse, Aufstecken auf Läufer	V V / T
Bürstensystem	B	Kunststoff	35	74x56	Einstecken in Gehäuse	
Magnetschale	E	Sinterwerkst.	80	64x30x8	Einlegen in Vorrichtung Magnetisieren	V / T V
Steckfeder	E	Federstahl	5	26x33x0.1	Verpressen mit Magnet.	V / T
Läufer	E	Stahl, Kupfer	410	Ø 50x150	Einstecken in Lagerdeckel	V / T
(1) Baugruppe B (2) Vorrichtung V Einzelteil E Handhabungssystem T						

Bild 7.20: Einzelteile und Baugruppen des Elektromotors

Eine Kombination spezifischer und flexibler Elemente in der Ausbildung der Betriebsmittel erlaubt die Konzeption einer in einem weiten Variantenbereich flexiblen Montagezelle. Eine Analyse des Bauteilespektrums zeigt, daß das geforderte Variantenspektrum nicht nur durch eine flexibel ausgelegte Vorrichtungs- und Greiferkonstruktion zu erfassen ist, denn die geforderte Flexibilität der Montageanlage bezieht sich auf Motorvarianten, die sich zum Teil nur in Nebenmaßen, zum Teil jedoch auch in Hauptmaßen und im Montageablauf unterscheiden. Damit ergaben sich sowohl erhöhte Anforderung an die Flexibilität der eingesetzten Handhabungseinrichtung als auch an die eingesetzten Vorrichtungen. Den CAD-Entwurf eines geeigneten Zellenlayouts der mechanischen Komponenten sowie eine Übersicht der eingesetzten Sensorelemente zeigt Bild 7.21.

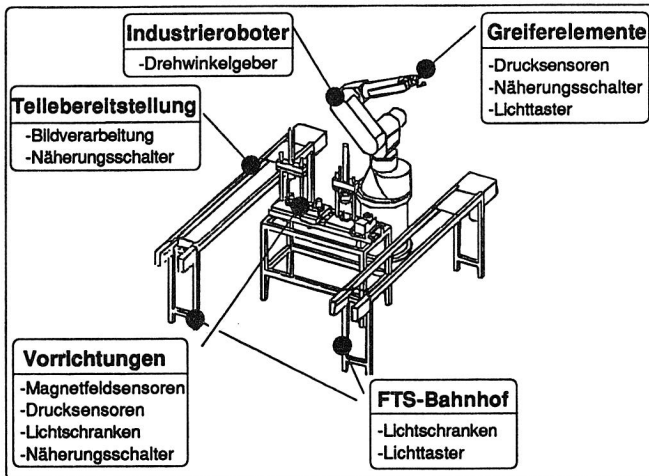


Bild 7.21: Sensoreinsatz in einer flexiblen Montagezelle mit Gelenkarmroboter

Flexible, variantenunabhängige Elemente der Zelle sind das Handhabungsgerät, der Grundträger für den Vorrichtungsaufbau und das zelleninterne Materialflußsystem. Durch einen automatisierten zelleninternen Materialfluß (Doppelgurtförderbänder) können mit standardisierten Grundpaletten und Palettenaufbauten für variantenspezifische Bauteile oder Baugruppen diese wahlfrei in den Arbeitsraum geschleust werden. Dieses System wurde exemplarisch für zwei Palettenbereitstellungsplätze aufgebaut, um ein Zusammenspiel verschiedener Montagezellen über ein fahrerloses Transportsystem (FTS) zu erproben. Bild 7.22 zeigt den Laboraufbau der Zelle zur Komplettmontage von Elektromotoren.

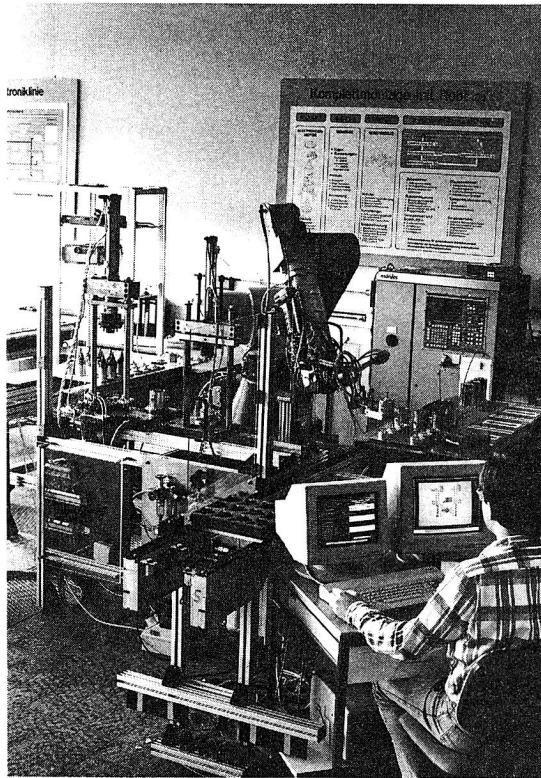


Bild 7.22: Laboraufbau der Motormontagezelle
mit CADig-Arbeitsplatz

Durch die zentrale Anordnung eines 6-achsigen Gelenkarmroboters wurde eine kompakte Dimensionierung der Zelle ermöglicht. Neben einem vorteilhaft großen Arbeitsraum des IR - Durchmesser ca. 1800 mm, Arbeitsbereich rund 360 Grad - in dem Montage- und Bereitstellungselemente optimal und auch

redundant für verschiedene Variantengruppen angeordnet werden können, bietet die Traglast von 150 N des gewählten Typs die Möglichkeit, ein komplexes Greifersystem mit Mehrfachgreiffunktionen einsetzen zu können.

Eine Eingrenzung der Variantenvielfalt in ihrer Auswirkung auf die Vielfalt spezifischer Konstruktionen ließ sich dadurch erreichen, daß eine Gliederung der Varianten in Variantengruppen erfolgte, die unter sich ihren montagespezifischen Randbedingungen ähnlich oder in den gewählten Wirkflächen invariant sind. Eine Variantengruppe wird im wesentlichen durch die Gestaltung des Motorgehäuses bestimmt (Durchmesser, Länge). Das Spektrum der Varianten im Bereich einer Gehäuselinie ergibt sich aus der Variation der Ausbildung von Befestigungslaschen, der Lage des Bürstensystems innerhalb oder außerhalb des Gehäuses, seiner elektrischen, automobilspezifischen Steckeranschlüsse und der Abmaße des Läufers (Kollektordurchmesser, Blechpaketlänge). Eine Variantengruppe, die im vorliegenden Einsatzfall 4 Varianten umfaßt, kann ohne Rüstaufwand mit den Hilfsmitteln der variantengruppenspezifischen Betriebsmittel montiert werden.

Da variantengruppenspezifische Anlagenteile mit minimiertem Umrüstaufwand wechselbar sein sollten, wurde ein modularer Vorrichtungsaufbau konzipiert. Auf einem Geräteträger als Grundplatte werden spezifische Vorrichtungen und auch das Greifersystem in einer Ablagevorrichtung bereitgestellt. Sie werden bei Variantenwechsel komplett ausgetauscht.

Durch die Verbindung eines flexiblen, zelleninternen Materialflußsystems mit einer automatisierten Vorrichtungswechseleinrichtung ist eine schnelle Umrüstung der Zelle bei Variantenwechsel möglich. Weiterhin erlauben standardisierte Schnittstellen für Spanneinrichtungen, Energie- und Signalversorgung auf seiten des Geräteträgers und der Greifersysteme auch die einfache, nachträgliche Anpassung der mechanischen Komponenten der Montagezelle an zukünftige, veränderte Produktvarianten.

Die Analyse der wesentlichen geometrischen Elemente der Werkstücke eines Elektromotortyps zeigt ferner, daß sich nur ein Teilbereich des zentralen Handhabungsproblems durch die Wahl geeigneter Wirkflächen lösen läßt. Durch eine Abstimmung der Konstruktion von Teilebereitstellung und Greiferelementen war es z.B. möglich, die Anzahl der Greifvorgänge wesentlich zu reduzieren: Paarweise zu fügende Bauteile, wie Steckfedern und Magnetschalen, können aus angepaßten Paletten in einem Greifvorgang entnommen und gefügt werden. Auch war es möglich für ähnliche Bauteile wie Lagerdeckel einen gemeinsamen Greifer einzusetzen. Eine geeignete Greiferkonzeption wurde in Form eines dreiarmligen Revolvergreifers mit integrierten Mehrfachgreifern realisiert. Die konstruktive Optimierung erlaubt den Einsatz investitionsgünstiger Standardpneumatikgreifer mit spezifischen Formelementen.

Neben der Bewältigung toleranzkritischer Fügeaufgaben (z.B. Lagerung Läufer in Lagerdeckel) und Handhabung biegeweicher Baugruppen (z.B. Bürstensystem) war zu beachten, daß verschiedene kraftbehaftete Verbindungstechniken und Sonderaufgaben die Integration mechanischer und elektrischer Vorrichtungen in den Montageablauf erfordern. Die Montageaufgabe beschränkt sich nicht alleine auf einfache Einlege- oder Steckoperationen mit montagetechnisch optimierten Abläufen und Werkstücken.

Die Integration dieser Vorrichtungen in den Montageablauf beschränkt den Bewegungsraum der Handhabungsoperationen. Es müssen Werkstücke in Vorrichtungen eingelegt und dort gefügt werden, wobei die Bewegungsachsen der Füge- und nachfolgenden Vorrichtungsoperationen sowohl vertikal als auch parallel zueinander stehen: Das Handhabungsgerät fährt horizontal in eine Vorrichtung ein und legt ein Werkstück vertikal ab. Da es sich um geschlossene Vorrichtungen in Rahmenbauweise handelt, wird auch der Bauraum der Greifwerkzeuge durch den Vorrichtungs Aufbau stark eingeschränkt.

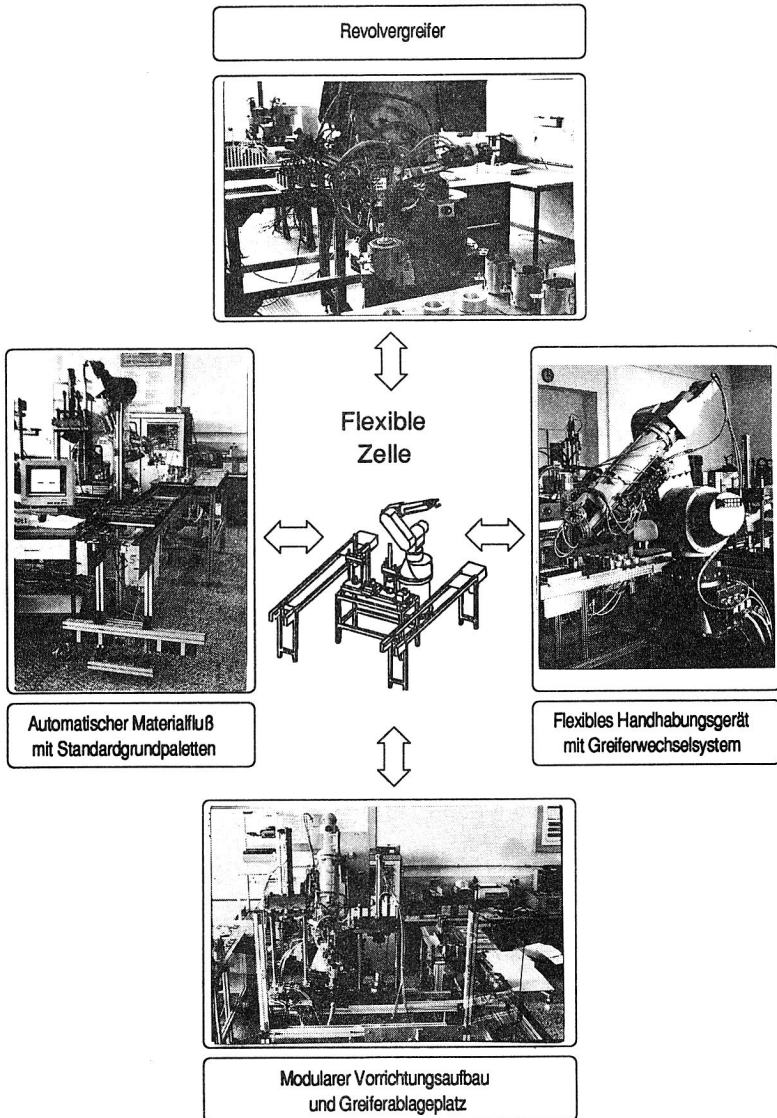


Bild 7.23: Flexible Komponenten einer Montagezelle mit Gelenkarmroboter

Die charakteristischen flexiblen Komponenten der Montagezelle - Vorrichtungstisch, Revolvergreifer, Greiferwechsleinrichtung, Materialflußsystem - zeigt Bild 7.23.

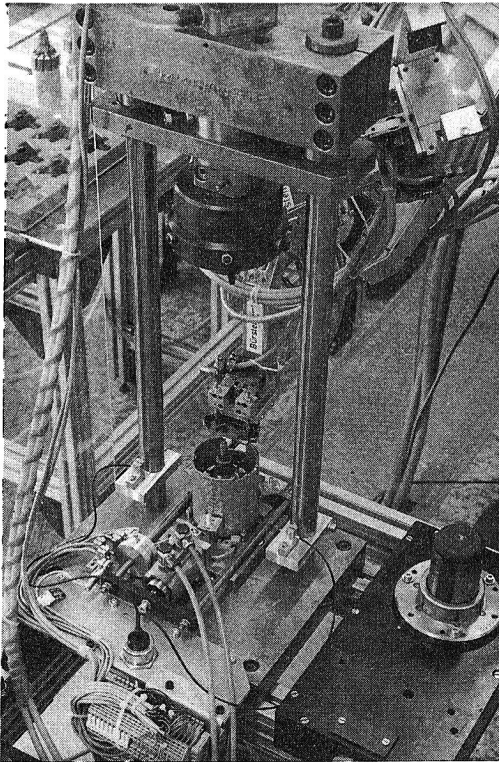


Bild 7.24:Stemmvorrichtung für Lagerdeckel und Spannplatz
für Motorgehäuse

Die hohe Beweglichkeit eines Gelenkarmroboters bietet hier Vorteile bei der Wahl eines optimalen Verfahrensweges in einem

engen Arbeitsraum. Sie erlaubt die direkte Nutzung der Spanneinrichtungen in den Vorrichtungen für die Montage der Baugruppen. Dadurch wird z.B. der Einsatz aufwendigerer, spezifischer Spannpaletten für die Beschickung der Vorrichtungen vermieden und eine geringe Baugröße der Vorrichtungen erreicht.

Bild 7.24 zeigt in der Draufsicht die Vorrichtung für das Verstemmen der Lagerdeckel und des Motorgehäuses. Ihre Spannvorrichtung wird als Montageplatz für die Komplettierung des Gehäuses mit Läufer und Bürstensystem genutzt. Ersichtlich sind auch verschiedene optische und induktive Näherungsschalter zur Variantenidentifikation und Ablaufüberwachung.

7.3.2 Projektierung der Schnittstellen

Durch die Vorgabe einer Standardschnittstelle für die Grundfunktionen der Überwachung und Diagnose bestehen die wesentlichen Aufgaben beim Systemaufbau in der

- Projektierung der Funktionen der Schnittstellen des Systems CADig zum Prozeß, zur Montagezelle, und in der
- Dimensionierung des Peripheriebusystems in Abstimmung mit spezifischen, gesondert zu erstellenden Kommunikationsmodulen (Bild 7.25).

Im vorliegenden exemplarischen Einsatzbeispiel wurde das System CADig nachgerüstet. Damit war die Anpassung an die vorhandenen steuerungstechnischen Gegebenheiten der Montagezelle erforderlich.

Die Steuerung der Zellenfunktionen erfolgt durch eine Robotersteuerung (RC) mit integriertem SPS-Teil. In dem vorhan-

denen Ablaufprogramm sind neben der Steuerung der Bewegungsoperationen und verschiedener Aktoren wie Greifern und Pneumatikelementen auch einfache Überwachungsfunktionen durch die Einzelabfrage von Sensoren bereits integriert. Aktionen von Fertigungs- und Transportmitteln u.a. werden von der Robotersteuerung durch binäre Signale angesteuert.

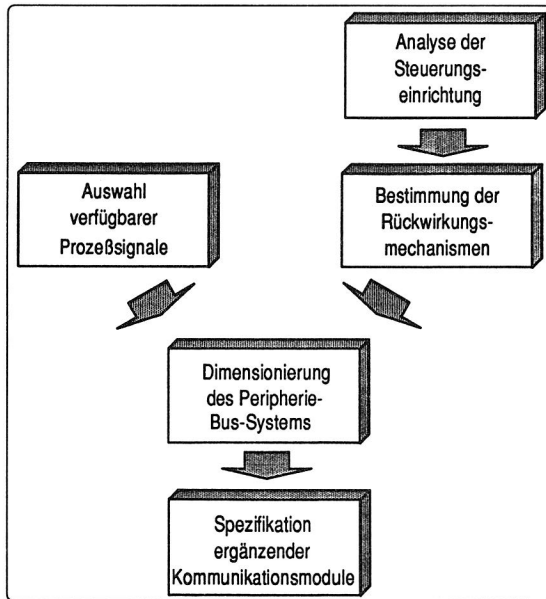


Bild 7.25: Dimensionierung und Spezifizierung der Schnittstellen des Überwachungssystems zum Prozeß

Die Grunddimensionierung umfaßt notwendigerweise für eine möglichst vollständige Erfassung des Zellenzustandes die Aufnahme aller belegten Peripherieeingangs- und ausgangssignale der Zellensteuerung als Prozeßabbild. Es waren folgende Signale zu erfassen:

- 50 Eingangssignale von Sensoren,
- 40 Ausgangssignale als Steuerungsfunktionen und
- 8 Ausgangssignale zur Bestimmung des aktuellen Arbeitsbereiches des Handhabungsgerätes.

Ferner wurden die Möglichkeiten der Rückwirkung des Überwachungssystems auf die Zellensteuerung untersucht. Wie in Abschnitt 7.1.3 ausgeführt, werden die Rückwirkungsmechanismen des Überwachungssystems auf die Zellensteuerung durch folgende Befehle beschrieben:

- START, Freigabe des Ablaufs, Setzen der Schrittfreigabe,
- HALT, Anhalten des Montageablaufs, Löschen der Freigabe,
- STOP, Abbruch des Ablaufs, des Bewegungssatzes.

Ergänzend waren Quittierungsbefehle zur Fortsetzung der unterbrochenen Abläufe zu implementieren.

Die Analyse aller Schnittstellen, die die unterlagerte Steuerung einer Kommunikation mit steuerungsexternen Systemen zur Verfügung stellt (Bild 7.26), ermöglicht die angepasste Umsetzung und gegebenenfalls die Verteilung dieser in allgemeiner Form formulierten Anweisungen auf den Funktions- und Sprachumfang einer oder mehrere Schnittstellen der RC. Da im Bereich des Funktionsumfanges einzelner Schnittstellen, wie z.B. Anwenderschnittstelle, DNC oder Sensorschnittstelle, nicht alle erforderlichen Funktionen implementiert werden konnten, bestand bei der Projektierung der Rückwirkungsmechanismen ein gewisser Freiraum.

Prinzipiell sollte ein Eingriff in das vorhandene Anwenderprogramm der Steuerung und damit ein Rückgriff auf die in diesem Bereich der Anwenderschnittstelle (AW) verfügbaren Funktionalitäten einer SPS vermieden werden. Unabhängig vom Anwenderprogramm stehen in der Regel Schnittstellen für einen Leitrechner- oder eine Leit-SPS in modernen Steuerungseinrichtungen zur Verfügung.

Im vorliegenden Fall der RC-Charakteristik greift eine Leit-SPS über die Anpaßteilsignale (AP) unabhängig vom Anwenderprogramm in die Robotersteuerung ein. Die Signale der AP sind deswegen besonders interessant für die Untersuchung der Kommunikationsmöglichkeiten mit dem Diagnosesystem, weil ein direkter Zugriff auf die Steuerung über binäre Ein- und Ausgangssignale der entsprechenden Baugruppe der RC möglich ist.

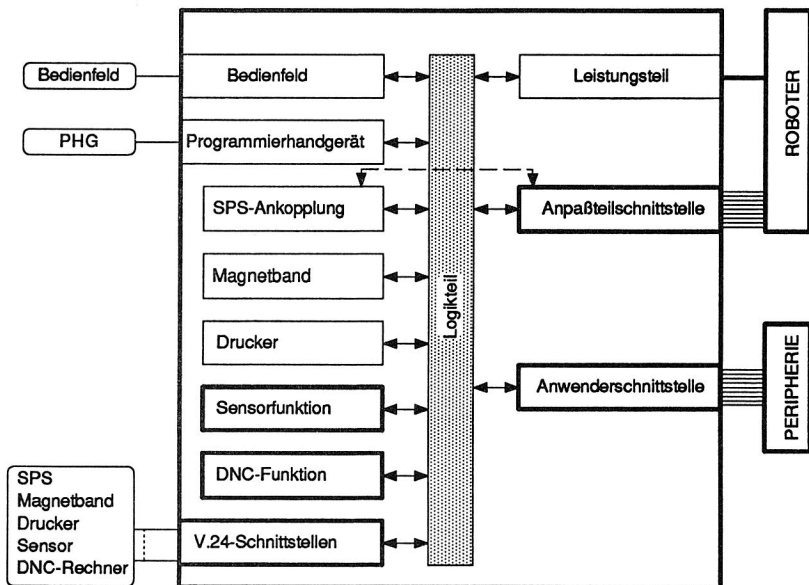


Bild 7.26: Schnittstellen am Beispiel der Robotersteuerung RCM

Als weitere Option kommt eine Schnittstelle zur direkten numerischen Steuerung (DNC) in Betracht, die jedoch nicht über einfache binäre Signale beeinflusst werden kann. Die Daten-

übertragung erfolgt hier über eine serielle V.24-Schnittstelle und erfordert ein spezielles Übertragungsprotokoll.

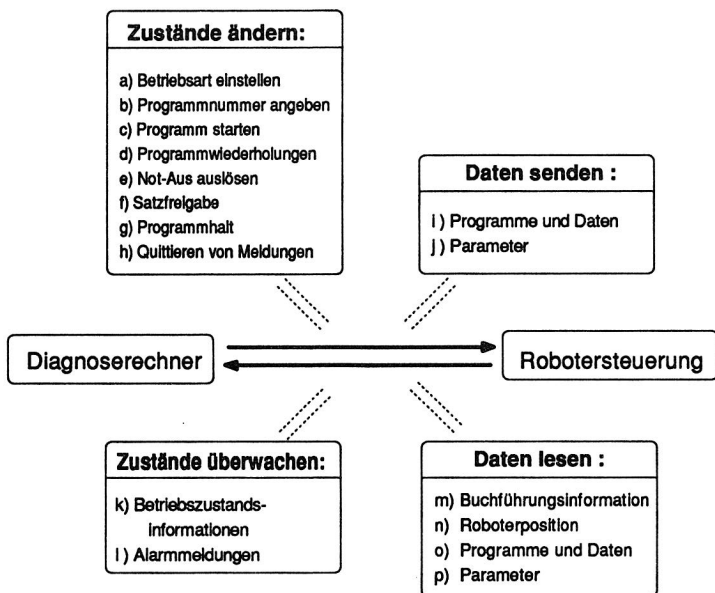


Bild 7.27: Auswahl der Überwachungs- und diagnosespezifischen Anweisungen zur Steuerungsbeeinflussung

Ein sinnvoller Einsatz dieser DNC-Koppelung wird vom Hersteller der Steuerung allerdings nur in Verbindung mit einer Leit-SPS gesehen, da sich die Funktionalität der Schnittstellen zwar in einem Bereich überlappt, jedoch überwiegend ergänzt.

Eine Auswertung des Befehlsumfanges verschiedener, nutzbarer Schnittstellen hat ergeben, daß unter Umständen auch die

Verarbeitung weiterer Steuerungsinformationen zur verfeinerten Analyse des Prozeßzustandes ohne größeren Aufwand möglich ist. Dazu zählt z.B. die Übertragung von Programmen und Parameterdaten sowie von Buchführungsinformationen an und von der RC (Bild 7.27).

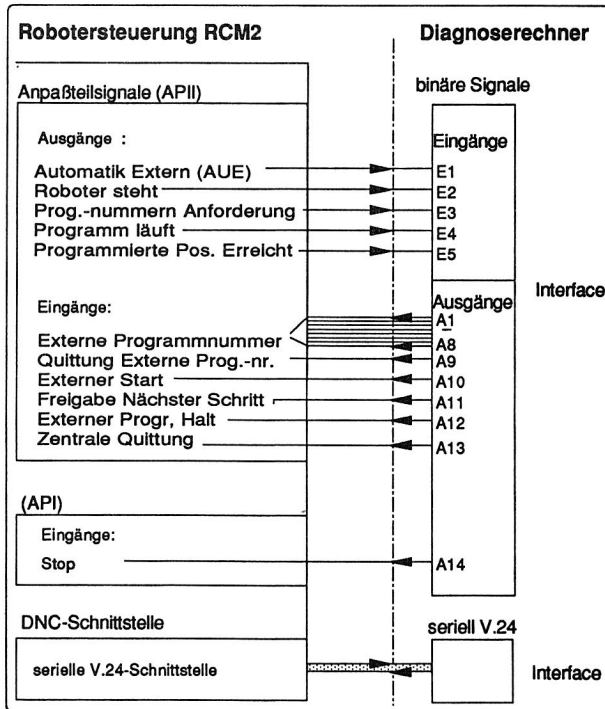


Bild 7.28: Anwendungsangepaßte Umsetzung der Führung einer unterlagerten Steuerung

Ein direkter Zugriff auf die RC ist nur über die dafür vorgesehene Anpaßteilbaugruppe mit ihren Systemsignalen möglich

(Bild 7.28). Deswegen greift die diagnoseorientierte Kommunikation auch auf diese Schnittstelle zu. Sie bietet die besten Eigenschaften für das Überwachen und Steuern der Robotersteuerung. So können beispielsweise verschiedene Zustände und Betriebsarten der RC unabhängig von der Programmbearbeitung überwacht werden. Wichtige Steuerungsaufgaben wie Satzfreigabe oder Programmstart sind ohne Änderungen in den Anwenderprogrammen ausführbar.

Für die Realisierung dieser Überwachungs- und diagnosespezifischen Signale mußten weitere

- 15 Signaleingänge und
- 15 Signalausgänge

seitens des Peripheriebussystems bereitgestellt werden.

Ergänzende Möglichkeiten bietet der DNC-Anschluß im Bereich der Datenübertragung. Neben steuerungsinternen Alarmmeldungen der RC können Parameter für Anwenderprogramme und Programme selbst übertragen werden. Ferner ist über diese Schnittstelle eine Überwachung des RC-Programmspeichers in Form einer Buchführung der verfügbaren Programmteile und des Speicherplatzes möglich. Dieser Zugriff wurde mit den Möglichkeiten des modularen Schnittstellenprogrammsystems unter Einbindung einer speziellen Schnittstellenkarte realisiert.

7.3.3 Implementierung des Überwachungs- und Diagnosesystems

Die Implementierung des Systems CADig war bis auf die Notwendigkeit, spezielle Schnittstellenanpassungen programmtechnisch zu realisieren, ohne Eingriff in das Programmsystem möglich (Bild 7.29).

Alle weiteren Anpassungen an die spezifischen Randbedingungen der zu überwachenden Montagezelle waren nach einer

theoretischen Vorbereitung (vgl. Abschnitt 7.1.4) im Dialog masken- und menügeführt durchführbar.

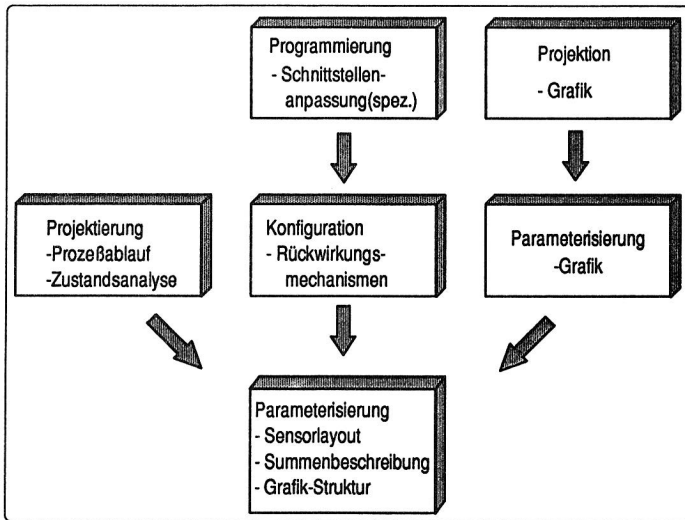


Bild 7.29: Vorgehensweise und Aufgaben in der Implementierungsphase

Aus den vorliegenden Planungsunterlagen wie Zustandsdiagrammen zur Gestaltung der Montageabläufe, Dokumentationen zum Ablaufprogramm und Schaltplänen lassen sich die wesentlichen für die Beschreibung der Prozeßzustände notwendigen Informationen ableiten. Die Gestaltung der Schnittstelle zur unterlagerten Steuerung erfolgte nach den Vorgaben der Projektierungsphase.

Die Schnittstellenbeschreibung wird beim System CADig in einer Konfigurationsdatei hinterlegt. Sollten die projektierten Rückwirkungsmechanismen nicht alleine durch sta-

tische Signale z.B. an die AP realisierbar sein, so sind entsprechende Zuordnungen und Folgen der erforderlichen Signalkombinationen in Anweisungen für das Interface zur Montagezelle hier zu beschreiben. Sie werden im Betrieb automatisch ausgeführt.

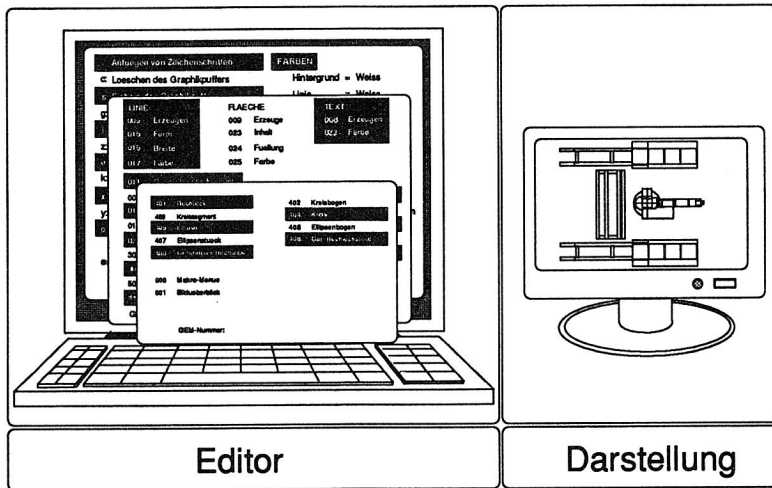


Bild 7.30: Grafischer Editor zur Gestaltung des Anlagenabbildes

Die Gestaltung des grafischen Anlagenabbildes erfolgt mit Hilfe eines grafischen Editors, der nicht in das Überwachungssystem integriert ist (Bild 7.30). Eine Editierung der Bildelemente hat somit off-line zur Überwachung und Diagnose zu erfolgen. Der Editor erlaubt den freien Aufbau von Bildelementen aus Linien und anderen geometrischen Elementen wie Kreisen, Rechtecken usw. sowie die freie Wahl von Farb- oder Schriftattributen.

Nach dem Entwurf einer baumartigen Struktur der eingesetzten Fertigungs- und Montageeinrichtungen erfolgte eine bildliche Darstellung der Knoten oder Blätter dieser Struktur (siehe Abschnitt 7.1.5). Sie werden durch geeignete Detaillierung oder Symbolik dargestellt. Auch die Sensoren und Betätigungselemente zur Anzeige der Einzelschaltzustände werden durch Symbole dargestellt. Die Speicherung der Darstellungen der Einheiten wie einer Roboteransicht, einer Vorrichtung usw. und der Symbole der Quellen für Signalein- und ausgänge erfolgt getrennt und unabhängig.

Nach Abschluß dieser gestaltenden Maßnahmen steht eine Menge von grafischen Elementen zur Verfügung, die beliebig durch das Überwachungssystem verwaltet und aktiviert werden können. Im Anwendungsbeispiel wurden

- 40 Grundbilder,
- 90 Darstellungen von Sensorelementen und
- 50 Darstellungen von Summenfunktionselementen

einggebracht.

Im Menüpunkt "Sensoren" des Systems CADig ist maskengeführt eine Zuordnung von Sensornummer, Name des Sensors, Bedeutung des Schaltzustandes "0" oder "low" und des Schaltzustandes "1" oder "high" erforderlich (Bild 7.31). Durch die elektrische Verbindung der Signalelemente der Montagezelle und der I/O-Module des INTERBUS-Systems ist diese feste Zuordnung der aufgenommenen Signale zu sogenannten Sensornummern möglich. Die systeminterne Verwaltung der Signale erfolgt nach diesen Sensornummern - eine Obergrenze ist nur durch die Leistungsfähigkeit des Bussystems gegeben (Ausbaustufe im Beispiel: 128 Eingänge). Die Textangaben, in Bild 7.31 kurz dargestellt, dienen der Bedienerinformation in der Phase der Implementierung und im laufenden Betrieb. Sie werden in den entsprechenden Eingabe- oder Anzeigemasken (Implemen-

tierungs- oder Betriebsmodus, vgl. Bild 7.34) automatisch übernommen.

Sensornummer:		Anzeige alt/neu (a/n)?:	Übernehmen ?
Name	A49 Sektorbezeichnung Bit0	Sensor 17	
0_Bedeutung	Sektor mit gerader Nr.		
1_Bedeutung	Sektor mit ungerader Nr.		
Fertig ?			

CADig-Eingabemaske: Sensoren

Bild 7.31: Maskengeführte Eingabe des Sensor-Layouts

Der im Sinne der Überwachung und Diagnose wesentlichste Arbeitsschritt liegt in der Definition der SOLL-Summen (Bild 7.32). Im Menüpunkt "Summen" sind alle hierfür erforderlichen Festlegungen zu treffen. Eine Summe wird bestimmt durch ihre Nummer und die Menge der sie bildenden Sensoren oder Einzelsignale. Die Angabe der zugeordneten Signale erfolgt über die Sensornummer und den Signalzustand - Zustand "0" oder "1" (Feld "S_nr." und "S_bel."). Da aus ergonomischen Gründen die Zahl der angezeigten Sensoren in der Maske auf 17 beschränkt ist, kann über die Eingabe des Belegsensors in der Sensormenge weitergeblättert werden. Der Belegsensor gibt die Nummer des ersten Sensors der sichtbaren Untermenge an, die Gesamtzahl der in dieser Summe definierten Sensoren wird im Feld "Sensoren" angezeigt. Als Hilfsfunktion können

in dieser Maske Informationen zu Sensoren in einer Kurzbeschreibung abgerufen werden.

Summennummer:		Anzeige alt/neu (a/n)?:		Bearbeitung:	
Summe : 2		Erklärung : Sektorcode			
Belegung : Name		Summen 1 bis 3			
Typ Summe : 2		Erklärung : Sektor 3			
Belegung : Belegung 3		Erklärung : Sektor 2			
Typ Belegsens : 2		Erklärung : Sektor 2			
Belegung : Belegung 2		Erklärung : Sektor 2			
Typ : nur Summe		Erklärung : Sektor 2			
S_nr. : 1		Sensoren: 4			
S_nr. : 1		# Sensoren: 4			
S_nr. : 17 18 19 20		# Sensoren: 4			
S_nr. : 0 1 0 0		# Sensoren: 4			
Name : A49 Sektorbezeichnung Bit0		# Sensoren: 4			
0 Bed : Sektor mit gerader Nr.		# Sensoren: 4			
1 Bed : Sektor mit ungerader Nr.		# Sensoren: 4			
Fertig ?		# Sensoren: 4			

CADig-Eingabemaske: Summen

Bild 7.32: Maskengeführte Eingabe und Klassifizierung der SOLL-Summen

Wie in Abschnitt 7.1.4 angesprochen beschreibt eine Summe mit einer definierten Belegung ihrer Sensoren einen bestimmten Prozeßzustand. Diesen verschiedenen Belegungen einer Summe können verschiedene Zustandsklassen als typisierendes Merkmal zugeordnet werden. Im Maskenfeld "Erklärung" können für den Bediener textliche Erläuterungen zur Summe und zu ihren Belegungen gemacht werden. Die Definitionen und Merkmale können beliebig korrigiert und gelöscht werden. Im Anwendungsbeispiel konnte mit 160 Summen über die Gewährleistung eines sicheren Prozeßablaufes hinaus eine umfassende Beschreibung der Prozeßzustände realisiert werden.

Im Menüpunkt "Grafik" (Bild 7.33) erfolgt eine baumartige Zuordnung der Darstellungen der Funktionseinheiten und Elemente der Montagezelle. Die Grundstruktur wird nach einem Vater/Sohn-Schema im Menüpunkt "Hierarchie" aufgebaut. Be-
findet man sich z.B. in der Ebene des Gesamtzellenabbildes, so stellt die Darstellung eines CADig-Titelbildes die Vater-
ebene und die verfeinerte Darstellung einer Zellenkomponente, z.B. einer Vorrichtung, die Sohnebene dar.

Bildnummer:		Anzeige alt/neu (a/n)?:		Bearbeitung:	
Auswahl : Hierarchie				Abbild Nr.: 2	
Vater : 1		Beschr.: Titelbild CADig		File: zell	
Sohn1: 10		Beschr.: Sektoreinteilung		Beschreibung: <i>Gesamtansicht der Zelle</i>	
Sohn2: 11		Beschr.: Gesamtvorrichtung			
Sohn3: 12		Beschr.: Roboter			
Sohn4: 13		Beschr.: Baender			
Sohn5: 0		Beschr.:			
		Auswahl : Sensoren			
# Sensoren: 10		# Summen: 4			
Sensor: 60		0_Bed. : r-zell-e15			
107 108		1_Bed. : g-zell-e15			
Graphikfiles		Auswahl : Summen		fertig ?	
Summe: 10		Default : g-zell-s4			
Graphikfiles		Beleg.1 : gl-zell-s4			
		Beleg.2 : r-zell-s4			
		Beleg.3 :			
		Beleg.4 :			
		Beleg.5 :			
CADig-Eingabemasken: Grafikstruktur					

Bild 7.33: Maskengeführte Gestaltung der grafischen Zellen- und Prozeßdarstellung

Die komplexen Komponenten der Montagezelle mit z.B. einem mehrarmigen Revolvergreifersystem erfordern den Aufbau einer Grafikstruktur in 5 Ebenen zur Auflösung der Struktur von

der Gesamtdarstellung der Zelle über Untereinheiten wie Roboter und Greifersystem bis hin zur Darstellung der Einzelgreifer.

Die Gestaltung der bildlichen Darstellung der gewählten Bildnummer erfolgt durch die Definition der entsprechenden Bilddatei des Grundbildes im Menüpunkt "File" sowie aller gewünschten grafischen Funktionselemente und -einheiten mit ihren zugehörigen Bilddateien unter den Menüpunkten "Sensoren" und "Summen". Hier wird auch eine, gemäß den definierten Zustandsklassen angepaßte, differenzierte Darstellungsform festgehalten (Menüpunkte "0_Bed.", "1_Bed." für Sensoren, "Default" und Belegungen für Summen). Eine Darstellung der Sensorschaltzustände und der aktuellen Summenklassen wird im Einsatzbeispiel durch Farbumschlag der Elemente dargestellt (vgl. Bild 7.11). Sie ist jedoch für den Anwender in der Form beliebig definierbarer Bilddateien frei gestaltbar.

Die geschilderte Parameterisierung des Systems CADig muß nicht in der Implementierungs- und Inbetriebnahmephase abgeschlossen werden. Die Vollständigkeit der Summendefinition ist naturgemäß sehr stark abhängig von der Güte der zur Verfügung stehenden Planungsunterlagen. Das System ist jedoch offen gegenüber allen Korrekturen oder Ergänzungen dieser Parameter. Der Übergang vom Betriebsmodus - Anzeige der Erklärungsteile, Wechsel der grafischen Darstellungsebenen - zum Implementierungsmodus - Anzeige der Eingabe- und der Erklärungsteile, Änderungsmöglichkeit - ist on-line möglich.

Nach dem Hochlaufen des Systems CADig befindet sich der Bediener zunächst in einer großformatigen Erklärungsmaske. Hier werden zu jeder aktuell relevanten SOLL-Summe alle beschreibenden textlichen Merkmale angezeigt (bis zu 3 Zeilen à 65 Zeichen pro Summe). Eine Kopfzeile bietet die Möglichkeit zu Sensoren, Summen oder Grafik weitere Menüs auf-

zurufen. Nach Auswahl eines Menüpunktes erfolgt eine Passwortabfrage. Dadurch wird eine Verzweigung in die Implementierungsphase mit ausführlichen Masken zu einem Definitions- und einem Erklärungsteil geschützt. Ohne Passwordeingabe ist der Verbleib im Betriebsmodus gesichert.

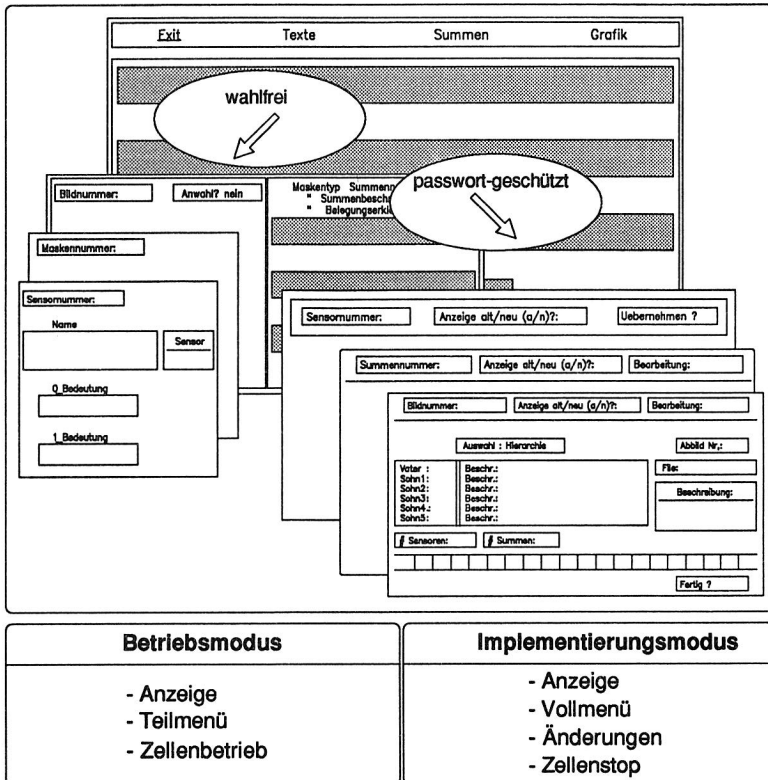


Bild 7.34: Zugriffsgeschützter Übergang vom Betriebsmodus in den Implementierungsmodus

Der Bediener hat die Möglichkeit, entweder im ausführlichen Erklärungssteil zu verbleiben, oder wahlfrei bei gleichzeitiger Anzeige und Aktualisierung eines verkleinerten Erklärungssteiles über entsprechende Bedienfelder weitere Informationen über Summen und Sensoren aufzurufen. Im Menüfeld "Grafik" kann neben dem Abruf erklärender Texte über die Bildnummer eine andere bildliche Darstellung für den Grafikbereich angewählt werden (Bild 7.34).

Durch die kontrollierte Vergabe der Zugriffsrechte mit Passwort wird gesichert, daß nur berechtigtes und geschultes Personal Änderungen im System durchführen kann. Diese Mitarbeiter müssen die Auswirkungen von Änderungen z.B. in der Summendefinition und ihre Rückwirkung auf die Zellensteuerung beurteilen können.

Beim Verlassen des Betriebsmodus wird automatisch ein HALT-Signal an die Zellensteuerung gesendet. Der Überwachungsmodus wird deaktiviert. Nach Wiedereintritt in den Betriebsmodus werden zuerst die Systemparameter auf Veränderung geprüft und gegebenenfalls aktualisiert, bevor eine Weiterführung des Montageablaufes möglich ist.

7.3.4 Erfahrungen beim Einsatz des Systems CADig

Im Vergleich zu den ursprünglich an der Zellensteuerung verfügbaren Funktionen stellt die Verbesserung der Visualisierungsfunktion einen erheblichen Fortschritt dar. Dieser Vorteil reicht von einer ausführlichen textlichen Erklärung zu Einzelkomponenten und Sensoren des Systems (Erklärung des Sensoreinsatzes) bis hin zur Beschreibung der in SOLL-Summen erfaßbaren Prozeßzustände. Dadurch wurden eine ausführliche Klärung von Fehlerzuständen möglich und Wege zu ihrer Behebung aufgezeigt (Bild 7.35).

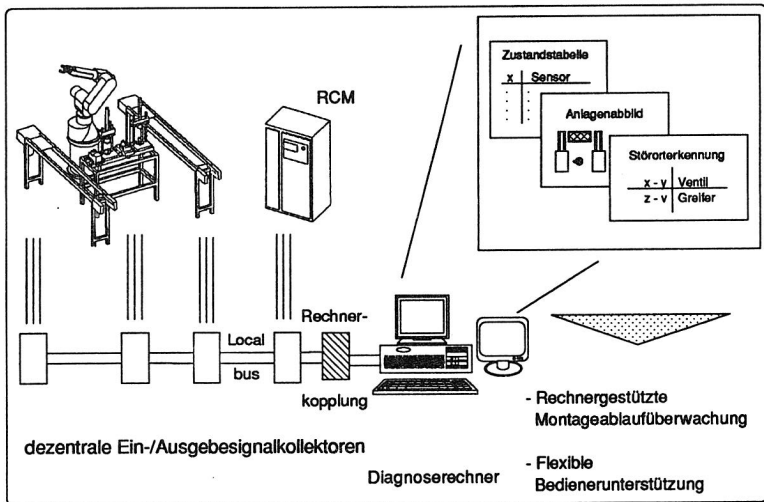


Bild 7.35: Komfortable Anlagenführung und -bedienung bei integrierter Überwachung und Diagnose

Besonders vorteilhaft zeigt sich diese Eigenschaft bei einem Wechsel des Bedienerpersonals. Der Lernvorgang konnte nennenswert verkürzt werden. Die strukturierte grafische Darstellung der Zellenkomponenten und ihrer Zustandsklasse erlaubt durch eine meldungsintensive farbliche Gestaltung und Symbolik eine schnelle Informationserfassung durch den Bediener. Auch die Darstellung der einzelnen Signalschaltzustände ist eine Unterstützung, da in der Regel nur beim Betrieb von besonderen Programmiergeräten an der RC-Zellensteuerung eine derartige Visualisierung möglich ist. Bild 7.36 zeigt den realisierten CADig-Arbeitsplatz mit Text- und Grafikmonitor.

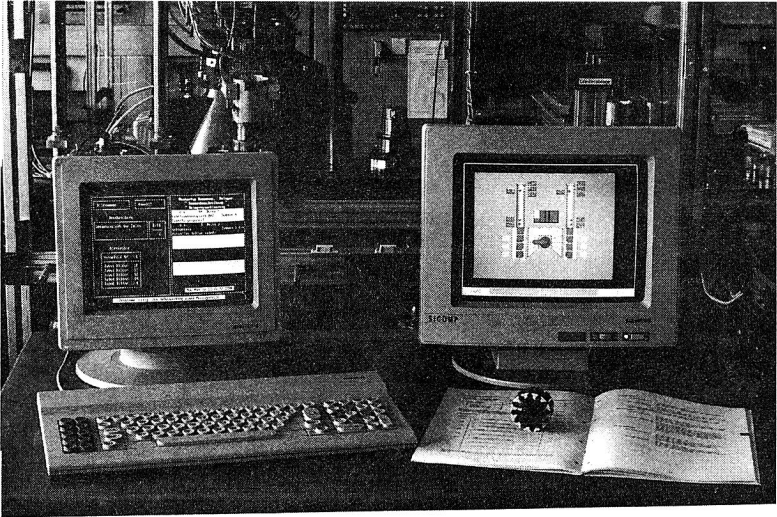


Bild 7.36: PC-gestützter CADig-Arbeitsplatz

Ein neuer Weg in der Anlagenbedienung ergibt sich durch die veränderte interaktive und dialogorientierte Einflußnahme auf die Anlagenüberwachung und -diagnose durch Manipulation der als Überwachungsregeln zu verstehenden Summendefinitionen (Bild 7.37).

Da eine Anpassung ohne Eingriff in das eigentliche Ablaufprogramm möglich ist, kann sie ohne Unterbrechung des Betriebszustandes der Montagezelle durchgeführt werden. Damit ist zum einen eine unmittelbare und schnelle Einwirkung des Bedienerpersonals selbst auf die betreute Montagezelle möglich, zum anderen ist nach erfolgter Änderung ein schnellerer Wiederanlauf der Zelle möglich. Auf herkömmlichem Wege

müßten z.B. der Montageablauf unterbrochen, von Betriebsart "Automatik" auf Handbetrieb umgestellt, die Programmänderung eingearbeitet und ein erneuter Start im "Automatik"-Modus durchgeführt werden.

Überwachungs- und Diagnosesystem CADig	
Flexibilität im Betrieb	+ Parameterisierbare Überwachungsregeln + Parameterisierbare Zustandsbeschreibung
Überwachungskomfort	+ Differenzierte Zustandsanalyse + Vorausschauende Überwachung + Nachrüstbarkeit von Sensorik u.a.
Bedienerführung	+ Anlagenvisualisierung + Signalvisualisierung + Meldungsfunktion + Führung im Fehlerfall
Dokumentation	+ Notizbuchfunktion

Bild 7.37: Verbesserte Anlagenbedienung und optimierter Anlagenbetrieb

Man kann im allgemeinen nicht davon ausgehen, daß der Bediener zu einem Eingriff in das Ablaufprogramm befugt ist, da zu Eingriffen in komplexe Programmstrukturen mit Unterprogrammtechnik eine spezielle Kenntnis der Programmiersprache und des realisierten Programms notwendig ist. Im System CADig ist eine Veränderung auf einen überschaubaren Bereich beschränkt - Bildung einer neuen Summe mit beschränkter Sensoranzahl, einfache Klassifizierung und gegebenenfalls Eintrag in die Grafikstruktur - und kann deshalb auch vom Bediener selbst vorgenommen werden.

In den Bildern 7.38 bis 7.40 werden als Beispiele für grafische Elemente der Gesamtüberblick der Zelle mit Summenmeldung (S1) für eine unterlagerte Vorrichtung und Sensorsignaldarstellungen sowie Darstellungen von Komponenten wie Stemmvorrichtung und Gehäusegreifer gezeigt.

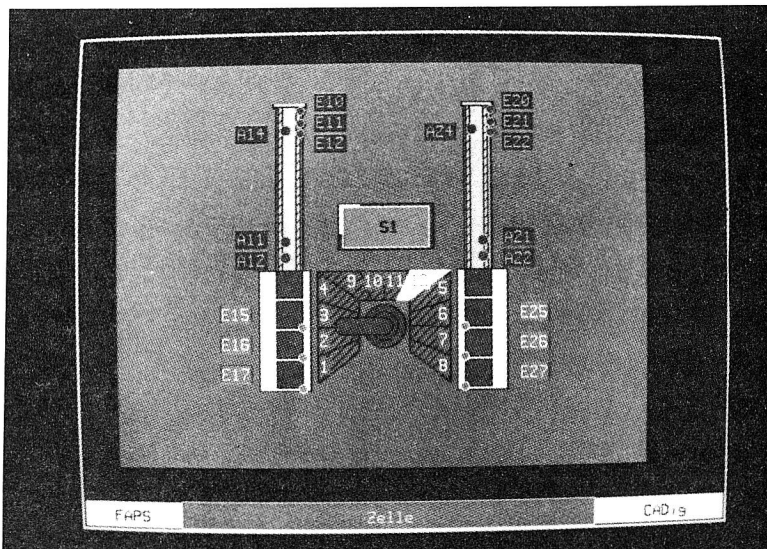


Bild 7.38: Grafische Darstellung der Zelle
im Gesamtüberblick

Durch die ablaufentkoppelte Überwachung von Prozeßzuständen ist eine erweiterte Überwachung dahingehend möglich, daß z.B. einzelne Funktionselemente wie Pneumatikzylinder an Vorrichtungen oder Spanneinrichtungen an Palettenbereitstellungsplätzen permanent überwacht werden können, bevor sie selber oder die von ihnen zu gewährleistende Funktion aktiv zum Einsatz kommt. Diese frühzeitige Überwachung erlaubt

eine Behebung des Fehlerfalls bevor er zu einem Anlagenstillstand führt. Wenn aber aufgrund der Unfallgefahr nicht in den Arbeitsraum von Einrichtungen eingegriffen werden darf, erlaubt sie die Vorbereitung der Fehlerbehebung durch Bereitstellung von Werkzeugen und anderen Hilfsmitteln.

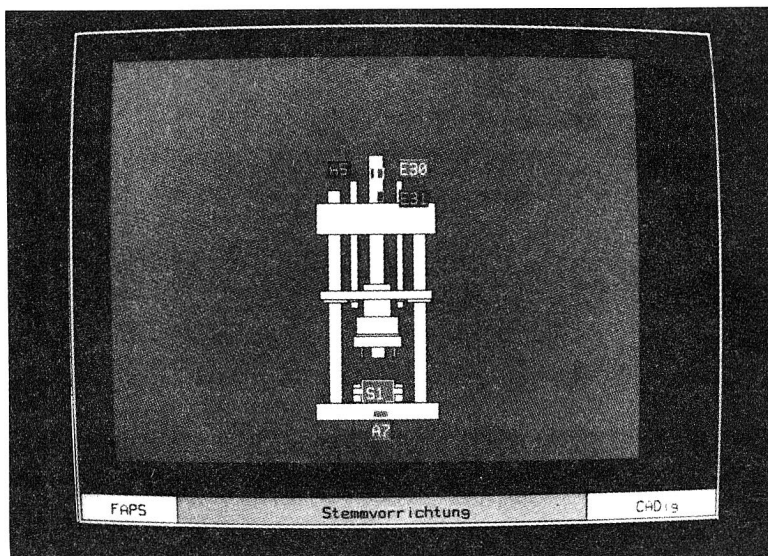


Bild 7.39: Grafische Darstellung der Stemmvorrichtung

In diesen Bildern werden die Signalzustände der Sensorelemente und der Schaltelemente für Aktoren sowie ihre Ordnungsnummer dargestellt. In Bild 7.39 sind dies z.B. Näherungsschalter zur Bestimmung der Lage der Hubeinrichtung (Sensoren E30 und E31) und die Ansteuerung des Pneumatikventils des Hubzylinders (A5). Der Zustand unterlagerter Komponenten wird über Sammelzustandsanzeigen angezeigt (S1 für die Gehäusespanneinrichtung).

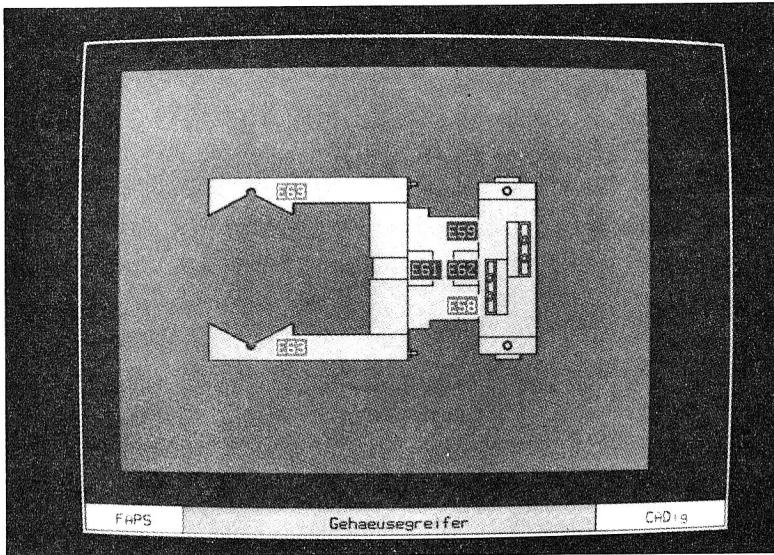


Bild 7.40: Grafische Darstellung des Gehäusegreifers

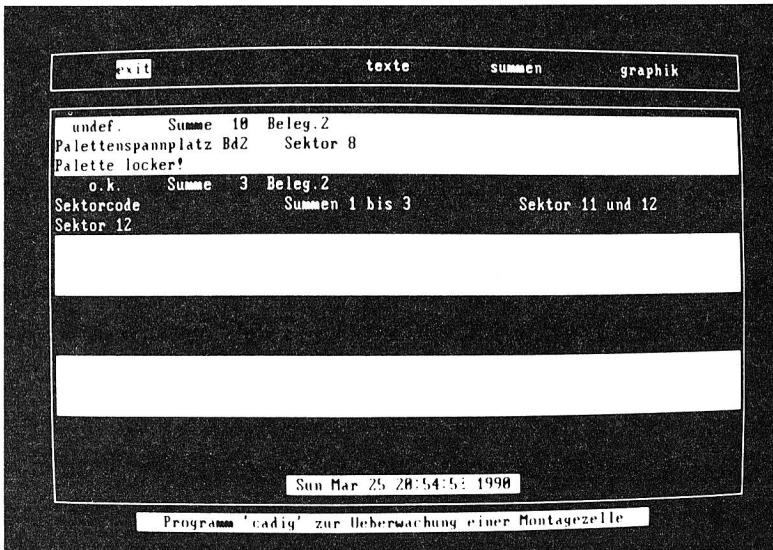


Bild 7.41: Maske zur Ausgabe der Systemmeldungen/Langform und Menüstartleiste

In den Bildern 7.41 bis 7.43 werden Beispiele für die Eingabe- und Abfragemasken zur Systemüberwachung und -steuerung in der Betriebsphase und in der Definitionsphase gezeigt.

Die Darstellung der Systemmeldungen in Langform mit bis zu 65 Zeichen in 3 Zeilen pro Summendefinition erlaubt eine ausführliche Beschreibung des Prozeßzustandes (z.B. Hinweise auf Störungen an Palettenspannplätzen oder zum aktuellen Arbeitsbereich des IR).

Maskennummer: _	
Erklärung	
Palettenspannplatz Bd2. Sektor 8	Maske 10
Maskenklasse	
nur Summe	

Maskentyp Summennr. Belegnr. " Summenbeschreibung " " Belegungserklärung "	
undef. 10 Beleg.2	
Palettenspannplatz Bd2 Sektor 8	
Palette locker!	
o.k. 3 Beleg.2	
Sektorcode	Summen 1 bis
Sektor 12	
Sun Mar 25 20:57:5. 1990	

Programm 'cadiq' zur Überwachung einer Montagezelle

Bild 7.42: Maske zur Ausgabe der Systemmeldungen/Kurzform und Menü zur Bildwechselsteuerung

Die Darstellung der Systemmeldungen in Kurzform ermöglicht es, zum einen den Prozeßablauf mit aktuellen, verkürzt angezeigten Systemmeldungen zu verfolgen, als auch in gleichzei-

tig eingeblendeten zusätzlichen Arbeitsmasken weitere Systeminformationen zu einzelnen Grafik-, Summendefinitionen oder Sensoren abzufragen.

Im passwort-geschützten Implementierungsmodus stehen dem Bediener weitere Arbeitsmasken zur Verfügung (siehe Abschnitt 7.1.4).

Summenummer:		Anzeige alt/neu (a/n)?:		Bearbeitung:	
--------------	--	-------------------------	--	--------------	--

Summe : 11 Belegung: Beleg.1 Typ : o.k.	Erklärung : - leer, Bereit fuer Abl.
---	---

Belegsensoren: 1	8 Sensoren: 10
------------------	----------------

S.nr.	17	18	19	20	21	22	23	24	77	78						
S.bel.	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0						

Kurzbeschreibung Sensor Nr.		Summe der Werte wird berechnet
Name : 0_Bed : 1_Bed :	<div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">Fertig ?</div>

Belegsumme ist die zur Überwachung einer Montagezelle

Bild 7.43: Eingabemaske zur Summendefinition in Belegung 1

Durch den Ersatz von Überwachungsfunktionen, die aus dem Ablaufprogramm der Zellensteuerung in das Überwachungssystem CADig verlagert wurden, war es möglich Begrenzungen im Überwachungs- und damit Diagnoseumfang zu überwinden, die durch den Funktionsumfang der Kernsteuerung bedingt werden. Im Fall der Motormontagezelle betraf dies z.B. die Begrenzung der Zahl der permanent, parallel zum Montageablauf überwacht-

baren Signale - hier im steuerungsspezifischen Einsatzbeispiel: Eingänge 1 bis 4. Durch Einsatz von CADig konnte eine umfassendere Überwachung, z.B. verschiedener Funktionen der Druckluftversorgung an Greifereinheiten und Vorrichtungen, durchgeführt werden (Paralleler Betrieb von 2 Vorrichtungen, 2 Spannplätzen und 4 Greifereinrichtungen mit eigenen Versorgungsleitungen und mehreren Betätigungselementen, über 10 permanent überwachte Sensoren).

Durch die explizite Erfassung einer großen Zahl von Signalen - lediglich begrenzt durch die im Rahmen der Schnittstellendefinition festgelegten Maximalzahl - kann eine detaillierte Zustandsdifferenzierung und damit Diagnose durchgeführt werden.

Der Einsatz der dezentralen I/O-Module des INTERBUS-Systems erleichtert auch die Auswertung nachträglich angeschlossener, zusätzlicher Überwachungs- oder diagnosespezifischer Sensoren. Eine Beschreibung des Eingriffes erfolgt on-line im Erklärungsfeld des Sensors im System CADig. Der Erweiterungsanschluß ist dabei ohne Neuinstallation der Konfigurationsdatei möglich, da, unabhängig von der tatsächlichen Zahl der angeschlossenen Signalgeber, eine Abfrage aller Signaleingänge der angeschlossenen I/O-Module erfolgt. Der Anschluß von Signalgebern an freie Eingänge ist somit problemlos auch nachträglich möglich.

8 Zusammenfassung

Die Sicherstellung eines ungestörten Anlagenbetriebes durch Fehlervermeidung, Überwachung und schnelle Fehlerbehebung hat bei einem wachsenden Automatisierungs- und Investitionsniveau der Montageeinrichtungen eine weiter steigende elementare Bedeutung für deren wirtschaftlichen Betrieb. Die Erfassung und Aufbereitung der Informationen aus Maschinen und Anlagen ist nicht nur für die Optimierung bestehender, sondern auch für die Konzipierung neuer Anlagen unabdingbar. Das gilt insbesondere für rechnerintegrierte Fertigungsanlagen. Systeme zur Überwachung und Diagnose gewinnen in diesem Zusammenhang immer mehr an Bedeutung.

Unter dem Gesichtspunkt der Einsatzmöglichkeiten in flexibel automatisierten Montagezellen wurde eine detaillierte Analyse des Standes der Technik der Systeme der Überwachung und Diagnose für Montagezellen durchgeführt. Sie hat ergeben, daß bestehende Systemvorschläge den Anforderungen und dem Nachholbedarf im Bereich der Montage nur bedingt gerecht werden, weil ihr Einsatz überwiegend erhebliche Eingriffe in die vorhandenen Steuerungseinrichtungen erfordert. Ferner ist der Investitionsaufwand bei leistungsfähigen Systemen häufig höher als der der Montagezelle selbst. Bisher eingesetzte Systeme sind zudem in ihrer Auslegung weitgehend geschlossen und können nicht ohne weiteres z.B. an einen veränderten Überwachungsbedarf angepaßt werden. Zu beachten ist auch, daß alleine eine Weiterverarbeitung der in einer unterlagerten Steuerung gewonnenen Informationen keinen Fortschritt in der Überwachung bietet. Diese Umstände erklären den bisher geringen Grad der Verbreitung einheitlicher Konzepte in der Montage.

Aufbauend auf den Anforderungen flexibler Montagesysteme wurde ein neuartiges Konzept für ein flexibles Überwachungssystem auf Basis einer autarken, nebengeordneten Rechnereinheit entwickelt - das Programmsystem CADig (Computer Aided

Diagnosis). Durch eine detaillierte Erfassung der Prozeßzustände und den Vergleich des aktuellen Zustandes mit vorgegebenen und erweiterbaren Referenzzuständen wird eine umfassende Überwachung und Diagnose der Prozeßzustände möglich. Eine Zustandsanalyse kann dabei sowohl in einer makroskopischen, montageablauforientierten Betrachtung als auch in einer mikroskopischen Analyse einzelner Funktionselemente parallel erfolgen.

Die Bereitstellung einer ergonomischen Schnittstelle zum Anlagenbediener in Form einer umfangreichen Masken- und Menüführung für eine parameterisierbare Prozeßbeschreibung ermöglicht eine flexible Erweiterung der Überwachungsregeln im Einklang mit den gewonnenen Erfahrungen im Betrieb der Montageeinrichtung. Durch die einfache Systemanpaßbarkeit ergibt sich die Grundlage für eine aktuelle, optimierte Prozeßführung und damit für einen optimierten Anlagenbetrieb.

Die Einsatzmöglichkeiten des Systems wurden an einer robotergestützten Montagezelle erprobt. Dabei konnte die Eignung des Modells in der Praxis bestätigt werden. Im besonderen zeigte sich, daß sich das Konzept eines flexiblen und bedienerfreundlichen Überwachungs- und Diagnosesystems durch eine wirtschaftlich interessante technische Lösung realisieren läßt. Das System CADig leistet somit einen wichtigen Beitrag für die wirtschaftliche Planung und den wirtschaftlichen Betrieb flexibler Montagesysteme.

Die im Rahmen der Untersuchung gewonnenen Erfahrungen führen zu dem Schluß, daß die Entwicklung dieses neuen Systemvorschlages für flexible Montagezellen der Marktforderung gerecht wird, die unbedingt erforderliche Ausstattung der Zellen mit Überwachungs- und Diagnosesystemen wirtschaftlich möglich zu machen.

9 Literaturverzeichnis

1. N.N. Artis Werkzeugüberwachungssystem TSS; Prospekt der Fa. ARTIS, Bisingen-Behringen; 1989.
2. Aug, K. Meisterhaft: Wie aus einem PC ein BDE-Rechner wird; elektronikpraxis -(1989)H.13, S.91-95.
3. Averkamp, Th. Überwachung und Regelung des Ab-richt- und Schleifprozesses beim Außenrund-Einsteichschleifen; Dis-sertation, RWTH Aachen; 1982.
4. Bartl, R.
Weule, H. Entwicklung einsatzfähiger Dia-gnose-Expertensysteme; Technische Rundschau -(1987)H.41, S.184-193.
5. Baumgartner, H.
Scholten, R.
Vitalini, M. Der Kabelleger muß das Binden noch lernen; ROBOTER -(1985)H.5, S.18-21.
6. Becker, H. Automatisieren technischer Tätigkei-ten und Prozesse, Teil 1: Sensoren mit analogen, Frequenzanalogen und digitalen Ausgangssignalen; VDI-Z 129(1987)H.1, S.74-80.
7. Becker, H. Automatisieren technischer Tätigkei-ten und Prozesse, Teil 2: Rechnerun-terstütztes Auswerten von Meßdaten und Steuern von Meßvorgängen; VDI-Z 129(1987)H.2, S.44-52.
8. Becker, H. Automatisieren technischer Tätigkei-ten und Prozesse, Teil 3: Ferti-gungsintegrierte Qualitätsprüfung, rechnerintegrierte Produktion; VDI-Z 129(1987)H.3, S.43-52.
9. Benda, H.v. Leitfaden zur benutzergerechten Ge-staltung der Dialogschnittstelle für Bildschirmarbeitsplätze von Sachbe-arbeitern in Büro und Verwaltung; Stollmann GmbH, Hamburg; 1986.
10. Binnig, H. Bausteine flexibler Montagesysteme; wt Werkstattstechnik 77(1987), S.675-678.
11. N.N. Diagnosebaugruppe DB600, Gerätehand-buch; Robert Bosch GmbH, Erbach; 1988.

12. Bourne, St.R. Das UNIX System V; Addison-Wesley Publishing Comp., Bonn; 1987.
13. Brich, P. Programmiertechnik moderner SPS; In /123/.
14. Busch, U. Entwicklung eines PPS-Systems, Praktische Anleitung für Auswahl und Realisierung von Produktions-Planungs- und -Steuerungssystemen; Erich Schmidt Vlg., Berlin; 1987.
15. Dillmann, R. Ein sensorintegrierter Greifer als modulares Teilsystem für Montageroboter; Robotersysteme (1986)H.2, S.247-252.
Hugel, Th.
Meier, W.
16. DIN 19222 Norm, Messen Steuern Regeln, Leittechnik, Begriffe; Beuth Vlg., Berlin; 1985.
17. DIN 19233 Norm, Automat Automatisierung; Beuth Vlg., Berlin; 1972.
18. DIN 66201 Norm, Teil 1, Prozeßrechensysteme Begriffe; Beuth Vlg., Berlin; 1981.
19. Dworatschek, S. Grundlagen der Datenverarbeitung; Walter de Gruyter Vlg., Berlin, New York; 1977.
20. Eißler, W. Automatisierte Überwachungsverfahren für Fertigungseinrichtungen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen; IPA Forschung und Praxis Bd.68; Springer-Vlg., Berlin, Heidelberg, New York; 1983.
21. Enderle, W. Verfügbarkeitssteigerung automatisierter Montagesysteme durch selbsttätige Behebung prozeßbedingter Störungen; Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe, Bd.21; U Karlsruhe, Karlsruhe; 1989.
22. Eversheim, W. Produktionsgerechte Produktstrukturen; VDI-Z 129(1987)H.3, S.38-42.
Konz, H.-J.
Kosmas, I.
23. Färber, G. Bussysteme, Parallele und serielle Bussysteme in Theorie und Praxis; R. Oldenbourg Vlg., München, Wien; 1984.
(Hrsg.)

24. Feldmann, K.
Hemberger, A. Rechnereinsatz in der Montageplanung; VDI-Z 129(1987)H.5, S.76-81.
25. Feldmann, K.
Eisele, R.
Kleineidam, G. Verfahrenskette zur Planung und Programmierung von Montagesystemen; Zwf 82(1987)H.9, S.521-527.
26. Feldmann, K.
Geyer, G.
Hake, F.O. Wissensbasierte Datentransformation in der rechnerintegrierten Produktion; In / 83/.
27. Ferling, H.D.
Jüngst, E.W. Rechnergestützte Methode für den funktionsorientierten Entwurf und die Realisierung verteilter Prozeßautomatisierungseinrichtungen; In /119/.
28. Fink, H. Einsatz speicherprogrammierbarer Steuerungen in der Fertigungstechnik; ISW Forschung und Praxis Bd.62; Springer-Vlg., Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo; 1986.
29. Fix-Sterz, J.
Lay, G.
Schultz-Wild, R. Flexible Fertigungssysteme und Fertigungszellen - Stand und Entwicklungstendenzen in der Bundesrepublik Deutschland; VDI-Z 128(1986)H.11, S.369-379.
30. Frey, H. Zuverlässigkeitsplanung am Beispiel von Leitsystemen; QZ 33(1988)H.5, S.241-246.
31. Furgaç, I. Aufgabenbezogene Auslegung von Robotersystemen; Produktionstechnik-Berlin Bd.39; Carl Hanser Vlg., München, Wien; 1984.
32. Gehler, R. Leistungssteigerung an automatischen Montageanlagen; In / 84/.
33. Gero, J.S.
(Hrsg.) Artificial Intelligence in Engineering: Robotics and Processes; Elsevier Computational Mechanics Publications, Southampton, UK; 1988.
34. Gero, J.S.
(Hrsg.) Artificial Intelligence in Engineering: Diagnosis and Learning; Elsevier Computational Mechanics Publications, Southampton, UK; 1988.
35. Grimm, W. Diagnosesystem für steuerungsperiphere Fehler an Fertigungseinrichtungen; ISW Forschung und Praxis Bd.65; Springer-Vlg., Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo; 1987.

36. Groha, A. Universelles Zellenrechnerkonzept zur Nutzungsverbesserung flexibler Fertigungssysteme; wt Werkstattstechnik 78(1988), S.313-318.
37. Grund, P. Neue Funktionsprinzipien für das maschinelle Anziehen von Schraubverbindungen; VDI-Z 129(1987)H.4, S.89-95.
38. Hackstein, R. Produktionsplanung und -steuerung (PPS), Ein Handbuch für die Betriebspraxis; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1984.
39. Hahn, R. Speicherprogrammierbare Steuerungen im Maschinenbau: Anforderungen und Lösungen; In /121/.
40. Hake, F.O. Robotergestützte flexible Montagezelle für Elektrokleinmotoren; VDI-Z 130(1988)H.8, S.12-17.
41. Hausmann, A. Planung von Überwachungssystemen auf der Basis einer systematischen Ableitung des Überwachungsbedarfs; Dissertation, RWTH Aachen; 1988.
42. Härdtnr, M. Überwachung und Diagnose in flexiblen Fertigungssystemen; In /120/.
43. Hemberger, A. Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion durch wissensbasierte Systeme; Carl Hanser Vlg., München, Wien; 1988.
44. Herrscher, A. Flexible Fertigungssysteme, Entwurf und Realisierung prozeßnaher Steuerungsfunktionen; ISW Forschung und Praxis Bd.39; Springer-Vlg., Berlin, Heidelberg, New York; 1982.
45. Herzlieb, G. Methoden und Vorgehensweise zur Optimierung störungsbehafteter automatischer Produktionsanlagen; Fortschritt-Berichte Reihe 2 Nr.80; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1984.
46. Hofmann, E. Das BMFT-Verbundprojekt "Feldbus"; Automatisierungstechnische Praxis atp 30(1988)H.5, S.212-216.
47. Hoffmann, H. Automatische Überwachung und Fehlerdiagnose an Werkzeugmaschinen; Dissertation, TH Darmstadt; 1977.

48. N.N. Handbuch Innovator: Entwurf; MID, Nürnberg; 1988.
49. N.N. Handbuch Innovator: Implementierung; MID, Nürnberg; 1988.
50. Irwin, C.T. Flexible fingers can solve gripper sensitivity problems; Assembly Automation -(1988)H.5, S.87-90.
51. Kang, M. Entwicklung eines Werkstattsteuerungssystems mit simultaner Termin- und Kapazitätsplanung; Produktionstechnik-Berlin Bd.55; Carl Hanser Vlg, München, Wien; 1987.
52. Kämpfer, S. Roboter - Die elektronische Hand des Menschen; VDI-Verlag, Düsseldorf; 1983.
53. Kernighan, B.W.
Ritchie, D.M. Programmieren in C; Carl Hanser Vlg., München, Wien; 1983.
54. Kiel, H. Erweiterte Funktionen der SPS - die Entwicklung im Rahmen der Fabrikautomatisierung; In /123/.
55. Kiel, H. Freie Funktionsbausteine für die Lösung von Steuerungsaufgaben mit Prozeßleitsystemen; In /119/.
56. Klatte, H.
Sondermann, J.P. Qualitätsplanung von Prozessen, Einsatz der Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse; QZ 33(1988)H.4, S.190-194.
57. Kluft, W. Werkzeugüberwachungssysteme für die Drehbearbeitung; Dissertation, RWTH Aachen; 1983.
58. Köhl, E.
Esser, U.
Kemmer, A.
Wendering, A. Auswertung der CIM-Expertenbefragung (Februar 1988); Forschungsinstitut für Rationalisierung an der RWTH Aachen, Aachen; 1988.
59. Kuntze, H.-B.
u.a. Sensorgestützte Programmierung und Steuerung von Industrierobotern; Robotersysteme -(1988)H.4, S.43-52.
60. Langhammer, D. Verknüpfung von Steuerungen und Peripherie bei Industrierobotern; Werkstatt und Betrieb 118(1985)H.8, S.481-483.

61. Lechler, G. Zur Werkzeugüberwachung beim Bohren und Drehen; VDI-Z 130(1988)H.2, S.39-41.
62. Leonards, F. Ein Beitrag zur meßtechnischen Erfassung von Prozeßkenngrößen bei der Drehbearbeitung; Dissertation, TU Berlin; 1978.
63. Löhr, H.-G. Eine Planungsmethode für automatische Montagesysteme; IPA Forschung und Praxis; Krausskopf-Verlag, Mainz; 1977.
64. Lutz, P. Leitsysteme für die rechnerintegrierte Auftragsabwicklung; iwb Forschungsbericht Nr. 16; Springer-Vlg., Berlin, Heidelberg, New York; 1988.
65. Maier, C. Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern; iwb Forschungsberichte Bd.3; Springer-Vlg., Berlin, Heidelberg, New York; 1986.
66. Malsbender, G. BEDEM - Ein dezentral organisiertes Betriebsdatenerfassungssystem auf der Basis von Mikroprozessoren; Dissertation, RWTH Aachen; 1980.
67. Martin, T. Prozeßdatenverarbeitung; Elitera-Vlg., Berlin; 1976.
68. Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH (Hrsg.) Technische Zuverlässigkeit; Springer-Vlg., Berlin, Heidelberg, New York; 1977.
69. Meisel, K.-H. Integrierter Sensoreinsatz bei Industrieroboteranwendungen - Konzept und Realisierungsmethoden für die Robotersteuerung; Dissertation, U Saarbrücken; 1986.
70. Mertins, K. Entwicklungsstand flexibler Fertigungssysteme - Linien-, Netz- und Zellenstrukturen; Zwf 80(1985)H.6, S.249-264.
71. Mertins, K. Steuerung rechnergeführter Fertigungssysteme; Produktionstechnik-Berlin Bd.37; Carl Hanser Vlg., München; 1985.

- 72. Mertens, P. Expertensysteme in den betrieblichen Funktionsbereichen - Chancen, Erfolge, Mißerfolge; In /141/.
- 73. Michel, W.
Bergmann, K. Überwachungs- und Diagnosefunktionen für eine flexible Fertigungszelle; Industrie-Anzeiger -(1987)H.61/62, S.38-39.
- 74. Miese, M. Systematische Montageplanung in Unternehmen mit Einzel- und Kleinserienproduktion; Dissertation, RWTH Aachen; 1973.
- 75. Milberg, J.
Groha, A. Der Zellengedanke als Strukturierungsprinzip im Informations- und Materialfluß flexibler Fertigungssysteme; ZWF 81(1986)H.12, S.682-687.
- 76. Mollath, G.
Linnemann, H. Grundsatzüberlegungen zum Einsatz von integrierten Diagnose- und Überwachungssystemen; In /123/.
- 77. Morach, W. Flexibilität in der automatischen Serienmontage; Werkstatt und Betrieb 121(1988)H.6, S.483-486.
- 78. Müller, U. Planung einer wirtschaftlichen Qualitäts- und Funktionsüberwachung in der Einzel- und Serienfertigung; Fortschritt-Bericht Reihe 2 Nr.73; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1984.
- 79. Neumann, F. Auswirkung von alphanumerischen Bildschirmdarstellungen auf die Arbeitsbelastung; Dissertation, TU Berlin; 1984.
- 80. N.N. Lexikon der Produktionsplanung und -steuerung, VDI-Taschenbuch T77; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1983.
- 81. N.N. Einsatzmöglichkeiten von flexibel automatisierten Montagesystemen in der industriellen Produktion; Schriftenreihe "Humanisierung des Arbeitslebens Bd.61; VDI Vlg., Düsseldorf; 1984.
- 82. N.N. Produktionsüberwachung: Wissen, was läuft; elektrotechnik 70(1988)H.13, S.36-38.

- 83. N.N. Wissensbasierte Systeme in der industriellen Fertigung, Fachtagung Ulm; gfmt-Gesellschaft für Management und Technologie; München; 1989.
- 84. N.N. Kongreßband 8. Deutscher Montagekongreß 1988; Vlg. Moderne Industrie, München; 1988.
- 85. N.N. Sensoren für die Fertigungstechnik, Marktübersicht; Infratest Industrie, München; 1985.
- 86. Nolting, F.-W. Projektierung von Montagesystemen; Carl Hanser Vlg., München, Wien; 1988.
- 87. Oestreicher, Th. Rechnergestützte Projektierung von Steuerungssystemen; Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe, Bd.9; U Karlsruhe, Karlsruhe; 1986.
- 88. Petry, J. Speicherprogrammierbare Steuerungen, Projektierung und Programmierung; Dr. Alfred Hüthig Vlg., Heidelberg; 1988.
- 89. N.N. INTERBUS Produktbeschreibung; Fa. Phoenix Contact, Blomberg; 1987.
- 90. N.N. Tool Monitor System; Prospekt der Fa. PROMETEC, Aachen; 1986.
- 91. Raczkowsky, J. Multisensorik für ein Robotersystem; Robotersysteme -(1988)H.4, S.53-62.
- 92. Reisch, D. Die Berücksichtigung der Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsanforderungen bei der Planung von Maschinensystemen; Dissertation, U Hannover; 1978.
- 93. Reis, W. Wissen speichern; Maschinenmarkt 94(1988)H.34, S.50-53.
- 94. Righetti, G. Cremonini, M.G. The DAISY environment and the expert system GUESS; In / 34/.
- 95. Röcker, F. Automatische Diagnose durch strukturierte Programmierung; In /122/.
- 96. Roschmann, K. u.a. Betriebsdatenerfassung in Industrieunternehmen; Vlg. Moderne Industrie, München; 1979.

97. Roschmann, K. Fertigungssteuerung - Einführung und Überblick; Carl Hanser Vlg., München, Wien; 1980.
98. Schaefer, E. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit in der Elektronik; Vogel-Vlg., Würzburg; 1979.
99. Shaw, M.C. Unix V and Xenix System V Programmers's Tool Kit; TAB Books Inc., Blue Ridge Summit, USA; 1986.
100. Schlaich, G. CADLAS - eine rechnergestützte Methode für die Layouterstellung von automatischen Montagesystemen; VDI-Z 127(1985)H.20, S.808-810.
101. Schlüter, K. Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen durch den Einsatz der Simulationstechnik; Carl Hanser Vlg., München, Wien; 1989.
102. Schmidt, G.
Steusloff, H.
(Hrsg.) INTERKAMA Kongreß 89: Mit vernetzten, intelligenten Komponenten zu leistungsfähigeren Meß- und Automatisierungssystemen; R. Oldenbourg Vlg., München; 1989.
103. Schmidt, H. Anforderungen der Betreiber an die Diagnosetechnik; In /123/.
104. Schneider, H.-J. Erhöhung der Verfügbarkeit von hochautomatisierten Produktionseinrichtungen mit Hilfe der Fertigungsleittechnik; Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe Bd.17; U Karlsruhe, Karlsruhe; 1988.
105. Schneider, H.-J.
(Hrsg.) Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung; R. Oldenbourg Vlg., München, Wien; 1986.
106. Schwager, J. Diagnose steuerungsexterner Fehler an Fertigungseinrichtungen; ISW Forschung und Praxis Bd.48; Springer-Vlg., Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo; 1983.
107. Schweizer, M. Japanische Montagestrategien; In / 84/.

108. N.N. Bedienen und Beobachten (B+B), Einheitliches Bedienen und Beobachten für die Automatisierungs-Systeme, Katalog ST8.A; Siemens AG, Nürnberg; 1988.
109. N.N. DIMOS-S5 115U, Diagnose- und Monitorsystem, Betriebs- und Programmieranleitung; Siemens AG, Erlangen; 1985.
110. N.N. ET 100U, Intelligente Klemme, Katalog ST 54.2; Siemens AG, Nürnberg; 1986.
111. N.N. Software für Automatisierungsgeräte der U-Reihe und für Programmiergeräte, Katalog ST 57; Siemens AG, Nürnberg; 1986.
112. Sinning, H. CNC-Steuerungen für Industrieroboter mit mehreren Bewegungsachsen; ZWF 72(1977)H.4, S.177-181.
113. Spur, G.
u.a. Grundlagen der Prozeßautomatisierung für die Fertigung, Forschungsbericht KfK-PDV 86; Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe; 1976.
114. Stark, G. Operational Control for Robot Integration into CIM and its Applications; Symposium Preprint: IFAC Conference SYROCO (Symposium on Robot Control), Karlsruhe; 1988.
115. Steusloff, H. Strukturen und Schnittstellen zur Rationalisierung des Entwurfs von Anwendersystemen der Prozeßautomatisierung; In /119/.
116. Storr, A. Steuerungsbeschreibung und Diagnoseprogrammerstellung mit Zustandsgraphen; In /123/.
117. Streifinger, E. Beitrag zu Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel; iwb Forschungsberichte Bd.1; Springer-Vlg., Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo; 1986.
118. Stute, G.
u.a. Prozeßüberwachung in flexiblen Fertigungssystemen; Forschungsbericht KfK-PDV 148; Kernforschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe; 1978.

119. Syrbe, M.
Thoma, M.
(Hrsg.) Fortschritte in der Meß- und Automatisierungstechnik durch Informationstechnik; Fachberichte Messen Steuern Regeln, Bd.14; Springer-Vlg., Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo; 1986.
120. Tuffentsammer, K.
u.a. Flexibles Fertigungssystem, Beiträge zur Entwicklung eines Produktionsprinzips; VCH Verlagsges., Weinheim; 1988.
121. N.N. VDI-Berichte 364, Überwachung und Regelung von Fertigungsprozessen, Tagung Fellbach 1980; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1980.
122. N.N. VDI-Berichte 481, Speicherprogrammierbare Steuerungen; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1983.
123. N.N. VDI-Berichte 586, Speicherprogrammierbare Steuerungsgeräte, Vom Einzelgerät zum dezentralen Automatisierungssystem; VDI Vlg., Düsseldorf; 1986.
124. VDI 2860 Richtlinie, Montage- und Handhabungstechnik, Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen, Begriffe, Definitionen, Symbole; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1982.
125. VDI 2880 Richtlinie, Blatt 4, Speicherprogrammierbare Steuerungsgeräte, Programmiersprachen; VDI-Vlg., Düsseldorf. 1985.
126. VDI 4004 Richtlinie, Blatt 1, Zuverlässigkeitskenngrößen - Übersicht; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1986.
127. VDI 4004 Richtlinie, Blatt 2, Zuverlässigkeitskenngrößen - Überlebenskenngrößen; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1986.
128. VDI 4004 Richtlinie, Blatt 3, Kenngrößen der Instandhaltbarkeit; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1986.
129. VDI 4004 Richtlinie, Blatt 4, Zuverlässigkeitskenngrößen - Verfügbarkeitskenngrößen; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1986.

130. Viehweger, B.
Wieneke, B. Rechnerunterstützte Planungshilfen
für Fertigungssysteme; ZWF
81(1986)H.1, S.23-28.
131. Vossloh, M. Modelgestützte Früherkennung und
wissensgestützte Diagnose von Feh-
lern an Werkzeugmaschinen, beispiel-
haft dargestellt an Drehmaschinen;
Carl Hanser Vlg., München, Wien;
1988.
132. Walther, J. Systematische Planung flexibel auto-
matisierter Montageanlagen; VDI-Z
127(1985)H.9, S.313-318.
133. Warnecke, H.-J. Möglichkeiten und Grenzen der Pro-
duktionsautomatisierung; In /102/.
134. Warnecke, H.-J.
Frankenhauser,
Weisener, Th. Methoden zum Toleranzausgleich bei
der Montage von Schläuchen mit In-
dustrierobotern; wt Werkstatt-
technik 78(1988), S.187-192.
135. Weck, M.
Niehaus, Th.
Osterwinter, M. Graphisch interaktives Programmier-
und Testsystem für Industrieroboter;
Robotersysteme -(1986)H.2,
S.193-201.
136. Westkämper, E. Einsatzmöglichkeiten für Expertensy-
steme in der integrierten und auto-
matisierten Fertigung; In /141/.
137. Weule, H. Expertensysteme in der Produktions-
technik; Vortragsband Fertigungs-
technisches Kolloquium FTK,
Stuttgart 1988, S.96-103.
138. Wiendahl, H.-P.
Ziersch, W.-D. Verfügbarkeitssteigerung automa-
tischer verketteter Montagesysteme;
Schweizer Maschinenmarkt
-(1982)H.35, S.34-38.
139. Wiendahl, H.-P.
Winkelhake, U. Betriebskennwerte, die Informations-
schnittstelle im Montagebereich;
Technische Rundschau -(1988)H.5,
S.20-25.
140. Wiendahl, H.-P.
Walenda, H.
Mayer, C. Diagnose des Betriebsverhaltens ver-
ketteter automatischer Montageanla-
gen auf der Basis eines Expertensy-
stems; ZWF 83(1988)H.1, S.40-45.
141. Wildemann, H.
(Hrsg.) Expertensysteme in der Produktion;
gfmt-Gesellschaft für Management und
Technologie, München; 1987.

142. Wildemann, H. Expertensysteme als CIM-Baustein, Betriebswirtschaftlich-technologische Anforderungen an wissensbasierte Systeme in der Produktion; In /141/.
143. Winkelhake, U. Permanente Maschinendatenerfassung automatischer Montageanlagen; Fortschritt-Berichte VDI Reihe 2: Fertigungstechnik, Nr.167; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1989.
144. Wratil, P. Speicherprogrammierbare Steuerungen in der Automatisierungstechnik; Vogel Buchvlg., Würzburg; 1989.
145. Zeppelin, W.v. Klauss, W. Vorbeugen ist besser als heilen: Diagnostizieren direkt an CNC-Drehmaschinen erhöht Verfügbarkeit; Maschinenmarkt, Würzburg 90 (1984) H.78, S.1760-1763.
146. Ziersch, W.-D. Strategien zur Leistungssteigerung von automatischen Montageanlagen durch zuverlässige Zuführsysteme; VDI Fortschritt-Berichte Nr.85; VDI-Vlg., Düsseldorf; 1985.
147. Zimmermann, R. Gestaltung von Mensch-Maschine-Kommunikationssystemen, Anthropotechnische Grundlagen, Forderungen und Empfehlungen; Forschungsbericht KfK-PDV 38; Kernforschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe; 1975.
148. Zrimec, T. Mowforth, P. An experiment in generating deep knowledge for robots; In / 33/.
149. Zülch, G. Simulationsverfahren in der Anwendung, Teil 2: Simulation einer auftragsabhängigen Anlagenmontage; wt-Z.ind.Fertig. 75 (1985), S.377-380.

Lebenslauf

Persönliches

Name	Frank Oswald H a k e
geboren	05. Mai 1960 in Wuppertal
akad. Grad	Dipl.-Ing.
Eltern	Dr. med. Hilda Hake Dr.-Ing. Oswald Hake M.Sc.

Berufstätigkeit

1985 - 1990	wissenschaftlicher Angestellter Friedrich-Alexander-Universität, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, Erlangen
-------------	---

Ausbildung

1965 - 1969	Grundschulen in Remscheid, Hamburg, Puebla/Mexico, Hamburg
1969 - 1978	Gymnasien in Neunkirchen, Kronach, Villingen Reifeprüfung 1978
1979 - 1985	Universität Stuttgart Studium der Fachrichtung Maschinenbau Diplomprüfung 1985
Praktikum	Firma SABA GmbH, Villingen Firma Daimler-Benz AG, Stuttgart Firma Gustav Müller, Ludwigsburg Firma Robert Bosch GmbH, Stuttgart

Militärdienst

1978 - 1979	Allgemeine Wehrpflicht
-------------	------------------------

Reihe

Fertigungstechnik

Erlangen

Band 1

Andreas Hemberger

Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion durch wissensbasierte Systeme

208 Seiten, 107 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 2

Detlef Classe

Beitrag zur Steigerung der Flexibilität automatisierter Montagesysteme durch Sensorintegration und erweiterte Steuerungskonzepte

194 Seiten, 70 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 3

Friedrich-Wilhelm Nolting

Projektierung von Montagesystemen

201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tabelle. 1989.

Kartoniert.

Band 4

Karsten Schlüter

Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen durch den Einsatz der Simulationstechnik

177 Seiten, 97 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 5

Shir-Kuan Lin

Aufbau von Modellen zur Lageregelung von Industrierobotern

168 Seiten, 46 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 6

Rudolf Nuss

Untersuchungen zur Bearbeitungsqualität im Fertigungssystem

Laserstrahlschneiden

206 Seiten, 115 Bilder, 6 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 7

Wolfgang Scholz

Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen

194 Seiten, 89 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 8

Hans-Jürgen Wißmeier

Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhaltens von Hartmetall-Fließpreßmatrizen

179 Seiten, 99 Bilder, 9 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 9

Rainer Eisele

Konzeption und Wirtschaftlichkeit von Planungssystemen in der Produktion

183 Seiten, 86 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 10

Rolf Pfeiffer

Technologisch orientierte Montageplanung am Beispiel der Schraubtechnik

198 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990. Kartiert.

Band 11

Herbert Fischer

Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitätssteigerung der rechnerintegrierten Teilefertigung

182 Seiten, 82 Bilder. 1990. Kartiert.

Band 12

Gerhard Kleinsidam

CAD/CAP : Rechnergestützte Montagefeinplanung

203 Seiten, 107 Bilder. 1990. Kartiert.

Band 13

Frank Vollertsen

Pulvermetallurgische Verarbeitung eines übereutektoiden verschleißfesten Stahls

XIII + 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990. Kartiert.

Band 14

Stephan Biermann

Untersuchungen zur Anlagen- und Prozeßdiagnostik für das Schneiden mit CO₂ - Hochleistungslasern

VIII + 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tabellen. 1991. Kartiert.

Band 15

Uwe Geißler

Material- und Datenfluß in einer flexiblen Blechbearbeitungszelle

124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tabellen. 1991. Kartiert.

Band 16

Frank Oswald Hake

Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems für automatisierte Montagezellen

XIV + 166 Seiten, 77 Bilder. 1991. Kartiert.