

Bernd Zöllner

*Adaptive Diagnose  
in der Elektronikproduktion*





Bernd Zöllner

*Adaptive Diagnose  
in der Elektronikproduktion*

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 Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung:	6. Oktober 1994
Tag der Promotion:	10. Februar 1995
Dekan:	Prof. Dr. Dr. h. c. F. Durst
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann Prof. Dr.-Ing. habil. K.-J. Wolter

Die Deutsche Bibliothek - CIP - Einheitsaufnahme

**Zöllner, Bernd:**

Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion / Bernd

Zöllner. - München : Hanser, 1995

(Fertigungstechnik - Erlangen ; 45)

Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 1995

ISBN 3-446-18308-6

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 1995

Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf

Printed in Germany

## **Vorwort**

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

Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann, dem Leiter dieses Lehrstuhls am Institut für Fertigungstechnik, danke ich für die großzügige Förderung bei der Durchführung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. K.-J. Wolter, Institut für Elektroniktechnologie der Technischen Universität Dresden, danke ich für die Übernahme des Korreferates, die fachlichen Anregungen und Verbesserungsvorschläge.

Weiterhin danke ich meinen Kollegen für die fachlichen Diskussionen, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Jörg Franke, Herrn Dipl.-Ing. Stefan Krug, Herrn Dipl.-Ing. Jürgen Sturm und Herrn Dipl.-Ing. Stefan Walter sowie der Forschungsgruppe für Elektronikproduktion. Weiterer Dank gilt den Studenten und wissenschaftlichen Hilfskräften, die durch ihre Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Hier sind besonders Herr Dipl.-Inf. Dieter Bissert, Frau Dipl.-Inf. Nicole Kühbacher, Herr Jürgen Neubauer, Herr Dipl.-Inf. Hans Reil und Herr Dipl.-Inf. Thomas Reißer zu nennen, die durch ihre gewissenhafte Unterstützung bei der Realisierung zur Seite standen.

Ferner gilt mein Dank Frau Marianne Düber, die der Arbeit den stilistischen Feinschliff gab und mit Beharrlichkeit dem Fehlerteufel auf der Spur war.

Mein ganz besonderer Dank gilt jedoch jetzt und gleichfalls während der gesamten Entstehung der Arbeit meiner Frau Beate, die mich stets bestärkte und Verständnis zeigte sowie meinen beiden Söhnen Alexander und Stefan.

Bernd Zöllner



**Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion****– Inhaltsverzeichnis –**

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation und Defizite .....	2
1.2	Ziel und Vorgehensweise .....	4
<b>2</b>	<b>Einsatz rechnergestützter Systeme zur technischen Diagnose .....</b>	<b>7</b>
2.1	Kenngrößen der Verfügbarkeit flexibler Montagesysteme .....	8
2.2	Verfügbarkeitsuntersuchung von SMT-Bestückungsanlagen in der Elektronikfertigung .....	12
2.3	Auswirkungen von Störungen in einem Industrieunternehmen .....	15
2.4	Ziele der Systemüberwachung und Diagnose .....	20
2.4.1	Abbildung der Diagnoseaufgaben auf die Unternehmensstruktur ....	20
2.4.2	Charakterisierung der Arbeitsschritte in der Elektronikmontage ....	24
2.4.3	Informationsgewinnung zur Diagnose .....	27
2.5	Randbedingungen bei der Überwachung und Diagnose .....	30
2.6	Entwicklungslinien rechnergestützter Überwachungs- und Diagnosesysteme .....	32
2.6.1	Diagnoseverfahren und Einsatzbeispiele technischer Diagnosesysteme .....	33
2.6.2	Methoden zur Akquisition technischen Wissens .....	39
<b>3</b>	<b>Systematische Vorgehensweise zur Akquisition und Repräsentation planerischen Wissens für die Diagnose .....</b>	<b>42</b>
3.1	Die Funktionseinheiten eines Diagnosesystems .....	43
3.1.1	Die Systemkomponente Überwachung .....	46
3.1.2	Die Systemkomponente Diagnose .....	49
3.1.3	Maßnahmen .....	51
3.1.4	Systemintegration und Schnittstellen .....	51

3.2	Integration der Wissensakquisition in ein Diagnosesystem .....	53
3.3	Rationalisierungspotentiale in der Wissensakquisition und -verarbeitung .....	56
3.3.1	Schnittstellenfreie Akquisition von Expertenwissen .....	58
3.3.2	Nutzung weiterer Informationsquellen für den Aufbau einer Wissensbasis .....	60
3.4	Abbildung der Ursache-Wirkungsrelationen .....	60
3.4.1	Systemkonzept zur schnittstellenfreien Wissensakquisition .....	61
3.4.2	Realisierung des Systemmoduls zur Wissensakquisition .....	66
3.4.3	Aufbau und Strukturierung der Datenbasis .....	71
<b>4</b>	<b><i>Bewertung präventiven Fehlerwissens zum Aufbau eines adaptiven Diagnosesystems</i></b> .....	<b>75</b>
4.1	Validierung des Fehlerspektrums für die Diagnose .....	76
4.2	Systemkonzept zur Validierung des Fehlerspektrums .....	78
4.3	Systemkomponente zur Qualifizierung und Quantifizierung des Fehlerspektrums .....	81
<b>5</b>	<b><i>Fehlertolerante Systeme durch Fehlerprävention und Diagnose</i></b> ...	<b>86</b>
5.1	Systemtechnische Gliederung der Problemfelder in der Montage ....	87
5.2	Interne Systemfaktoren einer Montageanlage .....	90
5.2.1	Optimierte Produktgestaltung .....	90
5.2.2	Sicherung von Prozessen .....	92
5.2.3	Gestaltung von Montagesystemen .....	95
5.3	Externe Systemfaktoren einer Montageanlage .....	99
5.3.1	Anforderungen an die Fügeteile .....	100
5.3.2	Einflüsse aus der Umgebung .....	100
5.3.3	Regelstrecke Mensch .....	101
5.4	Methoden zur Fehlerprävention .....	103
5.5	Mechanismen zur diagnosegesteuerten Fehlerbehebung .....	105
<b>6</b>	<b><i>Rückführung des Betriebs- und Prozeßverhaltens in den planenden Bereich</i></b> .....	<b>109</b>
6.1	Optimierung des Systemverhaltens mit begleitender Simulation ....	109

6.2	Verbesserte Planung durch Systemverbund zwischen PPS, Leitstand und Diagnose .....	111
6.3	Integration der Diagnose in eine übergreifende Qualitätssicherung .....	113
6.4	Systemkonzept zur Rückführung von Betriebs- und Prozessinformationen .....	114
<b>7</b>	<b>Realisierung und Einsatz des Diagnosesystems FactoryLinker ....</b>	<b>117</b>
7.1	Systemkonzept des adaptiven Diagnosesystems .....	118
7.2	Kommunikationsmodule zur Datenerfassung und -übertragung auf der Montageanlagenebene .....	121
7.2.1	Leistungsmerkmale der Kommunikationsmodule .....	122
7.2.2	Hardwarekomponenten und Systemintegration .....	123
7.2.3	Sicherungsverfahren für die Datenerfassung und -übertragung ....	123
7.2.4	Die zentrale Konfigurierung der Datenerfassungseinheiten .....	125
7.3	Generierung des Diagnosesystemkerns für den Diagnosemanager .....	126
7.4	Regelkreismodell zur adaptiven Diagnose .....	130
7.5	Die Informationsverarbeitung auf der Montageanlagenebene mit dem Diagnosemanager .....	132
7.5.1	Überwachung und Abbildung der Anlagenzustände .....	133
7.5.2	On-line-Diagnose an Montageanlagen .....	134
7.5.3	Protokollierung der Einsatz- und Diagnosedaten .....	139
7.6	On-line Datenaustausch zwischen der Montageleitebene und der Planungsebene .....	139
7.6.1	Konventionen temporär statischer Daten .....	142
7.6.2	Rückführung kumulierter Datensätze .....	142
7.6.3	Rückführung temporär dynamischer Daten .....	143
7.6.4	Übertragung von Strukturdaten an den Diagnosemanager .....	143
7.7	Die Informationsverarbeitung auf der Planungsebene .....	144
7.7.1	Adaptierbare Mensch-System-Schnittstelle .....	144
7.7.2	System zur Analyse von Diagnose- und Einsatzdaten .....	146
7.7.3	Unterstützung der Auslastungsoptimierung flexibler Montagesysteme .....	150
7.7.4	Technische Optimierung flexibler Montagesysteme durch gesicherte Basisinformationen .....	152
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>155</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>157</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>172</b>





## 1 Einleitung

Die im Laufe der Zeit gewachsenen Produktionsstrukturen resultieren unter anderem aus den verschärften Bedingungen auf dem Weltmarkt, denen Unternehmen in Ländern mit hohem Lohnniveau verstärkt ausgesetzt sind. Diese Bedingungen zwingen Unternehmen neben organisatorischen Maßnahmen, wie die Flexibilisierung der Arbeitszeit, zur Steigerung der Produktivität durch den vermehrten Einsatz hochautomatisierter Fertigungsanlagen. Solche Maßnahmen sind bedeutsam vor dem Hintergrund, daß sich der Wettbewerb auf den Märkten zukünftig zu einem Zeitwettbewerb entwickeln wird [133]. Zum Ausbau oder zur Festigung bestehender Marktpositionen werden in der Produktion modernste Mikroelektronik und Datenverarbeitung eingesetzt. Die breiten Bestrebungen, die Qualität von Produkten und Dienstleistungen zu steigern, wird neben den Mitteln der schlanken Produktion [85, 142] mit kontinuierlichen Verbesserungsprozessen [17, 101] verfolgt. Dies führt in allen Produktionsbereichen zu Entwicklungen von Betriebsmitteln, bei denen die Hauptanforderung auf Zuverlässigkeit, Geschwindigkeit und Flexibilität liegt. Durch die steigende Flexibilität der Anlagen werden diese sowohl in den Einzelkomponenten selbst als auch in ihrer Gesamtstruktur zunehmend komplexer. Daraus folgt, daß zur Beherrschung der Produktionsstrukturen immer weiter verbesserte und ausgereifere Planungs-, Steuerungs- und Überwachungsmethoden entwickelt werden müssen.

Die Komplexität der Fertigungsanlagen führt jedoch zu höheren Störraten. Diese treten weniger in den steuerungstechnischen Komponenten wie Rechner und speicherprogrammierbaren Steuerungen auf, sondern vielmehr im Bereich der Werkzeug- und Werkstückhandhabung, dem organisatorischen Bereich und den technologischen Prozessen. Die Folgen sind Einbußen in der Nutzung der kapitalintensiven Fertigungsanlagen sowie in der Qualität der gefertigten Produkte. [31] Der erhöhte Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad bringt eine leistungswirtschaftliche Integration der einzelnen Produktionsmittel mit sich. Deshalb gefährden Störungen eines Maschinenteils oder eines Prozesses den Betrieb einer kompletten Anlage. Durch die Bestrebungen der minimalen Lagerhaltung von Material vor Ort sowie der Reduzierung der Pufferbestände kann sich daraus unter Umständen der Stillstand einer kompletten Fertigungslinie ergeben.

Die gesamtheitliche Betrachtung eines Fertigungsbetriebes mit seinen unterschiedlichen Aufgaben- und Funktionsbereichen läßt erkennen, daß vermehrt auftretende Störungen nicht nur zu Beeinträchtigungen im Fertigungsbereich führen, sondern zusätzlich Rückwirkungen auf den gesamten dispositiven Bereich zur Folge haben. Dies führt zu zeitlich verkürzten Planungsperioden für die Umlanung von Kapazitäten, Auftragsreihenfolgen und -einlastungen, die die Planungsarbeit zunehmend erschwert und komplizierter werden läßt. Zeitliche Verzögerungen in der Generierung und Übermittlung der Informationen über das Fertigungsgeschehen beeinträchtigen die Erfüllung dieser Aufgabe zusätzlich.

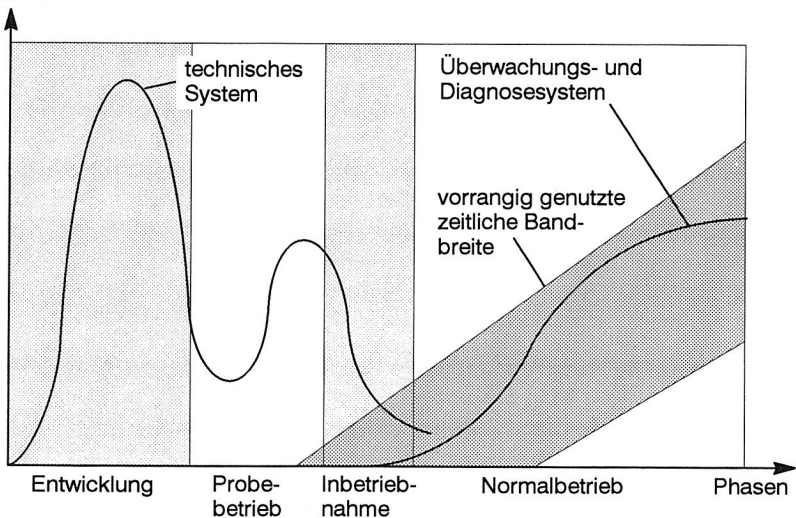
Informationen über das reale Einsatzverhalten der Montageanlagen sowie über qualitätsbeeinflussende Änderungen und Drifts bei technologischen Prozessen müssen aus diesen Gründen stärker als bisher bereichsübergreifend erfaßt und konsequent zur Schaffung einer transparenten Überwachung und Diagnose herangezogen werden. Auf der Basis gesicherter Daten und Erkenntnisse führen diese Maßnahmen zur Optimierung in der technischen Systemplanung sowie der Planung und Disposition.

## 1.1 Ausgangssituation und Defizite

Die Sicherung der Verfügbarkeit von Fertigungs- und Montagesystemen stellt ungeachtet aller zeitlichen Philosophieströmungen wie beispielsweise die Losgrößenfertigung, CIM, Just-in-Time oder Lean Produktion, ein fortwährendes Kernthema für alle produzierenden Betriebe dar. Die permanente Herausforderung, ausgelöst durch sich schnell ändernde Marktbedingungen und technische Innovationsschübe, verlangt von den Anlagenbetreibern einen Prozeß der ständigen Überwachung und Verbesserung, wobei jedoch der Aufwand immer in einem vernünftigen Verhältnis zum Nutzen stehen muß.

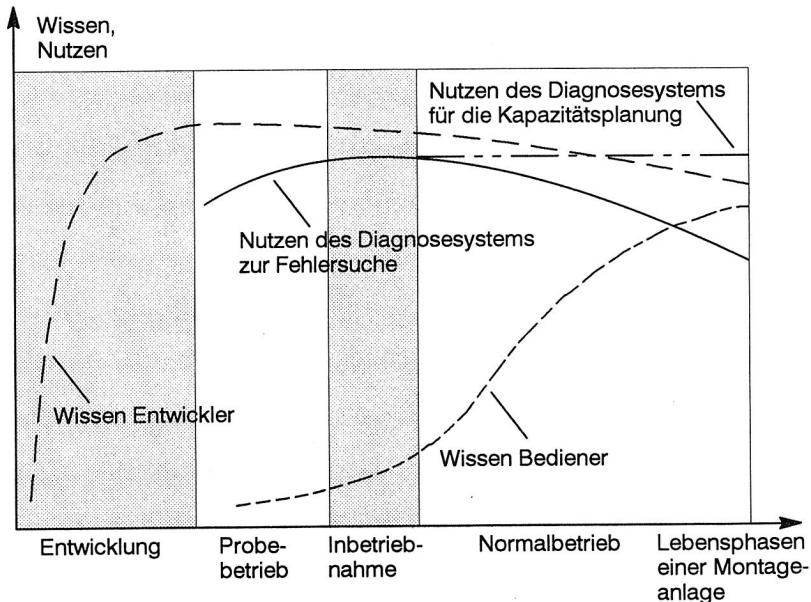
Bereits zum heutigen Zeitpunkt beträgt der Entwicklungsanteil für Diagnosefunktionen zwischen 15 und 30% der gesamten Softwareentwicklung. [99] Dieser An-

Entwicklungsaufwand



**Bild 1-1:** Die überwiegend zeitlich versetzte Entwicklung eines Überwachungs- und Diagnosesystems stellt ein Defizit der Gesamtentwicklung technischer Systeme dar

teil rührt vorrangig aus der Erarbeitung der kausalen oder assoziativen Beziehungen zwischen den Fehlerarten und den Problemlösungsstrategien. Vor diesem Hintergrund steigt die Bedeutung der konsequenten Nutzung von Informationen, die während der Entwicklung des technischen Systems verfügbar sind, weiter an. Gerade im Aufwand für die Entwicklung der Überwachungs- und Diagnosefunktionalitäten müssen Rationalisierungspotentiale erschlossen werden, die zur Zeit in einem hohen Maße ungenutzt in Papierstapeln versinken.



**Bild 1-2:** Nutzen eines Diagnosesystems in Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussfaktoren und Zeitphasen

Wird die Realität der Montage- oder Fertigungssystementwicklung betrachtet, so werden die Überwachungs- und Diagnosefunktionalitäten in der Regel mit einem häufig großen zeitlichen Verzug entwickelt (Bild 1-1). Falls unterschiedliche Personengruppen für die Entwicklung der Montageanlagen und die Entwicklung des Diagnosesystems zuständig sind, muß zunächst die Inbetriebnahmephase durchlaufen werden, um über das nötige Wissen zu verfügen. Mit dieser Vorgehensweise sind gravierende Defizite verbunden:

- Während der Entwicklungsphase einer Montageanlage liegt ein sehr detailliertes Wissen vor. Bis zur Entwicklung eines Diagnosesystems ist entweder ein Teil des Wissens nicht mehr verfügbar, oder es sind völlig an-

dere Personen an der Entwicklung beteiligt. Die vormalig bekannten Kausalitäten werden dann durch Assoziationen zu ersetzen versucht.

- Die Einführungsphase und damit die Nutzung einer Diagnose setzt zu spät ein (Bild 1-2). Aufgrund des Lernverhaltens und der Erfahrung des Bedienpersonals nimmt der Nutzen eines Diagnosesystems im Laufe der Zeit ab. Der Nutzeffekt ist aber gerade in den frühen Betriebsphasen, wie der Inbetriebnahme einer Montageanlage, von größter Wichtigkeit. Dadurch werden einerseits schon zu einem frühen Zeitpunkt die Stillstandszeiten minimiert und andererseits der Lerneffekt des Bedienpersonals nachhaltig unterstützt.

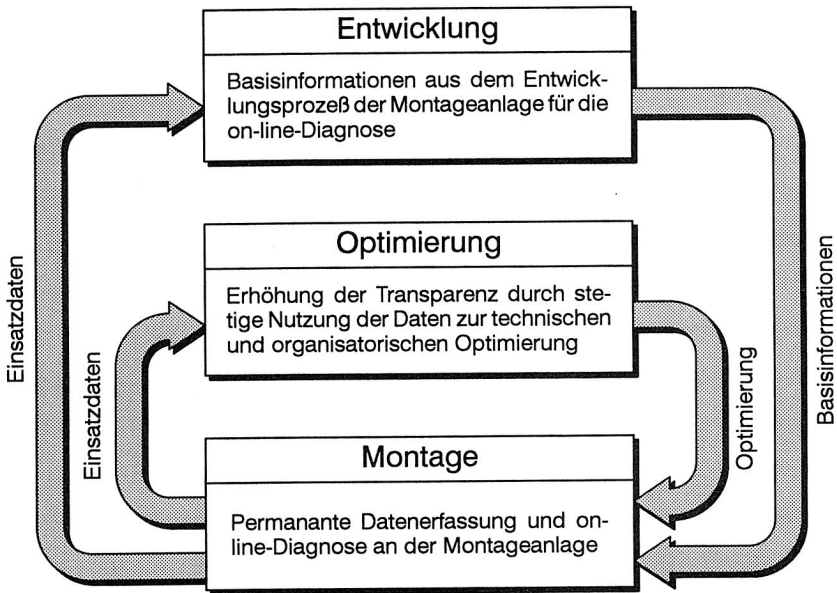
Die Phase der Inbetriebnahme stellt erfahrungsgemäß, selbst nach der Überprüfung der Einzelfunktionsfähigkeit aller beteiligten Komponenten, den Engpaß dar. Die Probleme die auftreten, ergeben sich zumeist aus dem Zusammenwirken der Einzelkomponenten. Die vielfältig gelagerten Ursachen für lange Inbetriebnahmezeiten liegen in sehr viel früheren Phasen. [144]

## **1.2 Ziel und Vorgehensweise**

Entscheidend ist, daß Informationen, die für die Erfüllung der Überwachungs- und Diagnoseaufgaben benötigt werden, schon während der Entwicklungsphase von Montageanlagen rechnergestützt strukturiert und erfaßt werden. Die möglichst frühzeitige und schnittstellenfreie Akquisition von Wissen trägt zu einer erheblichen Rationalisierung bei der Diagnosesystementwicklung bei. In diesem Zusammenhang wird eine Kombination aus der Fehlervermeidung und der Diagnose angestrebt, die eine gegenseitig äußerst sinnvolle Ergänzung beinhalten. Die FMEA-Methode, die ursprünglich als Verfahren der Qualitätssicherung entwickelt wurde, stellt dazu eine gut nutzbare Systematik zur Verfügung. Der Vorteil hierbei liegt darin, daß mit dieser Methode zunächst der Entwicklungsprozeß des technischen Systems unterstützt wird und die detaillierten Informationen anschließend im Betrieb für die Diagnose zur Verfügung stehen.

Die Methode des Simultaneous Engineering führt in der Wissensaufnahme zu einer effizienten und rationellen Informationsaufnahme und -verarbeitung. Synergieeffekte können somit während der Entwicklungsphase auf den späteren realen Betrieb übertragen werden. Wichtig ist, daß die Breite der Informationen bereits während der Inbetriebnahmephase der Montageanlage präsent ist. Durch die Unterstützung des Bedienpersonals mit einer aktiven on-line-Hilfe lassen sich in diesem wichtigen Zeitabschnitt die Stillstandszeiten einer Montageanlage erheblich reduzieren.

Ein weiterer Schritt ist die Archivierung des Wissens in einer Form, die in der späteren Diagnoseanwendung eingesetzt werden kann. Damit werden aufwendige



*Bild 1-3: Die anlagenlebenszeitbegleitende Nutzung der Diagnose durch den frühzeitigen Einsatz und die permanente Adaption*

Konvertierungen erspart, die wiederum selbst Quellen für Fehler beinhalten können. Zur anfänglichen Priorisierung des erfaßten Wissens über Fehlerdaten werden diese mit einem Kennzahlensystem bewertet und im Laufe des Einsatzes ständig aktualisiert. Dies bewirkt ein stetiges adaptives Regelverhalten, indem die Diagnoseentscheidungen ständig an das reale Anlagenverhalten angepaßt werden.

Zur Umsetzung wird eine systematische Methoden entwickelt, um Schwachstellen mit unterschiedlich hohem Einfluß zu analysieren und zu archivieren. Abhängigkeiten und mögliche Einflüsse auf Abläufe in der Fertigung sowie Rückwirkungen auf die Disposition können auf diese Weise schon frühzeitig aufgezeigt werden. Dabei soll diese Methode als eine generelle Möglichkeit genutzt werden, um die Überwachung und Diagnose funktions- und strukturunabhängig einzusetzen.

Die verstärkte Nutzung von Informationen aus der Entwicklungsphase einer Montageanlage bewirkt:

- die Minimierung des Aufwandes zur Entwicklung von Überwachungs- und Diagnosefunktionalitäten,

- den frühen Einsatz des Diagnosesystems schon während der Inbetriebnahmephase der Montageanlage,
- die frühzeitige Unterstützung des Bedienpersonals und damit die Förderung des Lernverhaltens.

Zunächst werden in Kapitel 2 (S. 7) die Kenngrößen der Verfügbarkeit flexibler Montagesysteme dargestellt und die Auswirkungen von Störungen in einem Industrieunternehmen diskutiert. Dies bildet die Grundlage dafür, die Diagnose unter Berücksichtigung wichtiger Randbedingungen an der Unternehmensstruktur abzubilden. Die Entwicklungslinien technischer Diagnosesysteme sowie deren Einsatzfelder werden an beispielhaft realisierten Systemen aufgezeigt.

Die Realisierung eines Diagnosesystems wird von der Entwicklung der Datenbasis des technischen Wissens geprägt. Diese zentrale Aufgabe beeinflusst in hohem Maße die Akzeptanz des Systems. Die Vorgehensweise zur Akquisition und Repräsentation des Fehlerwissens in Kapitel 3 (S. 42) zeigt die Rationalisierungspotentiale auf, die den effizienten Aufbau einer Wissensbasis unterstützen.

Ein wesentlicher Entwicklungspunkt beim Aufbau eines Diagnosesystems vor der oder zeitparallel zur Realisierung der zu überwachenden Montageanlage liegt in der Bewertung des zu erwartenden Fehlerspektrums. Dieses bestimmt zum einen den Informationsbedarf des Systems und zum anderen die Auslegung der on-line-Datenerfassung. Die Methodik und Werkzeuge zur Beurteilung des Fehlerspektrums werden in Kapitel 4 (S. 75) behandelt.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß die möglichst frühzeitige Entdeckung von Fehlern zu einer Minimierung der Kosten führt. Daraus ergibt sich, daß eine Kombination zwischen Fehlervermeidung und Diagnose eine wirksame Methode darstellt, ein Optimum zwischen Aufwand und Nutzen zu erreichen. Der Sachverhalt wird in Kapitel 5 (S. 86) aufgezeigt.

Die Erhöhung der Transparenz von Arbeitsvorgängen in einem Unternehmen unterstützt die Vereinfachung von Planungsaufgaben. Überwachungs- und Diagnoseergebnisse leisten hier einen wichtigen Beitrag, was in Kapitel 6 (S. 109) durch die Bereitstellung von Schnittstellen zur vereinfachten Informationsvermittlung dargestellt ist.

Die abschließende Darstellung in Kapitel 7 (S. 117) zeigt die Umsetzung der entwickelten Methoden in der Realisierung des Diagnosesystems *Diagnosemanager* auf der Montagelebene, das in das System *FactoryLinker* auf der Planungsebene integriert ist. Hier werden in ausführlicher Weise die Methoden der Datenerfassung und -übertragung, die eingesetzten Hardwaremodule, die entwickelten Softwaremodule sowie die Abläufe diskutiert.

## 2 Einsatz rechnergestützter Systeme zur technischen Diagnose

In vielen Bereichen der Montagetechnik haben die veränderten Anforderungen des Marktes zu einem Wandel in der Montagesystementwicklung und des -einsatzes geführt. Durch die Forderung nach Produktvarianten und Integration erhöhter Funktionalitäten steigt die Komplexität der Produkte sowie der einzelnen zu fügenden Teile stetig an. Ein weiterer Faktor ist die schnelle technische Innovation, die eine Abnahme der Produktlebensdauer im Sinne der rascheren technischen Veralterung verursacht, was eine Verkürzung der Entwicklungs- und Fertigungszyklen erfordert.

In früheren Jahren wurden Montageanlagen für spezielle Fügeprozesse entwickelt und ausgelegt. Die Fügeaufgaben konnten so auf Einzelstationen mit zweckgebundenen Aufgaben verteilt werden. Dies trifft vorrangig auf Systeme für die Montage mechanischer Komponenten zu. In der SMT-Elektronikfertigung von Flachbaugruppen hingegen ist die Ausführung eines Fügevorgangs mit spezialisierten Montagesystemen aus technischen und wirtschaftlichen Gründen zu aufwendig. Aus diesem Grund werden die Arbeitsinhalte in flexibel automatisierten Anlagen konzentriert. Vielfältige Montageaufgaben können somit durch Umrüstung von einem einzigen Montagesystem übernommen werden.

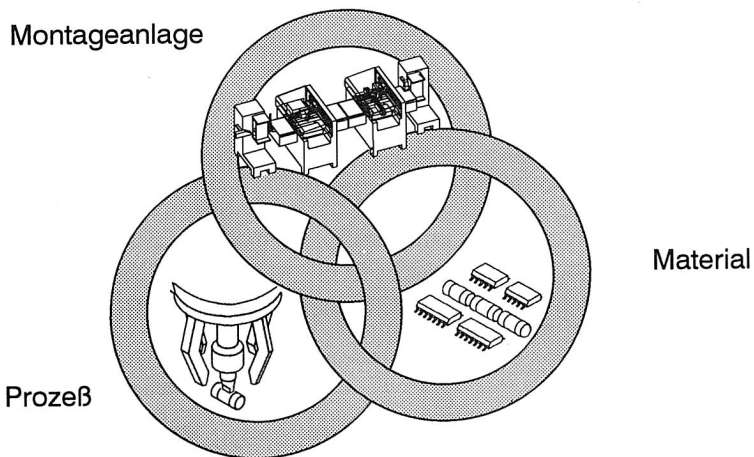


Bild 2-4: Abhängigkeiten der stets an einem Fügevorgang beteiligten Partner

An Fügevorgängen, die auf flexibel automatisierten Montageanlagen ausgeführt werden, sind immer die drei Partner

- ☐ Montageanlage
- ☐ Prozeß und
- ☐ Material

beteiligt. Diese Partner werden einerseits durch die geänderten Marktanforderungen beeinflusst und besitzen andererseits gegenseitige Abhängigkeiten, die sich im Laufe der Zeit ändern können. Aufgrund der Konzentration der Arbeitsinhalte und der komplizierteren Produkte steigen die Komplexität der Montagesysteme, die Formenvielfalt der Materialien (Fügeteile) und letztendlich auch der Schwierigkeitsgrad der Fügeoperationen. Damit nimmt ebenfalls die Auftretenswahrscheinlichkeit für Fehler und Störungen zu. Dies stellt vor allem bei verketteten Anlagen ein hohes Risiko dar, weil der Stillstand eines Anlagenteils die komplette Anlage zum Ausfall bringt.

Entscheidend für die Rentabilität der kostenintensiven, komplexen Montagesysteme ist die Sicherstellung einer hohen Verfügbarkeit. Dazu tragen Diagnosesysteme zur detaillierten Erfassung von Störungs- und Fehlerdaten bei, um so gezielte Informationen über Maßnahmen zur Fehlerbehebung bereitzustellen. Das ständige Wissen über das aktuelle Anlagenverhalten trägt in einem sehr hohen Maße dazu bei, die Transparenz im Montagebereich zu steigern. Für die Sicherung einer hohen Verfügbarkeit ist es notwendig, nicht nur die technischen Ursachen für Fehler zu beheben, sondern auch organisatorische und administrative Fehler zu erkennen und zu minimieren.

## **2.1 Kenngrößen der Verfügbarkeit flexibler Montagesysteme**

Störungen wirken sich im Betrieb der Montagesysteme generell nachteilig auf die Produktivität durch erhöhte Betriebskosten und erhöhten Personalbedarf sowie in der Disposition durch vermehrten Aufwand bei der Terminplanung aus. Weiterhin zwingen die stetig steigenden Investitionskosten für flexibel automatisierte Montagesysteme zu einer optimalen Nutzung der Ressourcen. Die Nutzung kann zum einen durch die Erhöhung der produktiven Laufzeiten in einem festgelegten Zeitintervall, zum Beispiel einer Tagschicht, zum anderen durch die Ausdehnung oder Flexibilisierung der täglichen Betriebszeiten erreicht werden.

Derzeit wird in nur 35% der Unternehmen im Mehrschichtbetrieb gearbeitet. Dies liegt darin begründet, daß zumeist nur größere Unternehmen einen Mehrschichtbetrieb, der zu einer Entkopplung von Arbeits- und Anlagenbetriebszeiten führt, unterhalten können. Trotz individueller Arbeitszeitverkürzung können so die Betriebszeiten gehalten oder sogar ausgedehnt werden. In kleineren Betrieben mit vorwiegend Einschichtbetrieb geht die Arbeitszeitverkürzung demzufolge voll zu Lasten der Maschinen- und Anlagenlaufzeiten. [89]



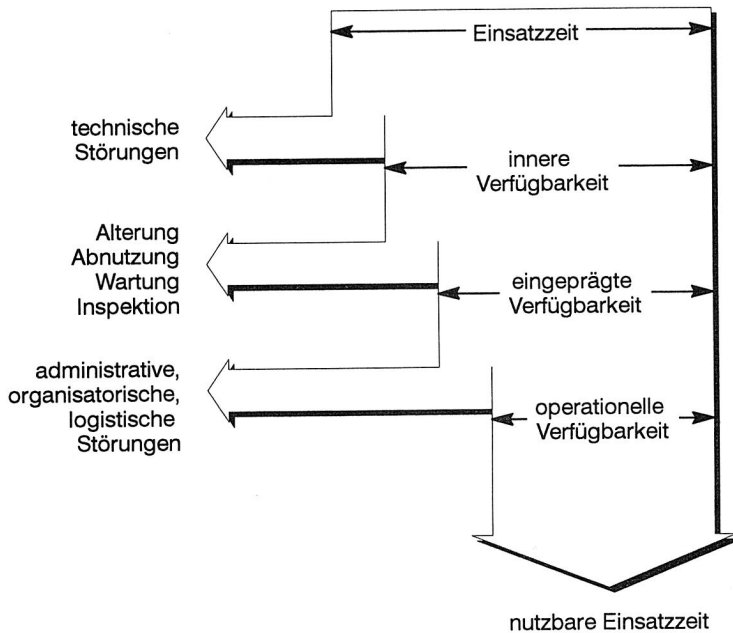
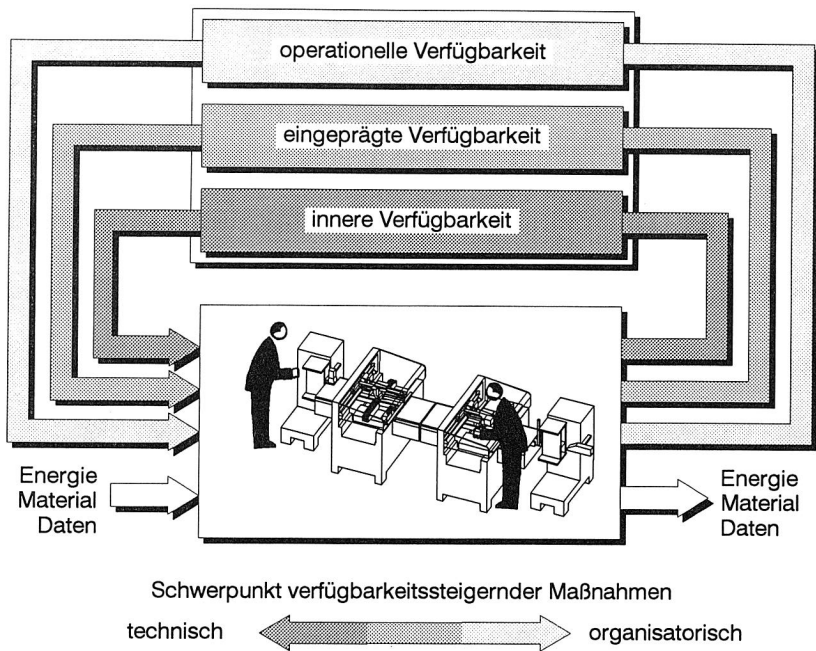


Bild 2-5: Die Strukturierung der Verfügbarkeitsbegriffe nach VDI 4004

Zwei wichtige Eckzahlen, die das Betriebsverhalten von Montagesystemen in einem festgelegten Zeitintervall charakterisieren, sind die Verfügbarkeit und der Nutzungsgrad. Diese beiden Begriffe werden in den Richtlinien VDI 40041, VDI 40042, VDI 4004, VDI 3423, DIN 40041, DIN 40042 sowie DGQ und KOS-LOW in unterschiedlichen Ausprägungen benutzt. [65, 91, 94] Unter dem Begriff der Verfügbarkeit werden zumeist nur technische Ursachen für Störungen verstanden, während bei der Berechnung des Nutzungsgrades auch organisatorische Störungen berücksichtigt werden. In der Definition der Begriffe ergeben sich jedoch vielfältige Überschneidungen, so daß es vorteilhaft ist, nur eine Richtlinie als Vorgabe heranzuziehen.

Der Begriff Verfügbarkeit besagt, daß ein Produktionssystem für die vorgesehene Aufgabe bei Bedarf tatsächlich genutzt werden kann. Im Rahmen der Definition nach VDI 4004 wird die Verfügbarkeit von Montagesystemen unter Berücksichtigung vorzugegebender innerer und äußerer Einflußbedingungen bestimmt. Weitere Verfügbarkeitsgrößen werden in der VDI 4004 definiert, die hierarchisch abgeleitet werden (Bild 2-5). [96]



*Bild 2-6: Optimierung der Verfügbarkeit von Montagesystemen bezüglich technischer und organisatorischer Störungen*

- Bei der inneren Verfügbarkeit werden allein Zeitanteile aufgrund technischer Ursachen für Ausfälle von Montagesystemen betrachtet. Dies ist beispielsweise ein Greiferbruch oder der Ausfall eines Servoantriebes.
- In der eingepägten Verfügbarkeit werden zusätzlich Zeitanteile aufgrund von Verschleißprozessen durch Abnutzung oder Alterung und der damit verbundenen präventiven Maßnahmen berücksichtigt.
- Die operationelle Verfügbarkeit schließt zusätzlich Zeitanteile ein, die durch administrative Störungen wie z.B. fehlende Aufträge, organisatorische Störungen wie z.B. fehlendes Personal und logistische Störungen wie z.B. fehlendes Material verursacht werden.

Der hierarchische Aufbau der Verfügbarkeitsberechnung macht deutlich, daß Montagesysteme zunächst eine gesicherte innere Verfügbarkeit aufweisen müssen, bevor aufwendige Methoden zur Steigerung der eingepägten und operationellen Verfügbarkeit angewendet werden (Bild 2-6). Beurteilungsgrundlage für die gesicherte Verfügbarkeit sind die Maschinen- und Prozeßfähigkeit der Montagesysteme.

In der Fachwelt werden unterschiedliche Begriffe benutzt, um die Ursachen von Verfügbarkeitsminderung an Produktionsmitteln zu beschreiben. Zur Vereinheitlichung sollen die wichtigsten Begriffe eingeordnet werden. In [140] wird die Unterscheidung in Anlehnung an [90] und [91] nach der Auswirkung eingeteilt, die eine Nichterfüllung einer Funktionalität verursacht (Bild 2-7). Der Begriff Fehler soll im Gegensatz zu [140], wo dieser als die geringste Form der Nichterfüllung einer Funktion definiert ist, im folgenden als Sammelbegriff verwendet werden.

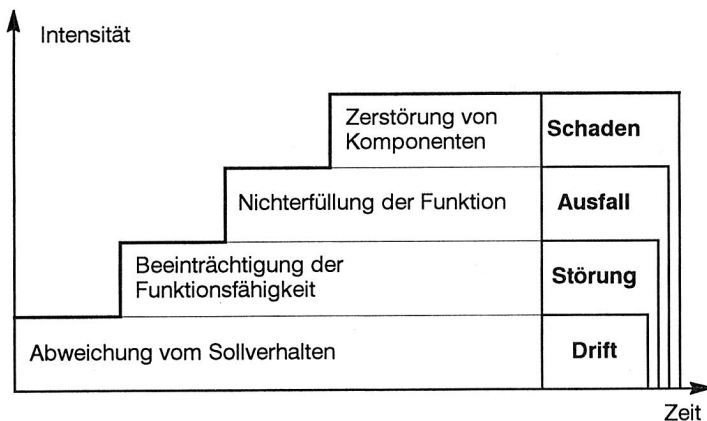


Bild 2-7: Festlegung des Fehlverhaltens von Anlagen nach der Intensität der Auswirkungen [nach 140]

Die wichtigsten Begriffe sind:

- **Drift**  
Die tendenzielle Abweichung von einem Vorgabewert wird als Drift bezeichnet.
- **Störung**  
Eine Störung ist die unabsichtliche Minderung einer Funktionserfüllung (Leistungsabfall) einer Komponente oder eines Systems.
- **Ausfall**  
Ein Ausfall ist die unbeabsichtigte Unterbrechung der Funktionsfähigkeit einer betrachteten Einheit. [90]
- **Schaden**  
Der Schaden ist ein Folgezustand, der aufgrund eines Fehlers verursacht werden kann.

□ **Fehler**

Ein Fehler ist die unvorhergesehene und unzulässige Abweichung eines Merkmals von der Vorgabe. [92]

□ **Zuverlässigkeit**

Unter Zuverlässigkeit wird die Fähigkeit einer Betrachtungseinheit verstanden, die Anforderungen während einer gegebenen Zeitdauer zu erfüllen. [91]

## 2.2 Verfügbarkeitsuntersuchung von SMT-Bestückungsanlagen in der Elektronikfertigung

Die äußerst unterschiedlichen Einsatzbedingungen von Bestückungsanlagen zur Fertigung von SMT-Flachbaugruppen in der Elektronik erfordern eine sehr differenzierte Betrachtungsweise. Aus diesem Grund können keine allgemein gültigen Aussagen über die Verfügbarkeit von Bestückungsanlagen gemacht werden, da hierin die Aussagen zu sehr verfälscht würden. Die äußerst großen Differenzen in den Einsatzbedingungen werden vorrangig von der organisatorischen Führung der Anlagen, dem Anlagenkonzept sowie der Größe der zu fertigenden Lose geprägt.

Eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Begriffe und Berechnungsarten der Verfügbarkeit hat gezeigt, das die operationelle Verfügbarkeit nach VDI 4004 und der Nutzungsgrad nach VDI 3423 als äquivalente Methoden genutzt werden können. [95] Die beiden Begriffe werden in Bild 2-8 charakterisiert.

$N = \frac{T_N}{T_B} = \frac{T_B - T_O - T_A - T_W}{T_B}$	<i>Nutzungsgrad nach DIN 3423</i>
$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MRDP + MRDA}$	<i>Verfügbarkeit nach VDI 4004</i>

*Bild 2-8: Definitionen des Nutzungsgrades nach DIN 3423 und der Verfügbarkeit nach VDI 4004*

In den Definitionen sind Zeiten für organisatorisch und technisch begründete Stillstände sowie Zeiten für Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten enthalten. Da nur die Berücksichtigung dieser Faktoren ein realistisches Abbild des Betriebsverhaltens von Anlagen wiedergibt, wurden diese Definitionen bei der Untersuchung von Bestückungsanlagen zugrunde gelegt.

Die Untersuchungen, die an Bestückungsanlagen der SMT durchgeführt wurden, gingen speziell auf das sequentielle Pick&Place-Prinzip ein. Bei diesem Verfahren wird das aus einem Fördermodul aufgenommene Bauelement jeweils direkt anschließend auf die Leiterplatte gefügt. Die Berechnung der Verfügbarkeit  $A$  (availability) wurde in Abhängigkeit der Losgröße ( $L_g$ ) vorgenommen, so daß sich eine Funktion  $A = f(L_g)$  ergibt.

Insgesamt wurden in den Untersuchungen neun Bestückungsanlagen über einen Zeitraum von 12 Wochen im Zweischichtbetrieb betrachtet. Die Daten wurden automatisch aufgezeichnet und durch manuelle Zusatzeingaben ergänzt.

Das Bild 2-9 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen. Die detaillierte Datenbasis, die der Auswertung zugrunde liegt, ist im Bild 2-10 dargestellt. Die Aufgliederung des Datenbestandes in drei Losgrößenkategorien zeigt, daß die Lose in der Größe 10 bis 49 den größten Anteil darstellen. Die weitere Aufschlüsselung in die Anzahl der Flachbaugruppen und den Anteil der gesamten Arbeitszeit zeigt hingegen ein ausgewogenes Bild.

Wichtig ist dabei festzustellen, wie sich der prozentuale Anteil der Verfügbarkeit mit zunehmender Losgröße vergrößert. Hingegen ändert sich der Anteil der technischen Ausfälle bei einem mittleren Wert von 12% nur um  $\pm 1\%$ , was darauf hin-

Zeitanteile in %

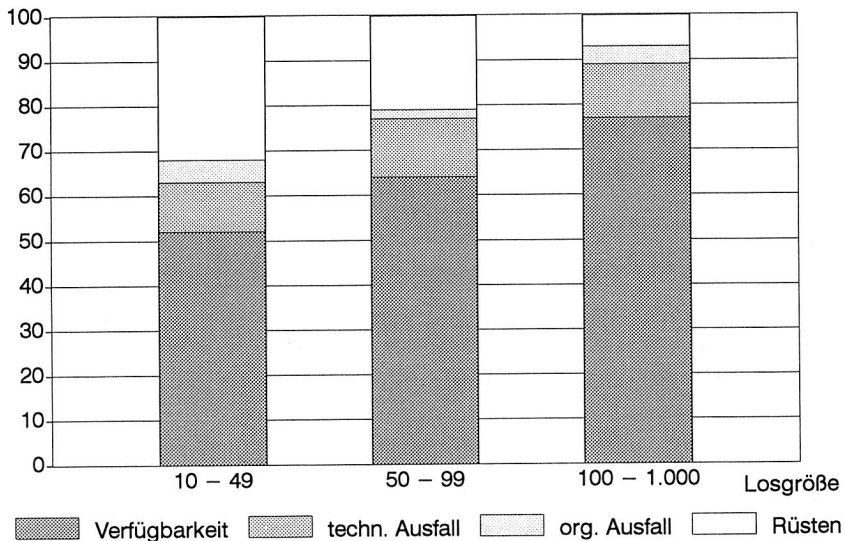
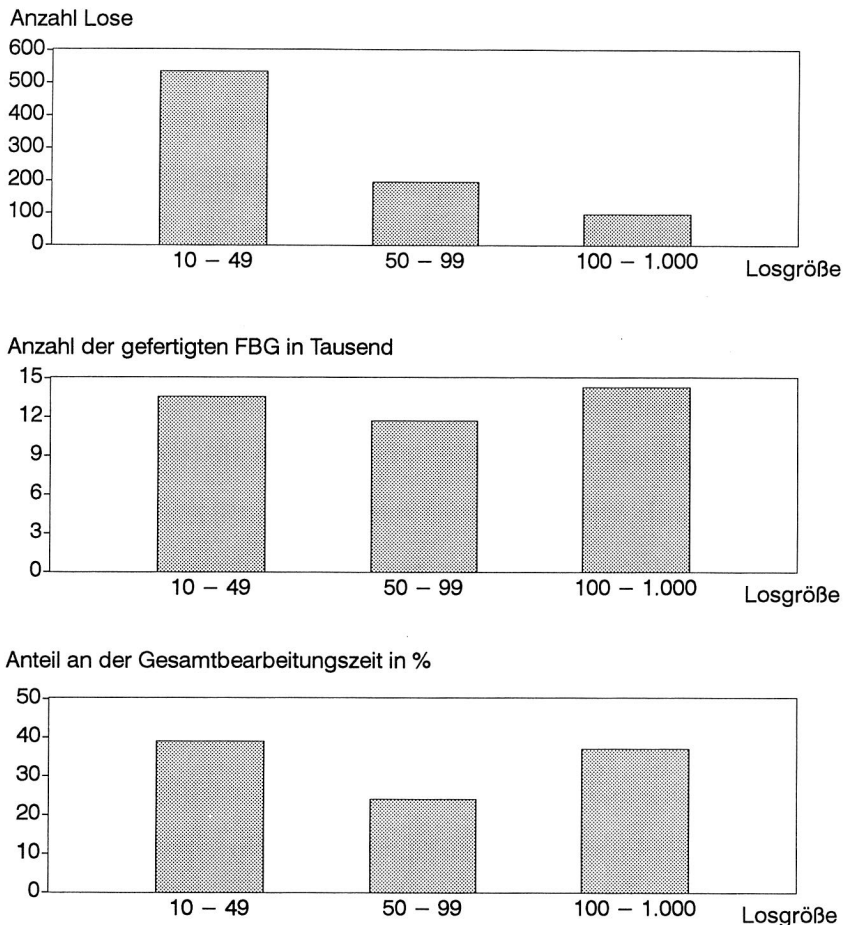


Bild 2-9: Ergebnis der Verfügbarkeitsuntersuchung von SMT-Bestückungsanlagen



**Bild 2-10: Zusammenstellung der Datenbasis zur Bewertung der Verfügbarkeit von SMD-Bestückungsautomaten in der Elektronikproduktion**

deutet, daß dieser Anteil unabhängig von der Losgröße ist. Entgegen den Erwartungen zeigen die organisatorischen Fehlbeträge einen ganz ähnliches Verhalten. Der Rüstanteil hingegen korreliert im Gegensatz dazu sehr stark mit der Losgröße. Der Anteil nimmt in der ersten Rubrik von 32% bis auf 7% in der dritten Rubrik ab (Bild 2-9). Kleinere Losgrößen, die bis zu 10 Leiterplatten umfassen, wurden nicht betrachtet, da es sich hierbei überwiegend um die Fertigung von Mustern handelt.

### 2.3 Auswirkungen von Störungen in einem Industrieunternehmen

Die Auftragsabwicklung eines Unternehmens hat die marktgerechte Steuerung von Material- und Informationsflüssen zum Ziel. Das Bild 2-11 zeigt die Unternehmensbereiche, die an der Auftragsbearbeitung beteiligt sind. Aus der zuvor genannten Zielsetzung ergeben sich die Prämissen [66, 111, 151], daß

- das produzierte Ergebnis mit den geforderten Vorgaben in Menge und Qualität übereinstimmt,
- die Wirtschaftlichkeit durch geringe Kosten, akzeptable Terminhaltung, niedrige Durchlaufzeiten und hohe Kapazitätsauslastung gewährleistet ist.

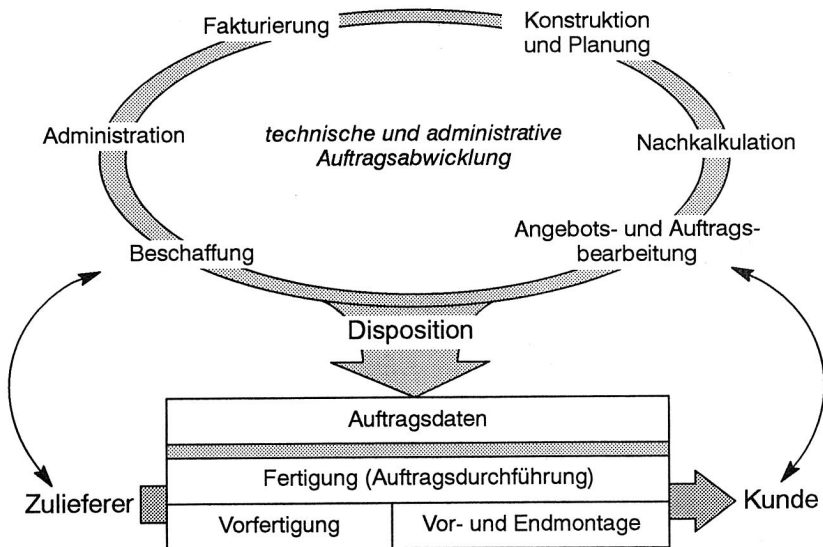


Bild 2-11: Die Stationen der Auftragsabwicklung [nach 113]

Die Faktoren Termintreue (Lieferbereitschaft), Qualität und Kosten können als Variablen aufgefaßt werden. Sie sind den sich ständig ändernden Anforderungen des Marktes unterworfen. Die Evolution zeitlicher Erfordernisse prägt diese Anforderungen, die für die Senkung der Herstellungskosten z.B. die Wertanalyse sowie für die flexible Produktforderungen z.B. die Losgrößen-Eins-Fertigung hervorgebracht hat. Weiterhin ist in diesem Zusammenhang zur Steigerung der Lieferbereitschaft das Just-in-Time-Konzept (JIT) zu nennen, das dadurch charakterisiert ist, die richtige Ware, in der richtigen Qualität, zum richtigen Zeitpunkt, in der richtigen Menge, am richtigen Ort bereitzustellen [120].

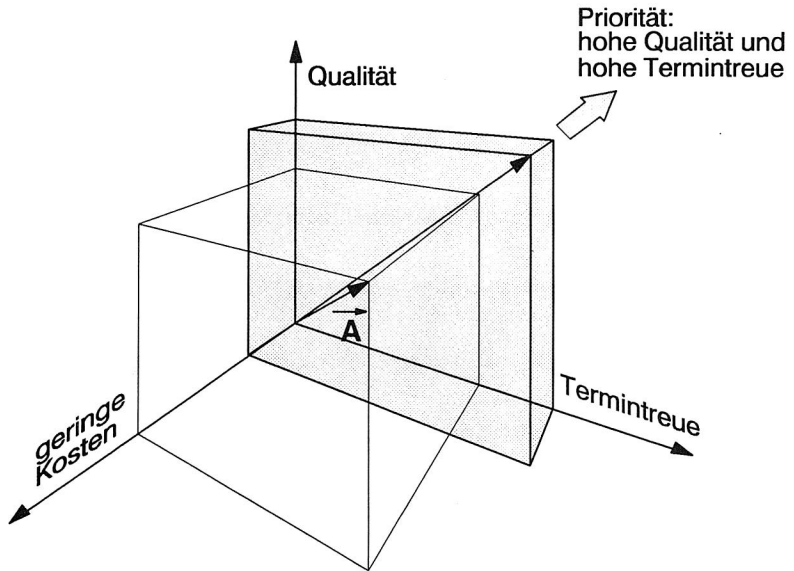


Bild 2-12: Gewichtung der Faktoren Terminreue, Qualität und Kosten, die sich den ständig ändernden Markterfordernissen anpassen müssen [nach 157]

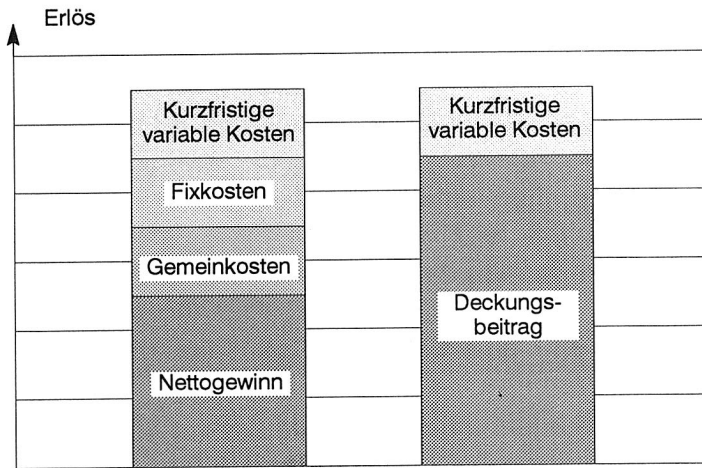
Derzeitig besitzt die Sicherung der Qualität eine sehr hohe Gewichtung. Die Abhängigkeit wird in Bild 2-12 dargestellt, wobei die Faktoren die Komponenten eines Gewichtungsvektors  $\vec{A}$  repräsentieren, der sich ständig im Raum bewegt. Keine der Komponenten nimmt jedoch zu irgendeinem Zeitpunkt den Wert Null an. [157]

$$\vec{A} = a \cdot \text{TERMINTREUE} + b \cdot \text{QUALITÄT} + c \cdot \text{KOSTEN}$$

Bei der Überlegung, wie stark der Erfolg durch den Produktionsausfall vermindert wird, ist in der Praxis häufig noch die traditionelle Methode der Nettoergebnisrechnung (Vollkostenrechnung) im Einsatz. Bei Verwendung dieser Berechnungsart erscheint der durch die Produktionsausfälle entstandene wirtschaftliche Nachteil als zu gering. [79] Die Methode arbeitet nach dem Prinzip der entgangenen Nettogewinne. Der Nettogewinn ergibt sich aus der Differenz zwischen den Erlösen und den vollen Selbstkosten. Die vollen Selbstkosten berechnen sich aus den kurzfristig variablen Kosten der Produktart plus den Fix- und Gemeinkosten. Da die Fix- und Gemeinkosten auch bei Anlagenausfällen vom Betrieb getragen wer-



den müssen, ergibt sich bei der Nettoergebnisrechnung in bezug auf die wirtschaftlichen Konsequenzen ein verfälscht positives Bild.



**Bild 2-13: Gegenüberstellung von Nettogewinn und Deckungsbeitrag in bezug auf die Bewertung von Montageanlagenausfälle**

Eine Kalkulation mit Hilfe der Deckungsbeiträge liefert eine objektive Bewertungsgrundlage. Diese Berechnungsmethode folgert die Absatzeinbußen aus den Deckungsbeiträgen. Der Deckungsbeitrag ist die Differenz zwischen den Erlösen und den direkt erfaßbaren, kurzfristig variablen Kosten einer Produktart. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen aus Nettogewinnrechnung und Deckungsbeitragsrechnung wird umso größer, je höher die Fix- und die Gemeinkosten sind.

Zur Abschätzung der Folgen eines Montagesystemausfalls für ein Unternehmen muß unter anderem die leistungswirtschaftliche Verflechtung der Montagesysteme betrachtet werden. Bilden mehrere Maschinen oder Anlagen eine Fertigungsstufe, so führt ein Leistungsabfall einer Montageanlage nur zu einer Reduzierung der Produktionsmenge. Ist für eine Montagestufe jedoch nur eine Anlage vorgesehen, kommt es eventuell zum Stillstand der mit dieser Anlage verketteten Montagestufen. [79]

Fehler und Störungen führen entweder zum Ausfall oder zum Leistungsabfall von Montagesystemen. Ausfälle werden durch Defekte wie beispielsweise Greiferbruch verursacht. Die schwerwiegendste Folge, die sich bis zum Kunden erstrecken kann, ist die Nichteinhaltung von Terminen. Gerade in Geschäftsbereichen, in denen vom Kunden die Just-in-Time-Bereitstellung der Ware verlangt wird, führt die verspätete Lieferung zu Schadensersatzzahlungen, Konventionalstrafen und eventuell

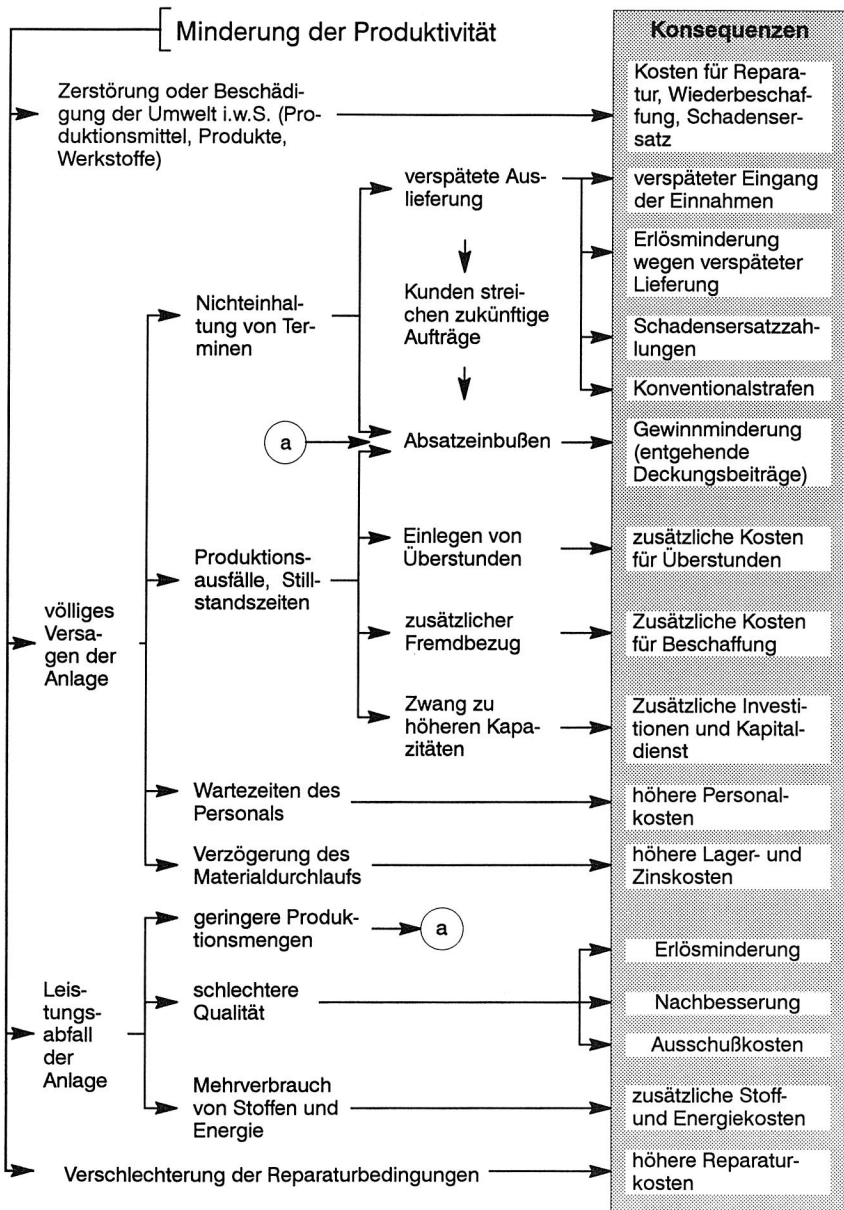


Bild 2-14: Wirtschaftliche Nachteile durch Ausfälle und Leistungsabfall von Montageanlagen [nach 79]

sogar zum Verlust von Folgeaufträgen. Um solch negative Auswirkungen beim Kunden zu verhindern, müssen die entstandenen Ausfallzeiten durch Überstunden ausgeglichen oder, wenn möglich, die nicht gefertigten Produkte durch Fremdbezug ersetzt werden.

Der Leistungsabfall von Montagesystemen hingegen kann einerseits durch technische und andererseits durch organisatorische Ursachen ausgelöst werden. Technische Ursachen sind durch Alterung bedingter Verschleiß (z.B. Reibung an Schlittenführungen), die zu Verzögerungen bei der Ausführung von Anlagenfunktionen führen. Die organisatorischen Ursachen für Leistungsabfälle an Montagesystemen sind entweder nicht vorhandene oder nicht optimierte Bedienstrategien. An verketteten Anlagen ist die taktgebende Station das maßgebende Anlagenteil für die Determinierung der Durchlaufzeiten. Störungen an diesem Anlagenteil führen in Abhängigkeit der Austaktung sehr schnell zum Stillstand der gesamten Anlage. Wird beim gleichzeitigen Störfall der taktgebenden Station mit weiteren Anlagenteilen eine ungeschickte Entstörungsreihenfolge gewählt, bei der nicht zuerst die taktgebende Station wieder in Betrieb gesetzt wird, führt dies zu organisatorisch bedingten Leistungsabfällen. Gleiches gilt im übertragenen Sinn für das Nachfüllen der einzelnen Anlagenteile mit Material.

Alle Möglichkeiten nachteiliger Einflüsse auf das Unternehmensergebnis müssen in die Folgebetrachtung von Fehlern und Störungen von Montagesystemen einbezogen werden. Die möglichen wirtschaftlichen Nachteile durch solche Fehler und Störungen sind in Bild 2-14 dargestellt.

Stehen keine Systeme zur schnellen Fehlererkennung zur Verfügung, um zeitliche Verzögerungen und damit die Auswirkungen zu minimieren, so treten zwangsläufig Kapazitätsengpässe auf. Diese haben zur Folge, daß Aufträge häufiger umgeplant werden müssen und damit der Dispositionsspielraum stetig kleiner wird. Kurzfristige Eilaufträge, die disponiert werden müssen, verschärfen die Situation zusätzlich, so daß im Endeffekt normale Aufträge zu Eilaufträgen werden. Zu viele Eilaufträge verursachen längere Liegezeiten vor und nach der Bearbeitung auf Montagesystemen. Angearbeitete Aufträge bleiben liegen, wobei sehr dringliche Aufträge im Routinebetrieb untergehen können.

Lange Liegezeiten vor und nach der Bearbeitung haben besonders in der Elektronikproduktion einen Einfluß auf die Produktqualität und auf die folgenden Bearbeitungsschritte. Elektronische Komponenten werden in hermetisch verschlossenen Verpackungen angeliefert. Durch die Liegezeiten sind die schon aus der Verpackung entnommenen Komponenten sämtlichen Umwelteinflüssen der Fertigung ausgesetzt, was zu Schwierigkeiten bei den anschließenden Prozeßschritten führen kann. Erhöhte Oxidation an den Kontaktflächen der Bauelemente und Leiterplatten haben eine schlechte Lötbarkeit zur Folge, so daß die elektrische und die mechanische Verbindung nicht einwandfrei zustandekommen. Dadurch werden erhöhter Prüfaufwand und verstärktes Nacharbeiten verursacht.

## **2.4 Ziele der Systemüberwachung und Diagnose**

Für die Herstellung von Produkten ist effektiv nur die nutzbare Einsatzzeit (vgl. Bild 2-5) von Montageanlagen entscheidend. Diese kann jedoch aus wirtschaftlichen, betrieblichen oder tarifpolitischen Restriktionen und Gesichtspunkten weder durch Kapazitätserhöhung noch durch die Ausdehnung der täglichen Betriebszeiten beliebig erhöht werden. Ziel ist es deshalb, die nutzbare Zeit in dem zur Verfügung stehenden Zeitintervall auf ein Höchstmaß auszuweiten, indem die Anzahl von Fehlern und die Fehlzeiten minimiert werden. Die dadurch erzielte Leistungssteigerung der Anlagen ergibt eine Erhöhung der Produktausbringung und zusätzlich eine verringerte Personalbindung an die Montageanlage. Auf diese Weise ist eine Mehrmaschinenbedienung möglich oder aber auch die Nutzung von Zeiten, in denen sich normalerweise kein Bedienpersonal an der Montageanlage befindet, wie beispielsweise während der Pausen.

Die Funktionen und Prozesse, die auf komplexen Montageanlagen ausgeführt werden, sind aufgrund der vielseitigen Abhängigkeiten und der häufig größeren räumlichen Trennung vom Menschen nicht mehr überschaubar. Aus diesem Grund werden die Ursachen, die zu Einbußen der Verfügbarkeit durch Fehler und Störungen in den Bearbeitungsabläufen führen, systematisch erfaßt, um diese auf ein Mindestmaß zu begrenzen. Dies erfordert die Einführung einer permanenten Überwachung, die gezielt Hinweise auf Fehlerzustände gibt. Die abgeleiteten Maßnahmen müssen sich jedoch neben dem Montagebereich zusätzlich auf den planerischen Bereich erstrecken, um die Transparenz insgesamt zu erhöhen.

### **2.4.1 Abbildung der Diagnoseaufgaben auf die Unternehmensstruktur**

Die schrittweise Entwicklung der rechnerintegrierten Produktion hat zu einem Wandel in der Arbeitsweise und in den Unternehmensstrukturen geführt. Die im Laufe der Zeit zwingende Einführung fortschrittlicher Automatisierungs- und Informationssysteme in Unternehmen erfordert die Strukturierung der Aufgaben in unterschiedliche Hierarchieebenen. Dies hat zu einer informationstechnischen Lastenverteilung auf die unterschiedlichen Ebenen geführt [75]. Ein Modell zur Produktionssteuerung repräsentiert ein System als mehrere kooperierende Komponenten, die einzeln, im Gegensatz zu einem Gesamtsystem, relativ einfach zu spezifizieren sind. Die Aufgaben auf den unterschiedlichen vertikalen Ebenen umfassen die Entscheidung, Planung, Steuerung, Ausführung, Kontrolle, Berechnung und Auskunft. [10] Das Bild 2-15 zeigt ein Hierarchiemodell, in dem die Aufgaben auf unterschiedlichen vertikalen Ebenen und horizontalen Funktionsbereichen dargestellt werden. Die horizontal angeordneten Bereiche sind der Vertrieb sowie die Entwicklung, Fertigungsvorbereitung, Fertigung, Qualitätssicherung und kaufmännische Verwaltung. Die Einteilung der vertikalen Ebenen ist jedoch nicht als

starr anzusehen. Auf der Maschinenebene entfallen z.B. die Aufgaben der Entscheidung und Planung vollständig.

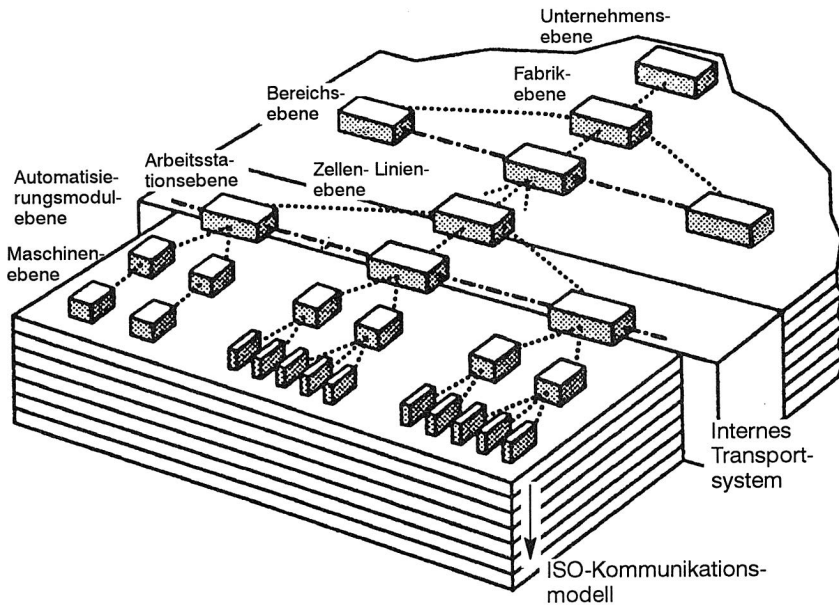


Bild 2-15: Die Integration der Diagnosefunktionen und -aufgaben auf unterschiedlichen Ebenen in einer Unternehmensstruktur [nach 56]

Das Ziel ist es, einen einheitlichen modularen Aufbau eines Automatisierungssystems zu erreichen, in dem sämtliche Entscheidungen und Abläufe konsistent koordiniert und überwacht werden können. Jede der Einzelkomponenten umfaßt ihren eigenen Aufgaben- und Wirkungsbereich. Auf diese Weise werden komplexe Vorgänge mit abnehmender Ebene feiner gegliedert, bis daß auf der untersten Ebene die elementaren Funktionen der Identifikation, der Bearbeitung und des Transports von Werkzeugen, Produkten und Materialien ausgeführt werden können. Eine redundanzarme und konsistente Datenhaltung sowie leistungsfähige Netzwerke für die Kommunikation bilden das Rückgrat einer rechnerintegrierten Produktion. Ein weiteres Bestreben ist die Standardisierung der Software in Einzelbereichen. [53, 54, 55]

Betrachtet man die unterschiedlichen Ebenen der Produktion bzw. der Auftragssteuerung, so lassen sich demgegenüber die Aufgaben und Funktionen einer Sy-

stemüberwachung und Diagnose auf die unterschiedlichen hierarchischen Benutzerebenen aufteilen. Dies gilt für die Rückführung von Diagnoseinformationen aus dem Produktionsbereich in gleicher Weise wie für die Steuerung von Aufträgen, von Funktionen der Auftragsbearbeitung und -ausführung. In den Ebenen gelten aufgrund der Aufgaben verschiedene Zeithorizonte. Das bedeutet, daß mit jeder höheren Ebene die Zeitperioden für die Planung und für die Entscheidungen länger werden. Diese Unterteilung betrifft sowohl die Informationserfassung als auch die Informationsverarbeitung.

Ganz besonders wird dabei die Informationsauswertung und -verwertung berücksichtigt. Die Ergebnisse der Informationsauswertung besitzen ebenfalls unterschiedlichen zeitlichen Charakter. Die unterste Ebene ist sehr nah an der Montage-

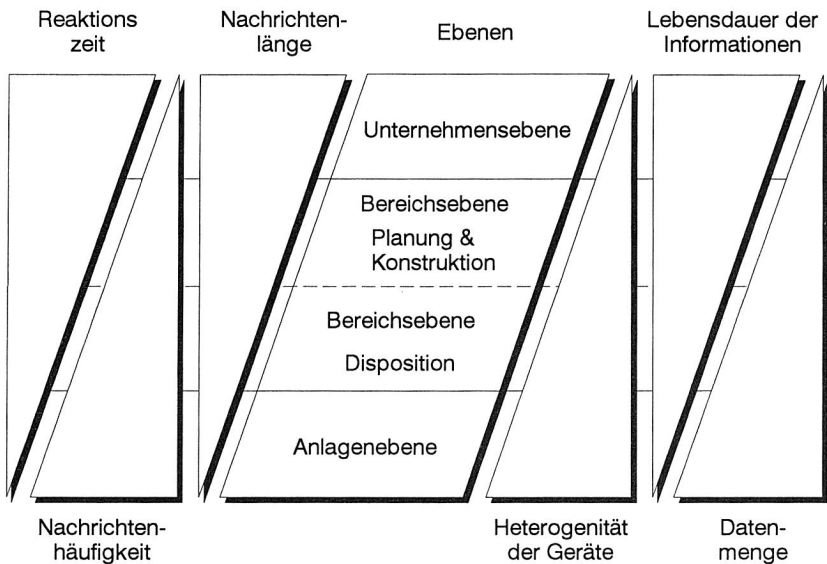


Bild 2-16: Zeithorizonte und Datenaufkommen in den unterschiedlichen Nutzerebenen von Diagnoseinformationen [nach 86]

anlage angesiedelt. Hier agiert und reagiert das Bedienpersonal an den jeweiligen Montageanlagen. Die dort ablaufenden Montageprozesse verursachen in einem Umfang sehr kurze, sensorische Signale zur Anlagen- und Prozeßsteuerung, die für die Überwachung und Diagnose genutzt werden. Die Aufgabe der Systemüberwachung und Diagnose ist es hier, technische Ursachen für Fehler prozeßnah auf unterster Steuerungsebene zu erkennen. Durch die Anlagenüberwachung wird im Fehlerfall die Abweichung von einem tatsächlichen Ist-Zustand zu einem geplan-

ten Soll-Zustand erfaßt. Die Entscheidung darüber, ob der Grenzwert zwischen Soll- und Ist-Wert überschritten ist, führt in der Regel zum Stillstand der Anlage.

Das Bedienpersonal benötigt im Fehlerfall schnell Hinweise über die Fehlerart, den Fehlerort und die Fehlerursache, um rasch und gezielt eingreifen zu können. An dieser Stelle sind die Aufgaben der Berechnung, z.B. Soll-Ist-Vergleiche, und die Aufgabe der Auskunft sehr wichtig. Es wird deutlich, daß hier eine Echtzeitdatenverarbeitung mit hohem Datenaufkommen gehandhabt werden muß, um schnell Informationen zur Verfügung zu stellen. Diese Informationen werden aber nur begrenzt über einen kurzen Zeitraum bis zur Fehlerbehebung benötigt. Vorbeugende Maßnahmen lassen sich auf dieser Ebene nur in beschränktem Umfang realisieren. Die Art der Fehler ist für eine Prävention sehr entscheidend. Einfache Fehler, die vom Anlagenbedienpersonal über einen längeren Zeitraum beobachtet werden können und in der Regel nur eine Funktionsbeeinträchtigung bewirken, wie zum Beispiel eine leergelaufene Zuführschiene für die Materialbereitstellung, eignen sich besonders dafür.

Hingegen kann bei einem Fehler, der einen Funktionsausfall zur Folge hat, beispielsweise der Bruch eines Greifers, zumeist erst beim Auftreten des Anlagenausfalls vom Bedienpersonal reagiert werden. Eine Möglichkeit bietet die Methode der Fehlerfrüherkennung, wie sie für die zerspanende Fertigung entwickelt worden ist und nach dem Prinzip der Fehlerprävention arbeitet. Systeme, die diese Methode einsetzen, decken jeweils einen schmalen Bereich ab, wie das Detektieren eines Werkzeugverschleißes, Unregelmäßigkeiten in Vorschubantriebe oder Anwendungen für den Robotereinsatz. [16, 58, 140, 154]

Auf einer mittleren Ebene werden überwiegend die Aufgaben der Planung und Steuerung, beispielsweise von Disposition und Konstruktion, verrichtet. Zu deren Aufgabenerfüllung werden bereits verdichtete Informationen aus den Berechnungs- und Auskunftssystemen der unterlagerten Ebenen verwendet, da der Detaillierungsgrad, der auf der unteren Ebene zur Fehlerbestimmung benötigt wird, hier nicht erforderlich ist. Zumeist bedarf es allein der Informationen über Häufigkeiten, Art und Auswirkung von Fehlern. Die Bereitstellung charakteristischer Informationen ist hier ausreichend. Die Informationsverdichtung bewirkt zusätzlich, daß sich der zeitliche Spielraum für die Datenverarbeitung, zum Beispiel für die Auswertung, vergrößert. Auf dieser Ebene trägt die Diagnose durch die Bereitstellung von Informationen über technische und organisatorische Zusammenhänge ganz entscheidend dazu bei, die Transparenz im Fertigungsbereich zu erhöhen. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß zwar verdichtete, aber ständig aktualisierte Informationen zur Verfügung stehen.

Die permanente Datenerfassung ist der sporadischen an dieser Stelle stets vorzuziehen. Die Disposition verlangt ständig Informationen über die aktuellen Kapazitäten im Fertigungsbereich, um Aufträge zeitlich richtig einplanen zu können. Gesicherte Informationen über Durchlaufzeiten von gleichen Produkten aus früheren

Bearbeitungszyklen sind eine hervorragende Planungsgrundlage, um Bearbeitungszeiten prognostizieren zu können.

Vor allem aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind diese Punkte bei der Nutzung von Produktionsplanungs- und -steuerungssystemen von größter Wichtigkeit [74]. PPS-Systeme vernachlässigen jedoch sehr auffällig die Funktionalität der Fertigungslenkung [63]. Es ist daher einsichtig, daß die Kopplung der PPS-Systeme an eine aktuelle Datenerfassung, beispielsweise zur Kapazitätsüberprüfung und -planung, von größter Wichtigkeit ist. In der Realität ist diese Kopplung in den meisten Fällen nur schwach entwickelt. Es wird nach wie vor davon ausgegangen, daß die Informationen auf andere Weise beschafft und bereitgestellt werden. Dies kann natürlich den Erfolg eines solchen Systems schnell zunichtemachen oder sogar ins Gegenteil umkehren, vor allem dann, wenn auf der Werkstattebene kein System zur stetigen Datenerfassung betrieben wird. [63]

Auf den obersten Ebenen, der Unternehmens- und Fabrikebene, werden gesicherte Grundinformationen benötigt, um zukünftige wirtschaftliche Entscheidungen treffen zu können. Die Entscheidungen betreffen zum einen die zu vermarktenden Produkte und zum anderen die Auswahl von geeigneten Produktionsmitteln. Während auf der einen Seite die Produktlebenszyklen stetig abnehmen, sind auf der anderen Seite langfristige Investitionen in Produktionsanlagen vorzunehmen. Diese Anlagen müssen den Anforderungen genügen, durch erhöhte Flexibilität die zukünftige Produktpalette fertigen zu können sowie durch innovative Kommunikations- und Steuerungstechnik einen integralen Bestandteil für die rechnerintegrierte Produktion bilden [150].

Durch die höhere Flexibilität und damit auch Komplexität neigen diese Anlagen zu vermehrten Ausfällen. Diese gilt es über alle Ebenen hinweg durch Maßnahmen

- ☐ zur Reduzierung von organisatorisch bedingten Anlagenstillständen,
- ☐ zum schnellen Aufdecken von Ausfällen und deren Ursachen,
- ☐ zur vorbeugenden Instandhaltung,
- ☐ zur Schwachstellenanalyse und
- ☐ zur konstruktiven Anlagenverbesserung

auf ein Minimum zu reduzieren, wozu ein Überwachungs- und Diagnosesystem die ständig aktuellen Informationen zur Verfügung stellt. [80]

### **2.4.2 Charakterisierung der Arbeitsschritte in der Elektronikmontage**

Das Auftreten von Fehlern ist nicht allein auf die Montageausführung beschränkt. Fehler können schon viel früher in den Phasen der Konstruktion bis zur Arbeitsvorbereitung verursacht werden. Je später solche Fehler entdeckt werden, desto höher wird der Aufwand zu deren Beseitigung. Diese Erfahrung, die im Laufe der Zeit bei der Produktentwicklung gesammelt wurde, hat sich schon früh in den Regeln der fertigungsgerechten Konstruktion niedergeschlagen.



Parallel zur Produktentwicklung werden die Fügeprozesse entwickelt, wobei nahezu ausnahmslos die Montagehilfsmittel und die Füge Teile in den Arbeitsraum eines feststehenden Montagegerätes gebracht werden. Der Fügeprozeß kann deshalb generell in unterschiedliche Phasen gegliedert werden, die jede für sich eine verschieden hohe Fehlerwahrscheinlichkeit beinhaltet.

#### □ **Transport und Positionierung**

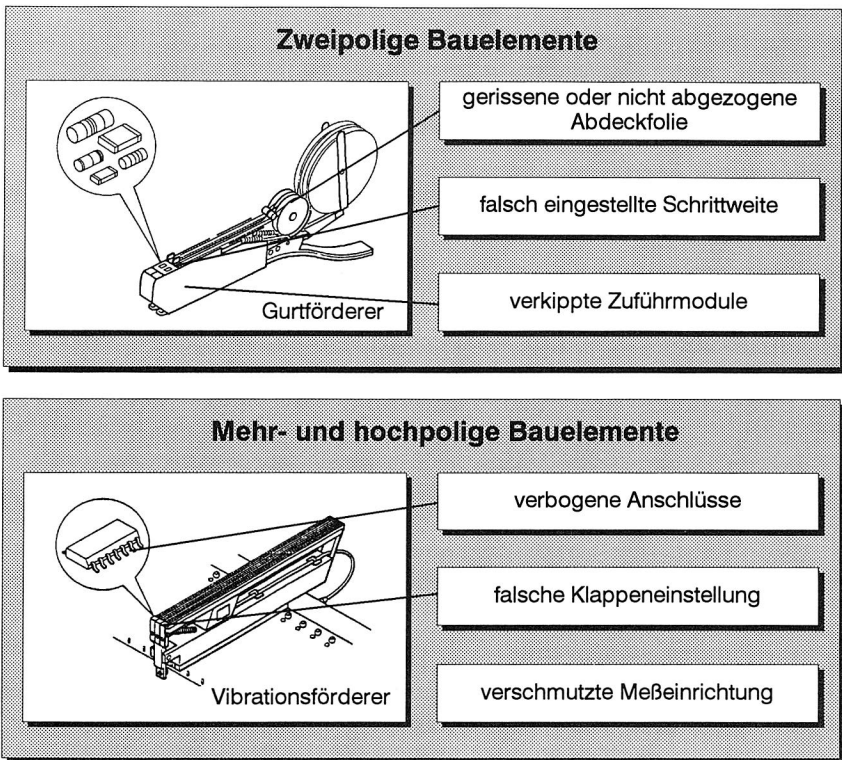
Zunächst werden die Fügehilfsmittel, wie beispielsweise Produktträger, in den Arbeitsraum des Montagegerätes transportiert und positioniert. Im Falle der elektronischen, planaren Flachbaugruppenfertigung ist dies die Leiterplatte. Der Transport erfolgt über Gurtbandförderer und Speichereinheiten.

Im einfachsten Fall wird die Positionierung mit Paßstiften vorgenommen, was eine aufwendige Lagebestimmung mit komplexen Hilfsmitteln wie Bildverarbeitungssysteme erspart. Diese Methode wird jedoch nur bei Flachbaugruppen mit großen Anschlußflächen und Bauelementen mit wenigen Anschlüssen eingesetzt. Nehmen die Rastermaße der Bauelemente ab, beispielsweise von Fine-Pitch-Bauelementen, deren mittlerer Anschlußabstand bei 0,3 mm liegt, so werden aufgrund der hohen Genauigkeitsanforderungen optoelektronische Positionierungssysteme für die Lagemarkenerkennung benutzt. Die Leiterplatte ist in der Bearbeitung zum einen das Transport- und Fügehilfsmittel sowie zum anderen selbst Füge Teil.

#### □ **Bereitstellen und Greifen**

Zur Vereinfachung des Greifprozesses werden die zu fügenden Teile in einer Zuführeinrichtung vereinzelt, gefördert und positioniert. Die Anwesenheitskontrolle der Bauelemente wird während des Greifprozesses ausgeführt. Bei Bestückungsautomaten werden zur Bereitstellung der elektronischen Bauelemente unterschiedliche Fördererarten benutzt. Diese sind Vibrationsförderer, Gurtförderer, Stangenmagazinförderer für kleinere und mittelgroße Bauelemente sowie Wafer-Pack-Systeme für hochpolige Bauelemente. Die unterschiedlichen Förderer können unter Berücksichtigung der Rüstrestriktionen in beliebiger Anordnung in den Bestückungsautomaten gerüstet werden.

Die unterschiedlichen Fördermodule können zu einem großen Teil gleiche Bauelemente bevorraten und besitzen ihre speziellen Vor- und Nachteile. Während die Gurtförderer sehr zuverlässig arbeiten, neigen die Vibrationsförderer aufgrund verklemmter Bauteile oder Fehleinstellungen vermehrt zu Störungen. Im Gegensatz dazu sind die Vibrationsförderer beim Nachfüllen von Bauelementen bedeutend einfacher und schneller zu handhaben. Die Erfahrung hat gezeigt, daß erhebliche Vorteile in bezug auf die Durchlaufzeiten erreicht werden können, wenn die Vor- und Nachteile der Fördermodule neben den technischen Rüstrestriktionen in die Rüststrategie mit einbezogen wird. Ziel bei der Austaktung von verketteten Anlagen ist es, möglichst gleich große zeitliche Arbeitsinhalte vorzugeben, um minimale Durchlaufzeiten zu erhalten.



**Bild 2-17:** Fehlerpotentiale unterschiedlicher Zuführarten für elektronische Bauelemente bei Bestückungsautomaten

Für eine optimale Austaktung der Aufträge sind zwei Zeitanteile zu berücksichtigen. Dies sind die reine Prozeßzeit und der Zeitbedarf zum Nachfüllen der Bauelemente in den Fördermodulen. Die Rüststrategie muß die nicht zu vernachlässigenden Nachfülltätigkeiten an den einzelnen Automaten einbeziehen. Ein Ungleichgewicht in den Prozeßzeiten ist beabsichtigt und bewirkt, daß sämtliche Nachfülltätigkeiten beispielsweise für ICs auf einen Bestücker gelegt werden. Das bedeutet für diesen Automat, daß er durch die verringerte reine Prozeßzeit nicht zur taktgebenden Station wird. Folglich erhöhen sich die Arbeitsinhalte an den anderen Bestückern. Damit können parallel zum Bestücken der taktgebenden Station aufwendige Nachfülltätigkeiten für Stangenmagazine ausgeführt werden.

### □ **Fügen**

Nachdem der Greifprozeß abgeschlossen ist, wird in dem Fügeprozeß das gegriffene Füge­teil mit Hilfe der im Greifer integrierten Meßeinrichtung überprüft, positioniert und gefügt. Die Überprüfung betrifft bei zweipoligen Bauelementen die elektrischen Eigenschaften. Werden diese nicht eingehalten, so wird das Bauelement ausgesondert.

### □ **Rückführung und Transport**

Am Ende des Fügeprozesses werden der Träger oder die Hilfseinrichtung wieder aus der Positionierung freigesetzt und an das Transportsystem für die Bearbeitung in weiteren Stationen übergeben.

Für die Bestimmung der Fehlerwahrscheinlichkeit werden die Montageprozesse zunächst analysiert. Dies kann entweder an der realen Montageanlage oder bereits während der Entwicklungsphase des Montagegerätes und der Fügeprozesse durchgeführt werden. Da viele Fehler vergleichbare kausale Zusammenhänge aufweisen, kann damit die Basis für eine umfassende Strukturierung und Bewertung von Fehlermöglichkeiten gelegt werden. Bei der Bewertung der Abhängigkeiten müssen unterschiedliche Einflußbereiche berücksichtigt werden. Diese müssen bei der Fehlerbetrachtung technische und organisatorische Ursachen unterscheiden. Auswirkungen, wie beispielsweise fehlende Aufträge, sind administrativen Ursachen zuzuordnen.

## **2.4.3 Informationsgewinnung zur Diagnose**

Die Realisierung und der Betrieb eines leistungsfähigen Überwachungs- und Diagnosesystems erfordert eine breit angelegte Erfassung von Informationen aus dem Montagebereich. Zur Aufnahme von Daten an Montageanlagen können unterschiedliche Quellen genutzt werden, die mit Daten der Maschine, des Personals, des Prozesses und des Produktes korrelieren. [35]

### □ **Maschinendaten aus Steuerungsrechnern**

Zum ersten besteht die Möglichkeit, Maschinendaten aus Steuerungsrechnern direkt abzugreifen. Dazu werden die Steuerprotokolle, beispielsweise zwischen dem Steuerrechner und einer untergeordneten speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS), auf relevante Daten untersucht, gefiltert und an den Überwachungsrechner weitergegeben. In diesen Protokollen sind Informationen bezüglich der Überwachung von Schutzvorrichtungen, Anwesenheitskontrollen von Material sowie Zustandsmeldungen von einzelnen Montageanlagenelementen enthalten. Mit der Auswertung der Steuerprotokolle wird somit implizit die in der Montageanlage integrierte Sensorik genutzt.

Diese Lösung bietet vielfältige Vorteile. So ist der Aufwand zur Datenerfassung relativ gering, und die Übertragung der Daten verläuft auf gesicherten,

störungsarmen Strecken. Nachteilig kann sich jedoch auswirken, daß die Vorgaben und die daraus folgenden Restriktionen des Herstellers an Hard- und Softwarekomponenten sehr genau befolgt werden müssen.

Zur weiteren Informationsgewinnung werden analoge und binäre Signale aufgenommen, die beispielsweise von eigenständigen, speicherprogrammierbaren Steuerungen abgegriffen werden können. Dies wird vorrangig dann durchgeführt, wenn periphere Geräte, zum Beispiel zur Teilebereitstellung, mit der Montageanlage zwar in materialflußtechnischer, aber nicht unmittelbar über die zentrale Steuerung in informationstechnischer Verbindung stehen. Die Informationen können dann mit Hilfe von Interfacekarten aufgezeichnet werden, die über binäre Ein- und Ausgänge verfügen.

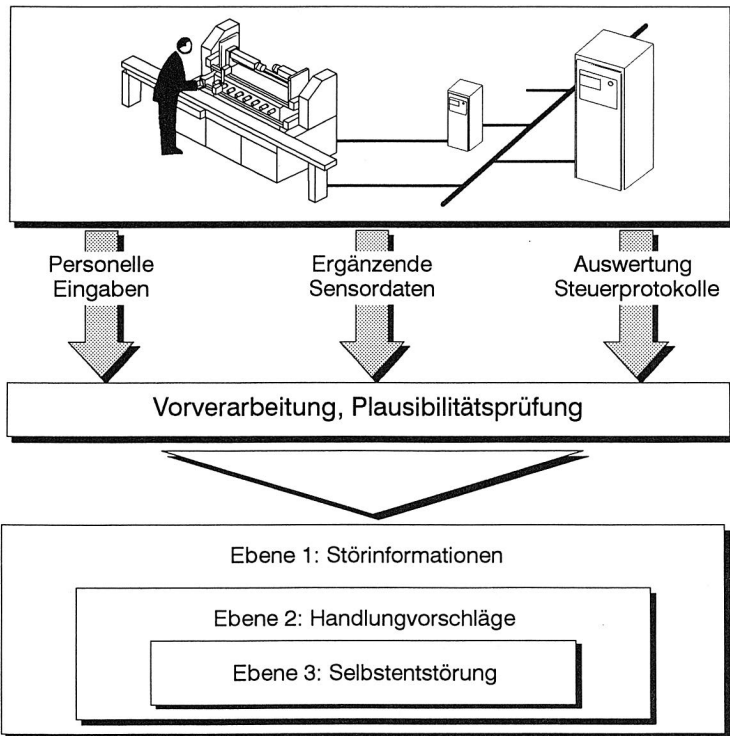
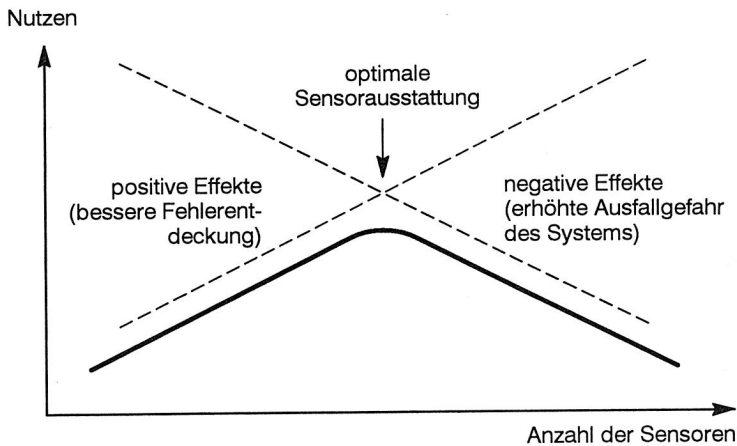


Bild 2-18: Nutzung unterschiedlicher Datenquellen zur Diagnose an Montageanlagen der Elektronikfertigung

## □ Sensorik

Um das Spektrum der Informationsgewinnung zu erweitern, werden auf dem zweiten Weg weitere Sensoren in die Montageanlage integriert, die auf unterschiedlichen physikalischen Verfahren basieren. Damit können steuerungsunabhängig spezielle Informationen über die Montageanlage und deren Prozesse erfaßt werden. Diese Vorgehensweise gestattet eine flexible und vom Hersteller der Montageanlage unabhängige Lösung in einer beliebigen Programmiersprache. Damit die Signalsicherheit der Sensorik nicht beeinträchtigt wird, zum Beispiel durch magnetische Felder von Antrieben, müssen die Montage- und Verdrahtungsrichtlinien genau befolgt werden.



*Bild 2-19: Positive und negative Effekte bei der Nachrüstung einer Montageanlage mit ergänzender Sensorik [128]*

Basiert ein Überwachungssystem überwiegend auf nachgerüsteten Sensoren, so nehmen mit der Anzahl der Sensoren die Überwachungs- und Diagnosefunktionen zu. Durch die damit gewonnenen, detaillierten Informationen wird die Unterstützung des Anwenders bei der Detektion und die Lokalisierung von Fehlern erhöht. Im Gegensatz dazu steigt dadurch die Gesamtkomplexität der Anlage an. Aufgrund der Ausfallwahrscheinlichkeit der Sensorik selbst kann dies zu einer Minderung der Anlagenverfügbarkeit führen.

Das Bild 2-19 zeigt die beiden gegenläufigen Effekte bei der zusätzlichen Ausstattung mit Sensoren. Die Bestimmung der optimalen Sensorausstattung stellt ein Problem dar, das unter Beachtung der jeweiligen Randbedingungen und der direkten Kosten, z.B. für die Sensorik selbst, und der indirekten Kosten, z.B. der gestiegenen Ausfallwahrscheinlichkeit der Anlage, gelöst werden muß.

### □ **Ergänzende, manuelle Daten**

Zum dritten können manuell eingegebene Daten mit Hilfe einer gesonderten Tastatur übernommen werden. Dies ist vor allem dann von Bedeutung, wenn Informationen aus dem organisatorischen Umfeld aufgenommen werden sollen, die mit der verfügbaren Sensorik nicht erfassbar sind. Auf diesen Punkt muß ein besonderes Augenmerk bei der Benutzung von Tastaturen zur Erfassung von Fehlerzuständen gerichtet werden, um in den Anwendungsfällen wahrheitsgemäße Daten über die jeweils aktuellen Zustände des Umfeldes einer Montageanlage zu erhalten.

## 2.5 **Randbedingungen bei der Überwachung und Diagnose**

Beim Einsatz rechnergestützter Diagnoseverfahren und -systeme müssen Randbedingungen beachtet werden, damit die Diagnoseanwendung optimal an das Problemfeld angepaßt werden kann. Jeder Fehler ist mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit für sein Auftreten und für seine Entdeckung behaftet. Die Folgen eines jeweiligen Fehlers besitzen weiterhin eine unterschiedliche Gewichtung.

Aus diesem Grund kann das Problemfeld in Anlehnung an die FMEA-Systematik (Fehlermöglichkeits- und Einflußanalyse) mit den drei Faktoren der

- Auftretenswahrscheinlichkeit **A**
- Entdeckungswahrscheinlichkeit **E** und
- Auswirkung (Folgen) **F**

beschrieben werden, wobei die Vektoren aus dem Produkt des jeweiligen Skalars und des Einheitsvektors gebildet werden. Aufgrund der Einhaltung der Konsistenz wird im Gegensatz zum konventionellen Gebrauch [vgl. 11] anstatt der Entdeckungswahrscheinlichkeit die Entdeckungswahrscheinlichkeit definiert. Die drei Faktoren repräsentiert die Komponenten eines kartesischen Koordinatensystems, die den Distanzvektor  $\vec{V}$  determinieren. Zur Charakterisierung des Diagnoseräumeres ergibt sich daraus:

$$\vec{V} = a \cdot \vec{A} + b \cdot \vec{E} + c \cdot \vec{F}$$

Die Grenzen der Werte umfassen den Bereich  $1 \leq a, b, c \leq 10$ . Aus dieser Bewertungssystematik heraus erfolgt die Einteilung der Fehler in die Fehlerarten

- ☐ trivial, mit dem Wertebereich  $1 \leq a, b, c \leq 3$
- ☐ relevant, mit dem Wertebereich  $4 \leq a, b, c \leq 8$  und
- ☐ schwerwiegend, mit dem Wertebereich  $9 \leq a, b, c \leq 10$ .

In dem Problemfeld der Diagnose können zwei Extremfälle auftreten. Die Auftretenswahrscheinlichkeit, die Entdeckungswahrscheinlichkeit und die Fehlerauswirkung ist im ersten Extremfall sehr gering. Im zweiten Extremfall besitzen die Parameter umgekehrte Werte, d. h., daß die Auftretenswahrscheinlichkeit und die Entdeckungswahrscheinlichkeit hoch sind sowie daß der Fehler relativ schwerwiegende Folgen hat. Beide Fehlerarten sind für rechnergestützte Diagnoseanwendungen nicht relevant. Zum einen handelt es sich um triviale Fehler, die vom Bedienpersonal mit geringem Aufwand sehr schnell behoben werden können und zum anderen um sehr gravierende Fehler, die vielmehr durch Optimierungsmaßnahmen an der betreffenden Anlage zu beseitigen sind. Für die Diagnoseanwendung sind also Fehler im Zwischenbereich am geeignetsten. Die Akzeptanz des Anwenders eines Diagnosesystems ist in diesem Anwendungsbereich ebenfalls am höchsten. Dies liegt zum einen darin begründet, daß das Diagnosesystem für triviale Fehler nicht konsultiert wird und zum anderen daran, daß seltene, schwerwiegende Fehler zumeist nicht in Systemen berücksichtigt sind.

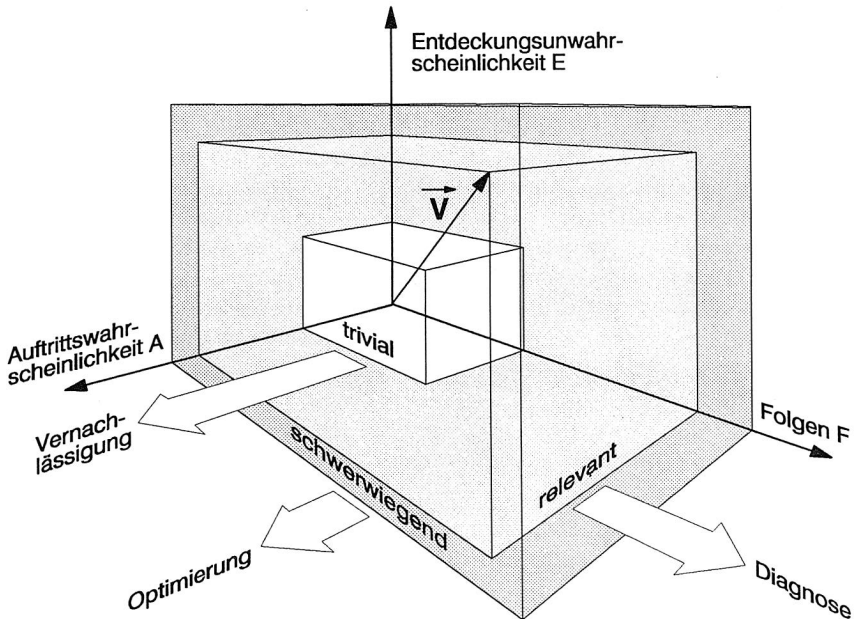


Bild 2-20: Einteilung des Diagnoseraumes in unterschiedliche Fehlerkategorien anhand dreier Bewertungskriterien [nach 34]

	Zufällige Fehler	Systematische Fehler
Auftreten	sporadisch	regelmäßig
Ursachen	nicht oder schwierig nachvollziehbar	nachvollziehbar
Wissen	kaum/nicht vorhanden	vorhanden
Verbal formulierbar	nicht/schwierig	einfach
Verhütung	nicht möglich	möglich
Anzahl beteiligter Parameter	hoch	niedrig

*Tabelle 2-1: Gegenüberstellung der Charakteristiken von zufälligen und systematischen Fehlerfällen*

Fehler lassen sich im weiteren grundsätzlich in die zwei Kategorien der zufälligen und der systematischen Fehler einordnen. Zufällige Fehler zeichnen sich besonders durch ihr sporadisches Auftreten aus. Die häufig auftretende Vielzahl der komplex korrelierenden Parameter führt dazu, daß die Ursachen, die zum Auslösen des Fehlers geführt haben, nicht oder nur sehr schwierig zurückzuverfolgen sind. Die verbale Beschreibung, die für zukünftige Maßnahmen zur Auffindung und Behebung des Fehlers nötig ist, kann bei zufälligen Fehlern nicht formuliert werden. Dies ist vor allem für rechnergestützte Systeme von entscheidender Wichtigkeit, da nur aufgrund dieser Beschreibung entsprechende Regeln oder Programmcodes generiert werden können. Im Gegensatz zu zufälligen Fehlern können systematische Fehler bedeutend besser und einfacher diagnostiziert und behoben werden.

## **2.6 Entwicklungslinien rechnergestützter Überwachungs- und Diagnosesysteme**

In nahezu allen technischen Bereichen stellt sich heute das Problem, daß zunehmend komplizierte Fertigungsprozesse ständig komplexer werdende Maschinen und Anlagen zur Folge haben. Trotz verfeinerter Steuerungsstrategien führen komplexere Wirkungszusammenhänge in den Maschinen zu einem Absinken der Verfügbarkeit und gleichfalls zur Beeinträchtigung der Qualität. Aus dem Beweg-



grund, Fertigungsmittel besser zu nutzen, die Stillstandszeiten so gering wie möglich zu halten sowie eine gleichbleibend hohe Qualität zu erreichen, werden Systeme in den verschiedenen technischen Bereichen zur rechnergestützten Diagnose entwickelt.

Die verschiedenen Auffassungen über die Aufgabenbereiche eines Diagnosesystems und dessen Funktionalitäten haben seit jeher zu einer unterschiedlichen Interpretation des Diagnosebegriffes geführt. Die Auslegung wird gemessen an der Definition des Begriffes, einerseits unterbewertet und andererseits zu weit umfaßt. Teilweise werden Überwachungsfunktionalitäten und das Anzeigen eines Störungsortes schon zur Diagnose gerechnet, wobei dies jedoch nur einen Teilbereich der Diagnose darstellt. Im Gegensatz dazu ist der Vorschlag zur Fehlerbeseitigung, die Therapie, schon ein Mehr an Funktionalität, als der Begriff streng genommen fordert. Diese Auslegung rührt aus dem medizinischen Bereich her, in dem die Therapie untrennbar mit der Diagnose verbunden ist.

Die Merkmale oder Symptome, die eine Abweichung von einem Normalzustand anzeigen und eine Diagnose charakterisieren, können zur Fehlereinordnung entweder komfortabel auf direktem Wege von einem System erfaßt oder mit Hilfe manueller Eingaben des Bedienpersonals generiert werden. Dies unterscheidet on-line-Systeme von off-line-Systemen. Während sich die Funktionen eines on-line-Systems auf die Sensorik des technischen Systems stützen, werden bei off-line-Systemen allein die vielfältigen sensorischen Fähigkeiten des Menschen genutzt.

Die Entwicklungslinie technischer Diagnosesysteme läßt sich in mehrere Stufen gliedern, wobei die Ursprünge in der einfachen Anzeige einer Abweichung von einem geplanten Zustand mit Hilfe einer Warnleuchte liegen. Auf das Verfahren der permanenten Überwachung von Anlagen oder Prozessen stützen sich die weiteren Entwicklungen, um die jeweilig überwachten Objekte auf ihre Fähigkeiten und Stabilität hin zu bewerten. Kennzeichnend ist jedoch für die technische Diagnose im Sinne der Begriffsdefinition, daß ein Fehler nach der Art, dem Ort und dessen Ursachen anhand seiner Merkmale analysiert werden kann. Implizit wird damit zusätzlich der Vorschlag einer geeigneten Maßnahme verbunden, ohne jedoch anstatt von einem Diagnosesystem von einem Therapiesystem zu sprechen.

Für spezielle Problemgebiete, wie beispielsweise die Überwachung von Werkzeug auf Verschleiß oder Bruch, ist die Methode der Fehlerfrüherkennung entwickelt worden. Damit sollen sich abzeichnende Fehler in technischen Systemen sehr frühzeitig erkannt und vermieden werden.

### **2.6.1 Diagnoseverfahren und Einsatzbeispiele technischer Diagnosesysteme**

Aufgrund der in allen Bereichen der Fertigungstechnik geforderten Erhöhung der Verfügbarkeit von Produktionsmitteln sind zunehmend leistungsfähige Methoden

und Systeme für die Diagnose entwickelt worden. Die steigende Automatisierung und Flexibilisierung der technischen Systeme hat die Diagnose in diesen Bereichen zu einem festen Bestandteil für Forschung und Entwicklung werden lassen. [36]

Die Methoden der Diagnose lassen sich in die drei Gruppen der:

- zeitlich versetzten Fehleranalyse und Diagnose,  
die erst nach dem Eintritt eines Fehlers an einer Anlage oder der Entdeckung eines Prozeßfehlers eingeleitet wird,
- zeitgleichen Fehleranalyse und Diagnose,  
die zeitlich parallel zu den ablaufenden Funktionen einer Anlage oder der ablaufenden Prozesse arbeitet,
- frühzeitigen Fehleranalyse und Diagnose,  
die schon die sich im voraus abzeichnenden Abweichungen von Sollvorgaben erkennt und durch eine Warnung anzeigt,

einteilen. Jedes dieser Verfahren stellt seine spezifischen Anforderungen an die Erfassung von Merkmalen, die eine Abweichung des Ist-Zustandes zum geplanten Zustand beinhalten. Während bei der zeitgleichen und frühzeitigen Fehleranalyse und Diagnose stets das on-line-Verfahren zur Merkmalserfassung angewendet wird, kann bei der zeitlich versetzten Fehleranalyse und Diagnose auch das off-line-Verfahren zum Einsatz kommen.

Zur Verarbeitung der Merkmale und zur Bestimmung der Schlüsse, die aus den erfaßten Informationen zu ziehen sind, wird ein breites Spektrum an Verfahren eingesetzt. Die Verfahren umfassen beispielsweise die Parametermodellierung und -schätzung, die Mustererkennung [155], die Modellierung in Petri-Netzen [131], die Modellierung von Zustandsvektoren sowie eine breite Anwendung von wissensbasierten Methoden. Während einige der Verfahren in nahezu allen technischen Bereichen Anwendung gefunden haben, sind andere, wie zum Beispiel die Parametermodellierung, nur in bestimmten Zweigen wiederzufinden. Zur Umsetzung der Verfahren stehen gestuft komfortable Werkzeuge zur Verfügung.

Die Realisierungen von Systemen basieren entweder auf problemorientierten, prozeduralen Sprachen oder auf nicht-prozeduralen, konnektionistischen und kognitiven Methoden. In problemorientierten, prozeduralen Sprachen, wie beispielsweise C oder Pascal [122], können mit Hilfe von Algorithmen numerische Probleme sehr gut gelöst werden. Dabei werden der Weg und der Problemlösungsablauf genau definiert.

Die nicht prozeduralen, konnektionistischen und kognitiven Methoden [129] hingegen legen ihren Schwerpunkt auf die Problemlösung, wobei der Weg ebenfalls beschrieben, jedoch der Ablauf nicht starr determiniert ist. Beispiele dafür sind KI-Programmiersprachen wie Lisp oder Prolog. Sowohl in den prozeduralen als auch in den nicht-prozeduralen Programmiersprachen müssen die Inferenzmechanismen vom Programmierer entwickelt und implementiert werden.

In Expertensystemshells hingegen werden diese Mechanismen schon in differenziertem Umfang zur Verfügung gestellt. Kennzeichnend für Expertensystemshells ist die Trennung der Problemlösungsmechanismen von den Problemlösungsregeln.

Voraussetzung zur adäquaten Problemlösung mit Hilfe eines rechnergestützten Systems sind der Einsatz und die Repräsentation einer anerkannten Fachkompetenz. Aus diesem Grund liegt das Hauptproblem bei der Entwicklung eines Systems zur Fehleranalyse und Diagnose in der Akquisition von Wissen, mit dem die anstehenden Probleme gelöst werden sollen.

Die Anwendung der Methoden zur Fehleranalyse und Diagnose erstrecken sich auf sämtliche Gebiete, in denen generelle Probleme oder spezielle Teilprobleme an fertigungstechnischen Produktionsmitteln zu lösen sind. Die Ferndiagnose [2] stellt in diesem Zusammenhang eine besondere Lösung dar, die sich vor allem für kapitalintensive Sondermaschinen anbietet. Zur Beobachtung komplexer Prozesse werden beispielsweise mathematische und regelungstechnische Methoden angewandt, die zur technischen Sicherung der beteiligten Komponenten beitragen [24, 25].

Der Anwendungsbereich der Methoden umfaßt weiterhin Probleme der Verfügbarkeitssicherung von Montageanlagen und der entsprechenden Peripherien, die Werkzeugüberwachung an Werkzeugmaschinen, die Zustandsüberwachung von Industrierobotern sowie Probleme der Prozeß- und Qualitätssicherung und der zustandsabhängigen Wartung und Instandhaltung. Bei der bedarfsabhängigen Instandhaltung wird durch die Bestimmung des aktuellen Zustandes auf die noch verbleibende Restlaufzeit einer Anlage geschlossen [83].

## **Werkzeugmaschinen**

Im Bereich der Werkzeugmaschinen sind vielfältige Anwendungen zur Überwachung von Maschinenelementen und Werkzeugen entwickelt worden. Dies sind Lastüberwachungen von elektrischen Antrieben [49, 59, 123], Überwachung von Bauteilschäden [125], Vermeidung von Kollisionen sowie Verschleiß- und Bruchüberwachung von Werkzeugen [127]. Weiterhin werden Schwingungs- oder Körperschallmessung, Schallemissionsanalysen [143] durchgeführt sowie die Orientierung von Werkstücken überwacht. Diagnosestrategien, die hier zur Anwendung kommen, beruhen auf der Auswertung von [48]:

- ☐ Steuerinformationen, on-line oder off-line,
- ☐ Mustern,
- ☐ mathematischen Gleichungen (Parameterschätzverfahren).

Bei der Diagnose von Fehlern, die mit Hilfe von Steuerungssignalen erkannt werden können, werden Daten über DNC- (Direct Numeric Control) oder parallelen Ein-/Ausgängen von PLC-Schnittstellen (Programable Logical Control) abgenommen und in einem Rechner verarbeitet. Da die Steuerungs- und Sensorsignale di-

rekte physische Verbindung zu den Einzelkomponenten besitzen, sind sie maßgeblich am Verhalten der Maschine beteiligt. Dazu werden bei [149] und [135] die Systemstrukturen analysiert und einzelne Komponenten sowie ihr Verhalten in einem kausalen Modell abgebildet. In [128] erfolgt der Abgriff der Informationen zur Identifikation von Fehlerzuständen von einem Softwarebus der Maschine. Die Informationen sind einerseits schon direkt Fehlerzuständen zuordenbar oder werden andererseits einem weiteren Vergleich unterzogen. Zur Verarbeitung der Maschinenmeldung wird eine hybride Systemarchitektur eingesetzt, die sich im wesentlichen auf prozedurale Programmiersprachen und eine relationale Datenbank stützt. In [9] wird ebenfalls die Strukturierung der Informationen in einer Datenbank angewendet, wobei die Bearbeitung zur Diagnose in Prolog implementiert sind. Ebenfalls führt [64] die Merkmalsgewinnung mit einer direkten Maschinenkopplung durch und übergibt die Symptome einer anschließenden wissensbasierten Verarbeitung. Markant ist, daß hier die Expertensystemshell KEE auf einer Lisp-Maschine von Texas Instruments eingesetzt wird, die auf die hohen, speziellen Anforderungen der Wissensverarbeitung ausgelegt ist.

Die klassische Aufnahme und Auswertung von Informationen, die off-line an das Diagnosesystem übergeben werden, ist in [12] mit der Expertensystemshell Next Expert Objekts auf einem IBM-PC realisiert. Während eines Diagnoselaufes müssen Signalzustände, Kontrollanzeigen der Maschine sowie subjektive Eindrücke vom Personal in das Diagnosesystem eingegeben werden, das daraufhin die Diagnose generiert.

Bei der rechnergestützten Auswertung von Mustern werden unterschiedliche charakteristische Kennwerte einer Fertigungsmaschine aus meßbaren Größen, wie beispielsweise Schwingungs- oder Körperschallsignale von Getrieben oder Wellen, abgeleitet. Dieses Verfahren wird vorrangig dann eingesetzt, wenn die Zusammenhänge von Parametern nicht analytisch beschrieben werden können. Beispiele hierfür sind in [8], [67] und [145] aufgeführt. In [71] werden die Ergebnisse aus der Schwingungsanalyse dazu benutzt, den Zeitpunkt für eine zustandsabhängige Wartung des Produktionsmittels zu bestimmen.

Bei dem Parameterschätzverfahren wird von einem mathematischen Modell des zu diagnostizierenden Objekts ausgegangen. Das mathematische Modell wird mit Gleichungen beschrieben, wobei durch erfaßte, meßbare Parameter auf nicht meßbare geschlossen wird. Fehlermeldungen werden dann ausgegeben, wenn Parameter gegenüber dem fehlerfreien Betrieb unzulässige Abweichungen zeigen. Beispielhafte Anwendungen sind in [58], [59] und [154] beschrieben.

In der Arbeit von [69] wird der Weg der frühzeitigen wissensbasierten Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung dargestellt. Ziel ist es dabei, schon den Konstrukteur so zu unterstützen, daß ein verfügbarkeitsoptimales Fertigungssystem entwickelt werden kann. Zur Realisierung wurde die Expertensystemshell KEE auf VAX eingesetzt.

## Montageanlagen

Montageanlagen dienen zum Fügen von Teilen zu Gruppen einer höheren Erzeugnisebene. Sie bestehen entweder aus einzelnen oder aus einer Anordnung verketteter Montageeinrichtungen. Die Bandbreite reicht vom einfachen Einzwecksystem bis hin zu flexiblen, hochkomplexen Montageanlagen. Charakteristisch für den Montageprozeß ist das Transportieren und Positionieren von Produkträgern und Montageteilen, das Bereitstellen und Greifen, das Fügen der Teile zu einer Baugruppe oder zu einem Fertigprodukt sowie das abschließende Rückführen der Hilfseinrichtungen und Transportieren zu weiteren Stationen.

Die vielfältigen Einflüsse, die auf die Montagegeräte und die Zuführeinrichtungen einwirken, führen aus einem breiten Spektrum von Fehlermöglichkeiten. Ursachen für Fehler sind beispielsweise geometrische Abweichungen von Fügeteilen, Einflüsse aus der Umgebung, Fehlbedienungen des Bedienpersonals, zu empfindliche Fügeprozesse sowie der Verkettungsgrad der Einzelanlagen. Zur Sicherung der Verfügbarkeit sind deshalb Systeme entwickelt worden, die die unterschiedlichen Problembereiche einer Montageanlage und des Fügeprozesses überwachen.

In [45] wird die Entwicklung eines Diagnosesystems vorgestellt, das Steuerungssignale überwacht und die Kombinationen auf ihre Zulässigkeit hin überprüft. Anhand der Kombination der Sensorsignale, die als Summe aufgefaßt werden können, wird der Zustand des Montageprozesses identifiziert. Treten Abweichungen zwischen den Ist- und den Sollsummen auf, so wird auf einen Fehler geschlossen. Entwickelt wurde das System mit dem CASE-Tool Innovator, der C-Code erzeugt, auf einem Xenix-PC. Zur Beschreibung der diskreten Zustände und Ereignisse wird in [28] ein Modell der realen Prozeßstruktur aufgebaut. Die Zustände stellen die momentane Lage des Systems oder des Prozesses dar und Ereignisse beschreiben den Übergang von einem Zustand in einen Folgezustand. Die Abbildung der Zustands- und Ereignisstrukturen geschieht mit Hilfe der Petrinetze.

In dem Diagnosekonzept von [131] wird neben der Zustandsüberwachung zusätzlich die Zeitüberwachung angewendet. Die Sollzeiten von Anlagenfunktionen (Transitionen) werden auf das Einhalten, Unter- oder Überschreiten hin überwacht. Ferner wird überprüft, ob Zustände außerhalb des Einflußbereiches der Ereignisse liegen. Für die Beschreibung der Transitionen werden Petrinetze angewendet, wobei die Methodenbeurteilung auf [51] zurückzuführen ist, die ebenfalls in [28] benutzt wurde. Das Diagnosesystem wurde auf VAX WS 3520 unter VMS und C entwickelt. Die Anwendung ist eine Anlagensteuerung, die auf einer Siemens S5 basiert.

## Anlagenperipherien

Anlagenperipherieeinheiten beeinflussen in einem nicht unerheblichen Maße die Verfügbarkeit des eigentlichen Produktionsmittels. Arbeiten, die sich mit der Feh-

leranalyse von Peripherieeinheiten befassen, zielen darauf ab, durch die Fehlerminimierung die störungsfreien Laufzeiten des Produktionsmittels zu erhöhen. In [23] wird ein von der Steuerung unabhängiges Diagnosekonzept vorgestellt, in dem die Peripherieeinheiten wie Signalgeber, Aktoren und Stellglieder überwacht werden. Dazu werden Signale permanent erfaßt und in einem weiteren Einzelsignalvergleich analysiert. Die Signale werden durch die Anschaltung an die Steuerung (SPS) mit Hilfe von Schnittstellenkarten und Busübertragung an einen PC übermittelt.

In [44] wird ein System vorgestellt, das unter anderem zur Diagnose eines Werkzeugwechslers entwickelt wurde. Die off-line-Merkmalserfassung stellt die diagnoserelevanten Informationen zusammen, auf deren Basis die Regelverarbeitung des Expertensystems die Verdachtsmomente generiert. Die Realisierungsgrundlagen sind eine eigenentwickelte Expertensystemshell DESIS auf der Basis C auf einem IBM-AT.

### **Industrieroboter**

Diagnosesysteme in der Robotertechnik helfen, Fehler und Fehlerorte frühzeitig zu erkennen. Um solche Aussagen machen zu können, ist einerseits detailliertes Wissen über Komponenten wie Motoren, Getriebe, Arme und Greifer sowie andererseits über die Wirkungszusammenhänge zwischen den Komponenten erforderlich.

Zur Erfüllung der Diagnoseaufgabe müssen Signale erfaßt werden, die über hohe Aussagekraft, gute Reproduzierbarkeit, keine Korrelation untereinander verfügen und einfach zu erfassen sind. Solche Signale werden beispielsweise von Tachogeneratoren an den Achsen, Strommeßgeräten an den Motoren oder Körperschallmeßgeräten an den Getrieben zur Verfügung gestellt.

Die mit der Sensorik erfaßten Signale erlauben jedoch nur dann eine Aussage über den Zustand der jeweiligen Komponenten, wenn die Fehler eine direkte Auswirkung auf die Signale haben. Als reproduzierbar können nur Fehler erkannt werden, die eine hohe Auswirkung auf die Signale besitzen. Durch die Korrelation, die zwischen mehreren Signalen vorgenommen wird, können Fehler trotz der einzelnen nicht eindeutigen Signalverläufe erkannt werden. [141] In [38] werden aus den internen Daten einer Robotersteuerung und externer Sensoren die Symptome generiert, die in einem wissensbasierten Diagnoseteil verarbeitet werden. Die Zustandsbeschreibung wird im Regeltakt der Robotersteuerung berechnet. In [154] wird zur Fehlerdetektion ein Zustandsbeobachter für lineare und einer Klasse nichtlinearer Systeme vorgestellt. Durch die geeignete Rückkopplung werden die Schätzfehler des nichtlinearen Beobachters korrigiert. Der entwickelte Beobachter wurde am Beispiel eines Manutecroboters angewendet.

Eine weitere Anwendung der Diagnose stellt die Beurteilung von Einzelkomponenten dar. Für die Messung und die Beurteilung der Getriebeeigenschaften von Indu-

strierobotern wurden von [138] Verfahren entwickelt, die sich sowohl als Ausgangspunkt für eine Qualitätssicherung als auch zur Lebensdauerbestimmung eignen. Zur Anwendung der Verfahren wurde dazu ein Prüfstand aufgebaut, der zur Untersuchung elektromechanischer Antriebskomponenten dient. Die Ergebnisse werden zur Diagnose von Übertragungsverhalten genutzt, um die Einflüsse unterschiedlicher Getriebeeigenschaften darzustellen.

### **Prozeß- und Qualitätssicherung**

In der Prozeß- und Qualitätssicherung ist das vorrangig verfolgte Ziel, einen Regelkreis zur Fehlerminimierung aufzubauen. Die Qualitätsregelkreise werden zum einen maschinennah als kleiner Regelkreis und zum anderen maschinenfern unter Einbeziehung von Fertigungsleitrechnern oder Zellenrechnern als größerer Regelkreis ausgelegt. [47]

In [137] wird ein Beispiel eines Diagnosesystems in der Montage vorgestellt, das zur Verbesserung der Qualität bei Verschraubungen genutzt wird. Die Strukturierung des Wissens wird in die drei Bereiche Produkt, Prozeß und Werkstatt gegliedert, in denen die Diagnoseregeln zur Anwendung kommen.

Diagnosesysteme in der Elektronikproduktion, wie beispielsweise der Leiterplattenfertigung, unterstützen das Bedienpersonal in der Qualitätssicherung bei Prozessen zum Gießen von Lötstoplack und zum Heißverzinnen der Leiterplatten. Die Fertigungsmaschinen sind miteinander verkettet und werden von den Leiterplatten automatisch durchlaufen. Dabei sind für die Qualität bei den Prozeßschritten Parameter wie Vorwärmzeit und -temperatur, Lackviskosität und -temperatur, Belichtungs- und Entwicklungszeit wichtig. Schwerwiegend wirken sich Störungen an der Maschine zum Vortrocknen aus, nachdem die Platinen mit hoher Geschwindigkeit einen dünnen Lackvorhang durchlaufen haben. Leiterplatten, bei denen Lötäugen und Bohrungen nicht frei entwickelt werden können, müssen anschließend ausgesondert und verschrottet werden. In dieser Anwendung werden durch die Verbindung von Produktfehlerdaten und Maschinendaten Diagnosen erstellt, die gleichzeitig auch zur Parameteroptimierung dienen können. Die Vorteile, die sich ergeben, sind eine verkürzte Einarbeitungszeit neuer Mitarbeiter, die Verkürzung des Betreuungsaufwands, die Minimierung der Fehlersuchzeit, die Erhöhung der Verfügbarkeit und eine verbesserte Produktqualität. [4]

### **2.6.2 Methoden zur Akquisition technischen Wissens**

Die Wissensbasis eines Diagnosesystems ist die dominante Komponente, die die Leistungsfähigkeit zur Problemlösung festlegt. Aufgrund der Vielschichtigkeit von Problemen technischer Systeme und den sehr verschiedenen Applikationsbereichen kann davon ausgegangen werden, daß in der Mehrzahl der Neuentwicklungen von Diagnosesystemen die Wissensbasis neu zu erstellen ist. Schon geringfü-

gige Änderungen an technischen Systemen oder geänderte Randbedingungen führen zwangsläufig zu Änderungen oder Erweiterungen der Wissensbasis. Wird die Entwicklung der Wissensbasis vernachlässigt oder werden dringende Änderungen und Ergänzungen nicht durchgeführt, die auch durch die Halbwertszeit des Wissens erforderlich sein können, so leidet die Akzeptanz des Systems.

Voraussetzung für den Aufbau einer Wissensbasis ist, daß ein Experte verfügbar ist und sein Wissen zur Verfügung stellt. Das Wissen kann

- aus statistischen Merkmalen abgeleitet werden, die auf einen Zusammenhang zwischen Ursachen und Wirkungen schließen lassen,
- aus Assoziationen bestehen, die aufgrund von Erfahrung auf der direkten Verknüpfung zwischen Symptomen und Diagnosen beruhen oder
- aus kausalen Zusammenhängen hergeleitet werden, bei denen Fehler durch die explizite Beschreibung der Ursache-Wirkungsstruktur des technischen Systems ermittelt werden können.

Gleich, auf welcher Basis das Expertenwissen beruht und in welcher Datenstruktur dies für die Problemlösung hinterlegt wird, muß das Wissen erfaßt, analysiert und so aufbereitet werden, daß es in einer Wissensverarbeitung gehandhabt werden kann. Diese Aufgaben werden bei der Entwicklung eines Diagnosesystems in der Phase der Wissensakquisition bearbeitet. Weiterhin umfaßt die Wissensakquisition alle Aktivitäten der Wissensverarbeitung und -repräsentation sowie Maßnahmen die den Aufbau und die Pflege der Wissensbasis betreffen. [78]

Das Expertenwissen kann auf unterschiedliche Weise für den Einsatz in einem rechnergestützten Diagnosesystem erfaßt und strukturiert werden. Dabei wird zwischen der indirekten, der direkten und der automatisierten Methode unterschieden. [30]

Bei der indirekten Methode der Wissensakquisition sind zwei Personen an der Umsetzung des Expertenwissens in eine Wissensbasis beteiligt. Dies sind der Experte und der Wissensingenieur.

Der Wissensingenieur ist kein Experte auf dem Gebiet des zu bearbeitenden Problembereiches. Er hat allein die Aufgabe, das Wissen in den Interviews systematisch zu erfassen und zu strukturieren, um es zu einem späteren Zeitpunkt zum Aufbau der Wissensbasis implementieren zu können. Dazu muß der Experte sein Wissen in einfacher, verständlicher und kontextfreier Form darstellen. Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige Wissensbasis ist die gute Zusammenarbeit zwischen Experte und Wissensingenieur.

Die direkte Wissensakquisitionsmethode spart die Schnittstelle zwischen Experten und Wissensingenieur aus. Eventuelle Informationsverfälschungen oder Mißverständnisse, wie sie bei der indirekten Akquisitionsmethode immer wieder vorkom-



## Entwicklungsaufwand für die Basissysteme

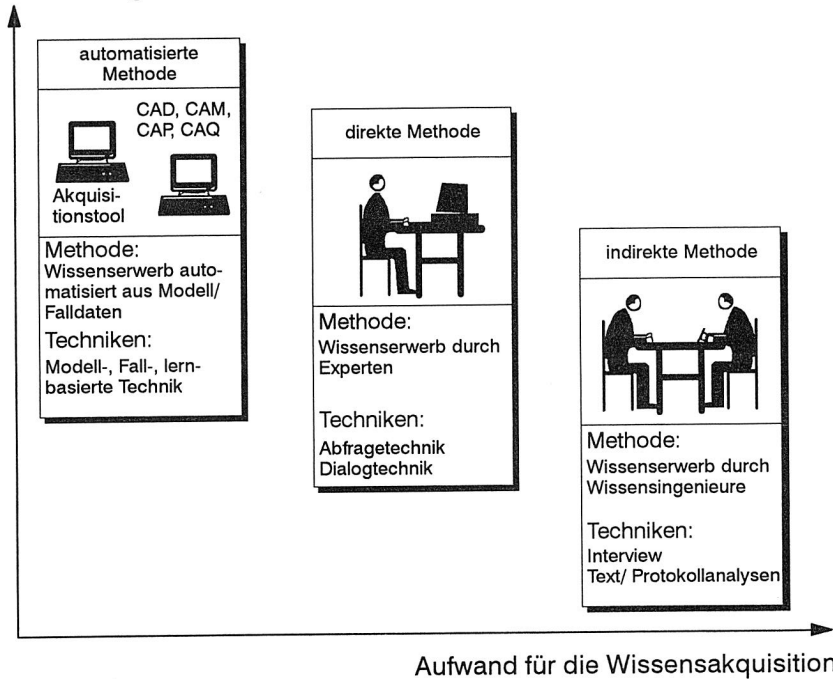


Bild 2-21: Unterschiedliche Wissensakquisitionsmethoden zur Entwicklung einer Wissensbasis für die technische Diagnose [nach 30]

men, werden auf diese Weise schon im Vorfeld eliminiert. Ersatzweise muß der Experte jedoch durch geeignete Methoden unterstützt werden, damit er selbständig die Wissensbasis für ein Diagnosesystem erstellen kann. Im Gegensatz zum Wissensingenieur sollte dem Experten jedoch kein spezielles Wissen über die Struktur des Akquisitionssystems abverlangt werden. Leistungsfähige, rechnergestützte Wissensakquisitionssysteme müssen dazu in der Lage sein, durch die Abfolge strenger Systematiken das Expertenwissen in einer Datenstruktur abzubilden. [30, 77, 110]

Die automatisierte Akquisition von Expertenwissen geht davon aus, anhand von analysierten Fallbeispielen von bereits aufgetretenen Fehlern auf zukünftige, unbekannte Fehler zu schließen. Die Realisierung dieser Methode hat den Vorteil, daß die langen Entwicklungszeiten für die Erstellung einer Wissensbasis minimiert werden könnten. Diese Methoden befinden sich derzeit noch auf einem frühen Forschungs- und Entwicklungsstand. [5, 30]

### **3      *Systematische Vorgehensweise zur Akquisition und Repräsentation planerischen Wissens für die Diagnose***

Die zentralen Bereiche bei der Entwicklung eines Diagnosesystems sind die Wissensakquisition und die Wissensrepräsentation. Beide Entwicklungsbereiche beeinflussen in entscheidendem Maße die Akzeptanz eines Diagnosesystems. Die Akzeptanz ist Dreh- und Angelpunkt zum ersten bei den Entscheidungsträgern, die sich für oder gegen die Realisierung und den Einsatz eines Diagnosesystems aussprechen, zum zweiten bei den Experten, die ihre Erfahrung und ihr Wissen in die Entwicklung einbringen sollen und zum dritten bei den Anwendern, die den größtmöglichen Nutzen aus einem Diagnosesystem ziehen sollen.

Die Entscheidungsträger bestimmen über die Entwicklung eines Diagnosesystems und verfolgen dabei das Ziel, einen determinierten Nutzen mit einem möglichst geringen Investitionseinsatz zu erzielen. Steigen die Kosten während der Entwicklungs- und Realisierungsphase an, so sinkt die Akzeptanz der Entscheidungsträger, was zur Gefährdung des gesamten Projektes führen kann.

Der Experte stellt seine Erfahrung und sein Wissen für die Entwicklung eines Diagnosesystems zur Verfügung, das während der Phase der Wissensakquisition erfaßt wird. Beinhaltet diese Aufgabe jedoch eine erhöhte Belastung, oder befürchtet der Experte mögliche spätere Nachteile, so sinkt die Bereitschaft zur Mitarbeit. Das Problem ist der Aufwand an Zeit, den der Experte oftmals nicht zur Verfügung stellen kann, da die täglichen Aufgaben dies nur schwerlich erlauben. Sehr praxisorientierten Experten mit keinen oder nur geringen theoretischen Grundkenntnissen fällt es zudem häufig schwer, das Wissen so exakt und systematisch zu verbalisieren, daß es in ein rechnergestütztes System übertragen werden kann. [144] Es ist absehbar, daß die erreichbare Qualität des Systems nicht realisiert werden kann.

Der Anwender als letztes Glied in der Kette erwartet von einem Diagnosesystem eine Erleichterung und Unterstützung zur Bewältigung seiner täglichen Probleme. Verlangt die Bedienung des Diagnosesystems eine längere Einarbeitungsphase, oder werden die Erwartungen über die Nutzbarkeit und Ergebnisse der Hilfestellungen nicht erfüllt, so wird das Diagnosesystem nur selten genutzt werden.

Die Halbwertszeit des diagnostischen Wissens spielt eine entscheidende Rolle. Zum einen sinkt die Akzeptanz des Anwenders, wenn die Diagnosen dem Anwender schon größtenteils bekannt sind, und zum anderen erfordert dies die weitere Entwicklung des Systems, was wiederum mit Kosten verbunden ist.

Einer der vorgenannten Gründe kann schon ausreichend sein, die Entwicklung und den Einsatz eines Diagnosesystems zu gefährden und damit den erhofften Nutzen nicht zu erreichen. Untersuchungen, deren Ergebnis in Bild 3-22 dargestellt ist, haben gezeigt, daß die Wissensakquisition und -repräsentation den wichtigsten und zugleich kritischsten Entwicklungsbereich darstellen [107]. Der Auf-

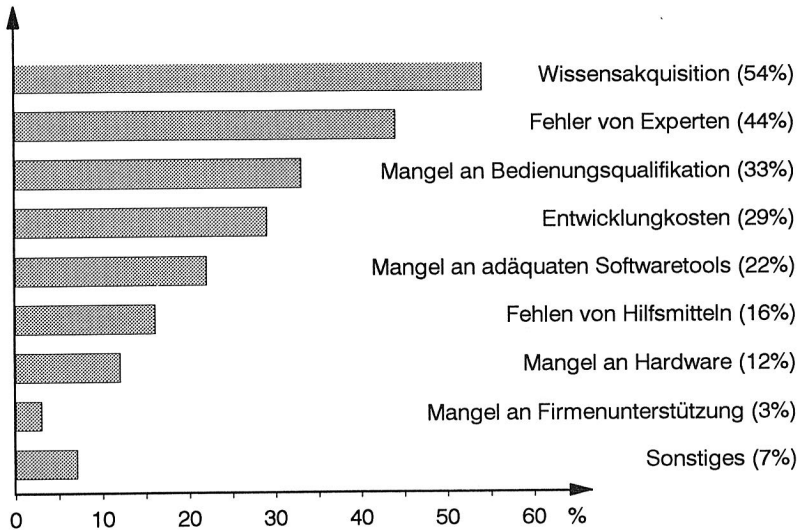
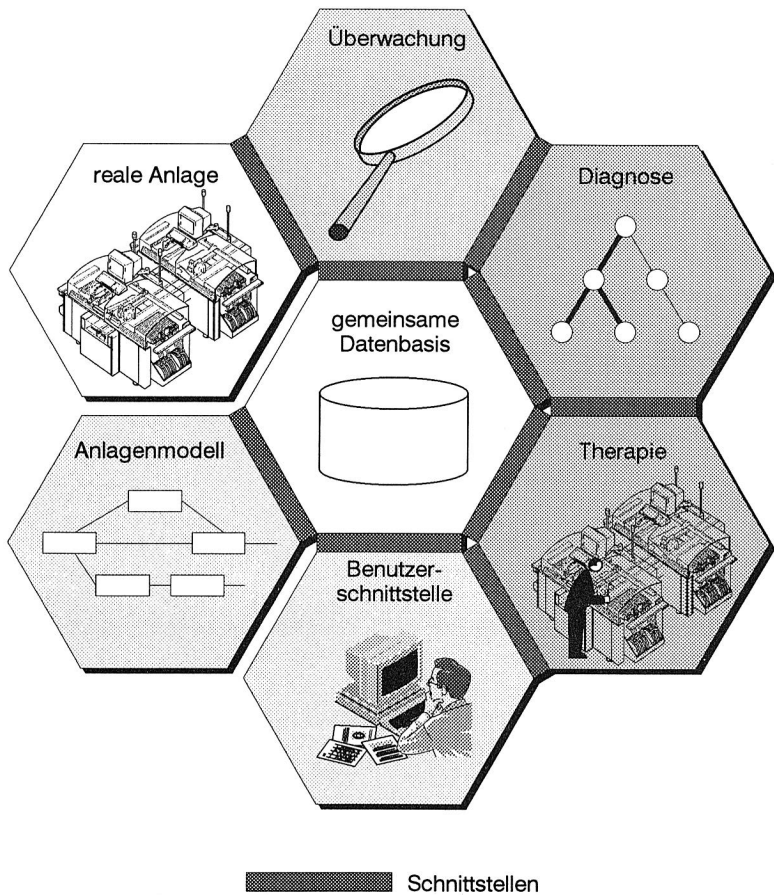


Bild 3-22: Problemschwerpunkte bei der Entwicklung wissensbasierter Systeme [107]

wand und die Qualität des Ergebnisses entscheiden dominant über den Erfolg oder Mißerfolg eines Diagnosesystems. Oberstes Ziel bei der Entwicklung eines Diagnosesystems muß es daher sein, die beiden Bereiche der Wissensakquisition und der Wissensrepräsentation dahingehend zu optimieren, daß eine Akzeptanz bei allen beteiligten Personengruppen erreicht wird. Auf diese Weise kann vermieden werden, daß Entwicklungen schon nach kurzer Zeit veraltet sind und sichergestellt werden, daß die Investitionen den erhofften Gewinn erbringen.

### 3.1 Die Funktionseinheiten eines Diagnosesystems

Ein Diagnosesystem soll die Strukturen, Funktionen und Abläufe eines Produktionsmittels möglichst genau abbilden. Diese Informationen werden in einem Anlagenmodell hinterlegt. Auf dieses Anlagenmodell stützt sich die Diagnose bei der Problemfindung und -lösung. Das Wesentliche bei der Modellbildung ist die genaue Abbildung der Strukturen und Ereignisse, die im realen Anlagen- oder Prozeßablauf auftreten. Je genauer die Abbildung in einem Modell erfolgt, desto präziser und zuverlässiger werden die Ergebnisse einer Diagnose ausfallen. Da die Strukturen aufgrund der Komplexität der Realität insgesamt nicht geschlossen darstellbar



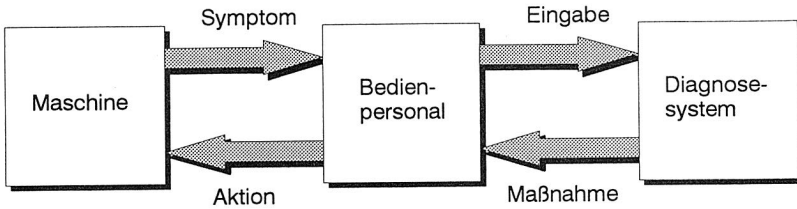
*Bild 3-23: Die einzelnen Komponenten eines Diagnosesystems nach Funktionen gegliedert*

sind, muß sich die Modellbildung auf die wesentlichen Strukturen beschränken und die unwesentlichen abstrahieren oder vernachlässigen. Dies erfordert jedoch zuvor die Klassifizierung der Begriffs- und Zuordnungsmerkmale sowie die Entwicklung von Strukturkonzepten oder kognitiver Strukturen. [126]

Die Überwachungskomponente als Schnittstelle zum realen Prozeß ist nahe an der Montageanlage angeordnet. Sie sorgt zum einen für die stetige Erfassung von unterschiedlichsten Informationen und führt zum anderen einen ständigen Vergleich

mit Vorgabewerten durch. Aufgrund der Nähe zu den Anlagenprozessen muß sich die Ausführung der Funktionen an dem Zeithorizont der Zustandsänderungen des realen Anlagen- und Prozeßgeschehens orientieren.

### off-line-Diagnose



### on-line-Diagnose

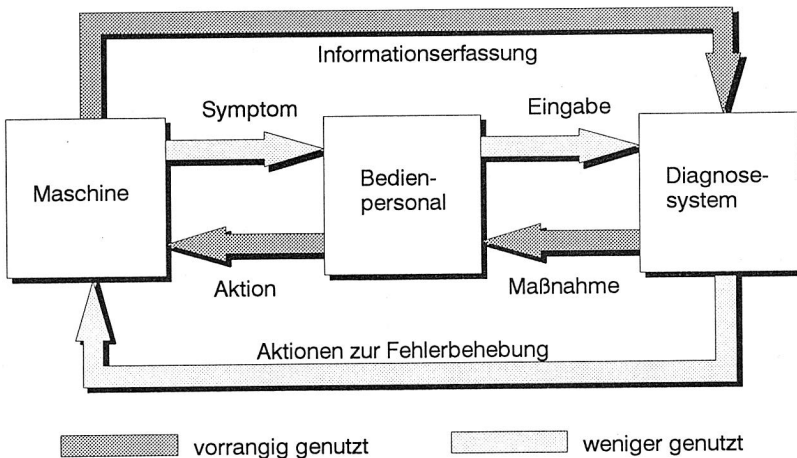


Bild 3-24: Unterschiedliche Funktionsweisen eines on-line- und off-line-Diagnose-systems

Die Aufzählung der Anforderungen an ein Diagnosesystem zeigt schon die Strukturierung in Funktionsblöcke, wie sie in Bild 3-23 dargestellt sind. Die Benutzerschnittstelle symbolisiert in diesem Bild die zwei Aufgaben der Informationsein- und -ausgabe. Zum einen werden hier sämtliche Informationen während der Entwicklungsphase, beispielsweise der Wissensakquisition, hinterlegt sowie Konfigurationen durchgeführt und zum anderen die Informationen im Fehlerfall an das Bedienpersonal gegeben.

Im Fehlerfall werden in der Diagnosekomponente mit dem hinterlegten Modell und dem Wissen treffende Informationen an das Bedienpersonal gegeben. Diese Informationen enthalten Angaben über Fehlerart, Fehlerort und Fehlerursache. Durch eine Therapiekomponente werden die in Frage kommenden Maßnahmen vorgeschlagen. Auf diese Weise kann die Anlage mit dem Erfahrungswissen des Bedienpersonals und der Unterstützung in schwierigen Fällen durch das Diagnosesystem wieder in den funktionsfähigen Zustand zurückversetzt werden.

Je nach Kopplung der Datenerfassung an eine Maschine oder an einen Prozeß lassen sich Diagnosesysteme in zwei Gruppen einteilen. Das Bild 3-24 zeigt qualitativ die unterschiedlichen Wege der Informationsvermittlung bei einem on-line- und off-line-Diagnosesystem. Bei dem off-line-Diagnosesystem wird das System vollkommen entkoppelt von dem Diagnoseobjekt betrieben. Im Fehlerfall führt das Bedienpersonal eine Symptomerhebung durch und gibt diese in das Diagnosesystem ein. Die anschließend vorgeschlagenen Maßnahmen werden vom Bedienpersonal auf Plausibilität geprüft und anschließend in Aktionen umgesetzt, um den Fehler zu beseitigen. Diese Vorgehensweise ist sehr zeitintensiv, da immer vom Einstiegspunkt einer groben Einordnung des Fehlers begonnen wird und anschließend erst die verfeinerte Fehlersuche durchgeführt werden kann.

Das on-line-Diagnosesystem hingegen ist über eine oder mehrere Schnittstellen der Überwachungskomponente direkt an das Diagnoseobjekt angekoppelt. Auf diese Weise sind eine ständige Überwachung und ein permanenter Soll-Ist-Vergleich möglich. Im Fehlerfall steht bereits ein großes Spektrum der Informationen zur Verfügung. Dies hat den Vorteil, daß die Symptomerhebung schon fortgeschritten durchgeführt ist und das Bedienpersonal sehr viel tiefer mit der Fehlersuche aufsetzen kann. Die stark ausgeprägten Pfeile in Bild 3-24 deuten an, daß die Informationserfassung ein hohes Potential zur Automatisierbarkeit bietet, wobei bei der Ausführung der Aktionen das Bedienpersonal sehr stark eingebunden ist.

Die Aufteilung der unterschiedlichen Funktionalitäten eines Diagnosesystems in verschiedene hierarchische Aufgabenebenen erweist sich aufgrund des differenzierten Anforderungsprofils als sehr sinnvoll. Im folgenden soll auf die angesprochenen Funktionsblöcke näher eingegangen werden.

### **3.1.1 Die Systemkomponente Überwachung**

Die Überwachungskomponente eines Diagnosesystems nimmt einen hohen Stellenwert ein und bildet die erste Stufe in der Diagnosefunktionalität. Sie umfaßt die hardwaretechnischen Schnittstellen zwischen dem Produktionsmittel und dem Diagnosesystem sowie die softwaretechnischen Routinen, beispielsweise zur Zustands- und Zeitüberwachung. Die Überwachungskomponente befindet sich sehr nahe an den auf den Produktionsmitteln ablaufenden Prozessen. Die Anforderungen an die Rechen- und Reaktionsgeschwindigkeit werden demzufolge von der zeitlichen Abfolge der Maschinenzustände und -prozesse bestimmt. Die Überwa-

chungskomponente führt eine stetige Erfassung von Informationen an den definierten Schnittstellen durch und vergleicht diese mit Vorgabewerten, die aus dem Anlagenmodell entnommen werden.

Wie in Kapitel 2.4.3 (S. 27) schon ausführlich dargestellt, ist die Überwachungskomponente der Eintrittspunkt für Informationen aus Steuerungsprotokollen, Sensordaten oder manuellen Eingaben. Beim Einsatz zusätzlicher Sensorik basiert die Arbeitsweise der einzelnen Sensoren auf den unterschiedlichsten physikalischen Prinzipien. Die Bandbreite der Meßgrößen reicht hier von Druck, Temperatur und Beschleunigung über Schwingung, Kraft und Momente. Während Prozeßdaten überwiegend in Form von analogen Werten vorliegen, können die Zustandsdaten einer Maschine in der Regel durch binäre Signale erfaßt werden.

Die unterschiedlichen Meßgrößen müssen nach der Erfassung durch die Sensorik einen zweistufigen Anpassungsprozeß durchlaufen, damit die Werte an eine einheitliche Schnittstelle übergeben werden können. Die Meßgrößen werden im Sensor zunächst generell in ein elektrisches Signal umgewandelt. Das Signal liegt dann am Signalausgang des Sensors entweder in binärer oder in analoger Form vor. Während binäre Signale nur noch verstärkt werden, passieren die analogen Signale zuvor eine analog-digitale Wandlerstufe. Mit Hilfe des A/D-Wandlers werden die analogen Werte diskretisiert, damit diese in der Schnittstellen- und Rechnerlogik verarbeitet werden können. Die exakte Anpassung der Pegelwerte ist nicht unbedingt erforderlich, da die Schnittstellen weite Amplitutenbereiche der Meßgrößen verarbeiten können.

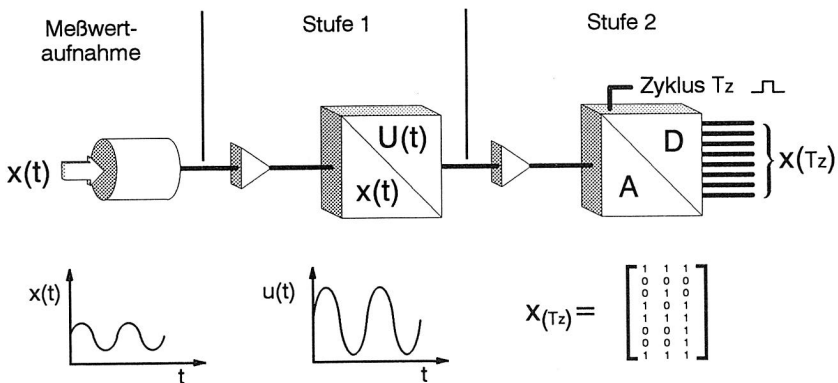


Bild 3-25: Umwandlung der erfaßten Meßsignale in einem zweistufigen Prozeß zur weiteren Bearbeitung durch Prozeßrechner

Im Hinblick auf die Auslegung der Erfassungs- und Rechentechnik lassen sich die Sensorsignale in die Gruppen der quasi-statischen und der dynamischen Signale einteilen. Quasi-statische Signale sind dadurch charakterisiert, daß sie ihren Wert nur in weiten Zeitbereichen ändern. Im Gegensatz dazu können dynamische Signale in nahezu beliebig kurzer Zeit ihren Wert ändern. Aus diesen Bedingungen stellt sich gemäß der Formulierung des Abtasttheorems die Anforderung, daß das Signal einer periodischen Zustandsänderung mindestens zweimal abgetastet werden muß. Nur so läßt sich sicherstellen, daß der Signalverlauf fehlerfrei zurückgewonnen werden kann [73].

Für die Verfolgung von Maschinenzustandsänderungen wird entweder die Strategie der periodischen oder die der ereignisgesteuerten Erfassung eingesetzt. Die periodische Zustandserfassung benutzt eine fest vorgegebene Zeitscheibe. Nach dem Ablauf der Zeitscheibe wird jedesmal die Aktion zur Zustandserfassung ausgelöst und in den Rechner übernommen. Die ereignisgesteuerte Datenerfassung hingegen löst die Aktion nur nach einer Zustandsänderung der zu überwachenden Meßgröße aus. Folgen die Zustandsänderungen zu schnell aufeinander, so daß die Erfassungszeit größer als die Signalzeit ist, dann können die Daten in einem Speicher zwischengepuffert werden.

Bei der Auswahl der zur Verfügung stehenden Informationen muß immer größter Wert auf die Integrität und Zuverlässigkeit gelegt werden. Dabei ist zu beachten, daß falsche oder unvollständige Informationen unberücksichtigt bleiben sollten. Dies trifft vor allem in einem hohen Maße für Eingaben durch das Bedienpersonal zu, da möglicherweise entweder falsche Werte hinzugefügt oder wichtige Werte vergessen werden. Eine wesentliche Forderung an die Informationserfassung ist deshalb, daß sie sich so weit wie möglich auf automatische, in der Maschine generierte Informationen stützt. Damit wird erstens die Anzahl der Schnittstellen minimiert und zweitens die Möglichkeit der Verfälschung und somit einer Fehlerfortpflanzung [82] ausgeschlossen. Trotz der Vorteile, die eine automatisierte Informationserfassung bietet, muß die Möglichkeit zur Eingabe von Beobachtungen des Bedienpersonals bestehenbleiben.

Eine weitere Hauptaufgabe der Überwachungskomponente ist neben der Datenerfassung die Vorverarbeitung der Daten durch den Vergleich zwischen Soll-Vorgaben aus dem Anlagenmodell mit den realen Ist-Zuständen des Produktionsmittels. Hier können zwei Methoden unterschieden werden. Entweder werden die Abläufe des störungsfreien Betriebes oder die Zustände eines gestörten Betriebes in dem Anlagenmodell hinterlegt. Während bei der Abbildung des störungsfreien Betriebes in einem Anlagenmodell eine vollständige Beschreibung des Anlageverhaltens abgespeichert werden muß, ist im Gegensatz dazu bei der anderen Methode die Menge nahezu aller möglichen Fehlzustände zu berücksichtigen und zu handhaben.



Beide Methoden haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Zur Entwicklung eines Konzepts für ein Diagnosesystem ist es vorteilhaft, die jeweiligen Stärken der unterschiedlichen Methoden zu nutzen und in einem hybriden System zu integrieren.

### 3.1.2 Die Systemkomponente Diagnose

Unter dem Begriff der Diagnose wird zumeist der gesamte Prozeß der Fehlererkennung, Fehlerlokalisierung, Ursachenbestimmung und des Maßnahmenvorschlages verstanden. Die unterschiedlichen Funktionen müssen jedoch bei der technischen Realisierung sehr differenziert gehandhabt werden. Die Überwachung führt einen ständigen Vergleich zwischen Soll- und Ist-Werten durch. Im fehlerfreien Zustand wird die Diagnosekomponente während dieser Zeit nicht konsultiert. Im Fehlerfall gibt die Überwachungskomponente die erfaßten und vorverarbeiteten, zum Teil komprimierten Daten an die Diagnosekomponente weiter. Während die Überwachungskomponente aufgrund ihrer datentechnischen Nähe zur Maschine oder zum Prozeß schon Informationen über Auftrittort und eventuell über die Art des Fehlers geben kann, führt die Diagnosekomponente eine tiefergehende Untersuchung nach den wahrscheinlichen Ursachen durch. Zur Erfüllung dieser Aufgabe werden eventuell noch weitere Informationen benötigt, die entweder von der Überwachung oder vom Bedienpersonal angefordert werden. Sollen außer binären Signalen auch analoge Signale überwacht werden, so sind bei der Überschreitung von Warngrenzen schon Informationen an die Diagnosekomponente weiterzugeben, um präventiv die Problemlösung einzuleiten. In diesem Fall ist auch der Grad der Differenz einer Abweichung eine wichtige Kennzahl.

Kennzeichnend für eine leistungsfähige und zugleich flexible Diagnosekomponente ist die Trennung zwischen den Softwarekomponenten der Datenhaltung und der Verarbeitungsmechanismen. Die Datenhaltung beinhaltet die Wissensbasis, in der die Struktur und das technische Expertenwissen über das Diagnoseobjekt hinterlegt sind. In den Verarbeitungsmechanismen sind die Strategien beschrieben, nach denen das gespeicherte Wissen für die Diagnose angewendet und nach aufgetretenen Fehlern gesucht wird. Mit dieser Trennung wird eine Flexibilität erreicht, die es ermöglicht, bei veränderten oder mehreren Diagnoseobjekten entweder die Datenbasen einfach gegeneinander auszutauschen oder wechselweise zu laden. Durch die Entwicklung unterschiedlicher Wissensbasen wird ebenfalls eine Modularisierung des Wissens erreicht. Damit läßt sich zum einen das Wissen einfacher und besser strukturieren, und zum anderen wird eine kleinere, übersichtlichere Datenstruktur erreicht. Die Entwicklung und Verifizierung läßt sich mit dieser Vorgehensweise sehr vereinfachen.

Während eine Diagnose und eine anschließende Therapie der schnellen Fehlerbeseitigung dienen, ist die Protokollierung aufgetretener Fehler vor allem für eine Beurteilung markanter Schwachstellen und Störungshäufigkeiten sinnvoll. Dies

ist eine zweckmäßige Ergänzung der Diagnosefunktionalität, um beispielsweise aufgrund von Häufigkeitsverteilungen und Auftretswahrscheinlichkeiten eine Optimierung an der betreffenden Anlage durchzuführen oder die Terminplanung zu unterstützen. Auf diese Weise wird eine effizient kurzfristige sowie nachhaltige langfristige Verbesserung im Störungsverhalten einer Anlage erreicht.

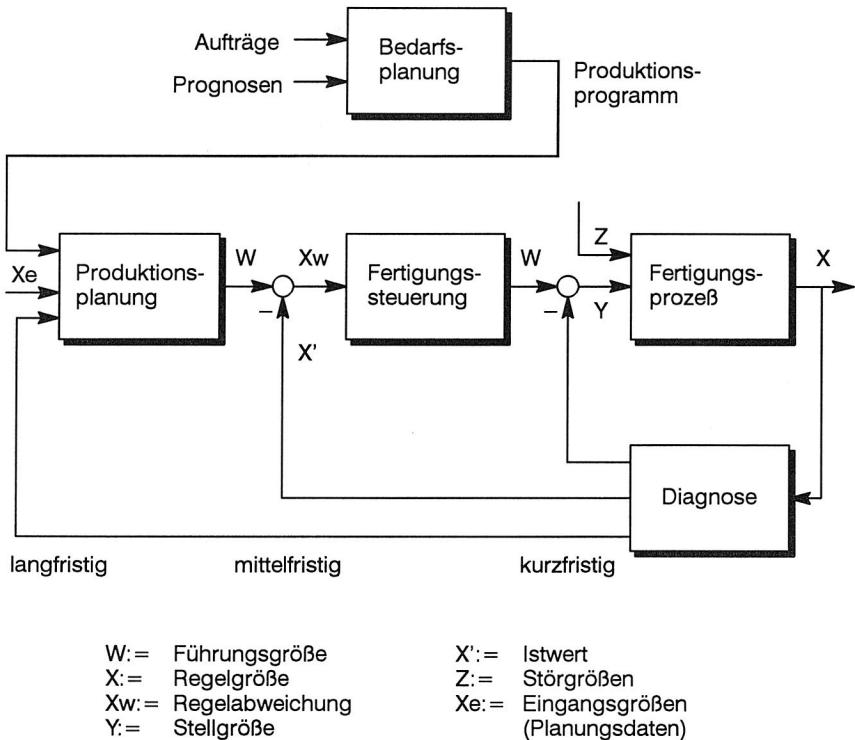


Bild 3-26: Die Diagnose als wesentlicher Bestandteil im Regelkreis der Produktion

In diesem Sinn kann die Produktion, wie im Bild 3-26 dargestellt, mit der vorgelagerten Fertigungsplanung und -steuerung als Regelkreis aufgefaßt werden, in dem mehrere Instanzen für den Abgleich von Regeldifferenzen eingebunden sind. Aufgrund der Störungen ( $Z$ ), die auf den Fertigungsprozeß einwirken, sind die Sollvorgaben ( $W$ ) mit den Istwerten ( $X$ ) permanent zu vergleichen und bei Abweichungen entsprechend des Zeithorizontes einzugreifen.

### 3.1.3 Maßnahmen

Die letzte Stufe einer automatisierten Fehlerbehandlung mit Hilfe eines Diagnosesystems ist die Therapiekomponente. Diese tritt in Aktion, nachdem ein Fehler von der Überwachung detektiert und in der Diagnose klassifiziert worden ist. Die Diagnose löst daraufhin in der Therapiekomponente adäquate Aktionen zur Fehlerbehandlung aus. Die Aktionen umfassen das schnelle Generieren von Meldungen und Protokollen, die dem Bedienpersonal die Informationen zur zügigen Fehlerbehebung zur Verfügung stellen, um die Stillstandszeiten der Anlage so gering wie möglich zu halten.

Die Therapiekomponente muß zur Erfüllung dieser Aufgabe die Benutzerschnittstelle bedienen, über die sämtliche Informationen an das Bedien- oder Instandsetzungspersonal vermittelt werden. Die Anforderungen an die Benutzerschnittstelle ist die schnelle und prägnante Darstellung der Informationen, die bei Bedarf durch weitere Text- oder Bildinformationen ergänzt werden kann. Eine direkte Kopplung der Therapiekomponente mit dem Steuerungssystem ist zwar prinzipiell denkbar, sie wird jedoch aufgrund der hybriden technischen Systemkomponenten und der stets vorzunehmenden Plausibilitätsprüfung kaum genutzt.

Im Gegenzug dazu gibt das Bedienpersonal Informationen über erfolgreiche Maßnahmen mit Hilfe der Benutzerschnittstelle an das Diagnosesystem zurück. Diese Informationen werden in speziellen Einträgen gespeichert. Die Einträge dienen zum einen zur Bestimmung der Quote erfolgreicher Maßnahmen und zum anderen dazu, das anfänglich gespeicherte Wissen ständig nach einer Evaluierungsstrategie zu systematisieren.

### 3.1.4 Systemintegration und Schnittstellen

Die on-line-Diagnose verlangt für die Generierung aussagekräftiger Beschreibungen von Fehlerursachen, die zu einer schnellen Fehlereingrenzung und -behebung führen sollen, eine enge Ankopplung an das Diagnoseobjekt. Dieses umfaßt die Steuerung und die Peripherie einer Montageanlage. Die Kopplung zwischen Montageanlage und Diagnosesystem wird über die Überwachungskomponente hergestellt, die über die erforderlichen hard- und softwaretechnischen Schnittstellen verfügen muß.

Gerade die Stärke der Ankopplung entscheidet maßgeblich über den Grad der Tiefe und der Breite der Diagnose. Mit einer zunehmenden Informationstiefe und -breite können verfeinerte Aussagen getroffen werden, einerseits qualitativ durch vertiefte Ursachenbestimmung von Fehlern und andererseits quantitativ durch ein verbreitertes Spektrum an Diagnosen. Aber gerade diese Thematik ist aufgrund der außerordentlich großen Differenz und Varianz der Schnittstellen sowie der Protokolle sehr vielschichtig geartet.

Da weder eine Norm noch eine Übereinkunft über Schnittstellen oder den Informationsaustausch von Produktionsmitteln für Überwachungs- und Diagnosefunktionen existiert, nutzt jeder Hersteller die ihm zur Verfügung stehenden technischen Freiheitsgrade. Die Folge sind viele herstelllerspezifische Realisierungen, die beispielsweise auf seriellen Schnittstellen wie RS232, Stromschleifen oder spannungsbezogenen Übertragungsprinzipien basieren. [146]

So vielschichtig wie die Schnittstellen sind auch die Unterschiede im Informationsangebot, das unterschiedliche Anlagen zur Verfügung stellen. Während einige Anlagen schon steuerungsinterne Überwachungsroutrinen beinhalten und über Schnittstellen verfügen, lassen andere jegliche Unterstützung solcher Funktionen oder Anschlußpunkte vermissen.

Generell läßt sich die informationstechnische Kopplung eines Diagnosesystems mit der Montageanlage in die drei Kategorien der starken, schwachen und unabhängigen Kopplung einteilen.

#### □ **Starke Kopplung**

Die starke Kopplung eines Diagnosesystems zu einer Anlage liegt dann vor, wenn die Anlagensteuerung selbst schon über Überwachungs- und Diagnose-routinen im Steuerungsprogramm verfügt. Vom Diagnosesystem kann im Fehlerfall auf Ergebnisse dieser Routinen zugegriffen werden, um sie dann weiter-zuverarbeiten.

Die starke Kopplung hat für die Entwicklung des Diagnosesystems die Vorteile eines geringen Aufwandes zur Datenerfassung, da die Überwachungsroutrinen schon im Steuerungsprogramm implementiert sind sowie der gesicherten Übertragung der Informationen über die internen Kommunikationssysteme. Aufgrund der Gesamtheit des erfaßbaren Informationsfeldes lassen sich vielfältige Möglichkeiten der Steuerungs- und Peripherieüberwachung realisieren. Dies läßt sogar den direkten Eingriff in den Funktionsablauf zu, beispielsweise durch Auslösen eines Anlagenstops beim Erkennen gefährlicher Situationen.

Durch die integrierten Überwachungsroutrinen ergeben sich jedoch neben den Vorteilen auch Nachteile. So muß man sich bei der Entwicklung des Diagnose-systems sehr stark nach den spezifischen Vorgaben des Anlagenherstellers bezüglich der Hard- und Software richten. Diese Bedingung wiederum schränkt das Spektrum der nutzbaren Softwarewerkzeuge für die Entwicklung eines Diagnosesystems stark ein.

Durch die zusätzlichen Routinen steigt der Komplexitätsgrad der Steuerungs- software an. Dies kann bei Programmfehlern, die nie ganz auszuschließen sind, zu erhöhten Ausfallraten der Maschine führen. Die Abarbeitung der Rou-trinen ihrerseits erfordert Prozessorzeit der Steuerung, die im Fall einer hohen Last der Steuerungsfunktionen eine Beeinträchtigung der Arbeitsabläufe ver-ursacht.

### □ **Schwache Kopplung**

Im Fall der schwachen Kopplung verfügt die Anlagensteuerung über keine Überwachungs- oder Diagnoseroutinen im Steuerungsprogramm. Das Diagnosesystem wird vollkommen unabhängig von der Anlagensteuerung betrieben. Die Kopplung der Überwachungskomponente zu den Anlageninformationen stützt sich allein auf das Anzapfen von Kommunikationsschnittstellen der Steuerung. Dies sind beispielsweise SPS- oder anlageneigene Sensorausgangssignale, die durch parallele Signalaufnahmen überwacht werden oder Steuerungsbussysteme, auf denen der Informationsaustausch durch Mithören erfolgt wird.

Das Diagnosesystem kann bei der schwachen Kopplung ohne Restriktionen des Anlagenherstellers entwickelt werden. Damit ist der Entwickler frei in der Auswahl der Programmiersprache oder einer Shell und unabhängig in der Konfiguration eines Rechnersystems. Im Gegensatz dazu ist jedoch ein erhöhter Aufwand für die Informationserfassung erforderlich. Dafür sind umfangreiche Verdrahtungen vorzunehmen, durch die die Signalsicherheit beeinträchtigt werden kann. Weiterhin sind aufgrund der allein externen Informationserfassung nur eingeschränkte Überwachungsmöglichkeiten gegeben.

### □ **Unabhängige Kopplung**

Ein Diagnosesystem mit unabhängiger Kopplung wird ebenfalls vollkommen unabhängig von der Anlagensteuerung betrieben. Sie wird dadurch charakterisiert, daß im Gegensatz zur schwachen Kopplung keinerlei anlageneigene Sensorik oder Steuerungssignale benutzt werden. Die Überwachung stützt sich allein auf speziell nachgerüstete Sensorik. Diese Kopplungsart wird vor allem dann genutzt, wenn Diagnosen für Werkstücke, Werkzeuge oder Prozesse erstellt werden sollen, für die die Maschine keine Sensorik besitzt. Beispiele hierfür sind Maschinen für zerspanende Prozesse, wie Wärmeuntersuchungen an Werkstücken oder Schwingungsanalysen.

Die Kategorisierung zeigt, daß für die Auswahl einer geeigneten Kopplungsart zum einen das Aufgabenfeld und zum anderen die Fähigkeiten einer Maschinensteuerung für Diagnoseaufgaben entscheidend ist. Im zweiten Zug müssen die jeweiligen Vor- und Nachteile einer Kopplungsart gegeneinander abgewägt werden.

## **3.2 Integration der Wissensakquisition in ein Diagnosesystem**

In Kapitel 2.6.2 (S. 39) sind die unterschiedlichen Techniken der indirekten, direkten und automatisierten Wissensakquisition zum Aufbau einer Wissensbasis für ein Diagnosesystem dargestellt. Die indirekte Methode ist die klassische Form der Wissensakquisition. Nachteilig ist nur, daß Weiterentwicklungen, Änderungen und die Behebung von Fehlern stets die Beteiligung eines Wissensingenieurs erfordern.

Die Dynamik der Aktivitäten, beispielsweise durch Terminenge von Experten oder des Wissensingenieurs, wird damit erheblich vermindert. Die oft anzutreffende Konstellation, vor allem bei der Entwicklung von Prototypen, daß Experte und Wissensingenieur ein und dieselbe Person sind, täuscht eine Einfachheit und einen Idealzustand vor, die in der Realität kaum vorzufinden sind.

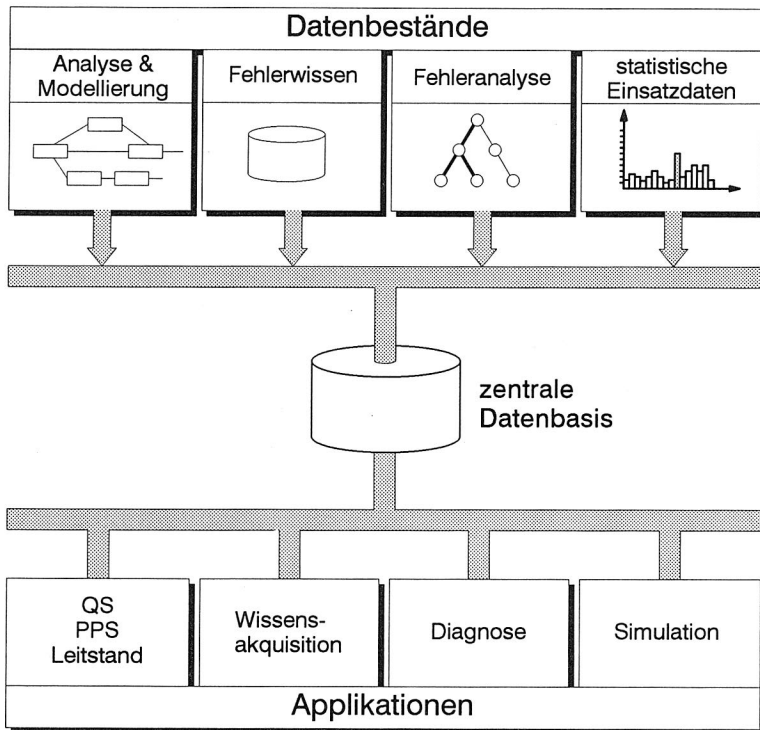


Bild 3-27: Nutzen der Informationen aus der Wissensakquisition für die Diagnose sowie der Prozeß- und Einsatzdaten für die QS, PPS, Leitstand und Simulation

Die Methode der automatisierten Wissensakquisition durch selbständiges Lernen ist aufgrund der bisher unzureichenden Reife der Entwicklung für den praktischen Einsatz noch nicht geeignet. Die Anwendbarkeit und Stabilität dieser Me-

thode wird bis zur Einsatzreife noch einige Zeit in eigenständigen Forschungsprojekten benötigen, wie sie in [5, 84, 112] schon aufgezeigt wurden.

Als die praktikabelste und flexibelste Methode zur Akquisition des Expertenwissens zum Aufbau einer Wissensbasis stellt sich die direkte Methode dar, die hier in das entwickelte Diagnosesystem integriert wurde. Das restriktive Abfragen von Begriffen und Schlüssenworten eignet sich sehr gut für den Aufbau der Wissensbasis. Die Einfachheit der Bedienung und die Übersichtlichkeit der Benutzeroberflächen tragen zur unproblematischen Bearbeitung von Fehlerzuständen bei.

Die Wissensakquisition ist der Eintrittspunkt originärer Experteninformationen. Diese Informationen beinhalten Wissen über die drei Bereiche der Montageanlage, der Prozesse und des Materials. Parallel zur hauptsächlichen Nutzung für Fehleranalysen in der Diagnose können die darauf aufbauenden Einsatzdaten zusätzlich für die Qualitätssicherung von Produkten und die Simulation von Montageanlagen benutzt werden. Mit einer durchgängigen Verarbeitung und Haltung von Informationen steht so das Wissen einem sehr breiten Bereich zur Verfügung.

Unabhängig vom Einsatzgebiet des Diagnosesystems sind bei der Wissensakquisition stets mehrere Einzelphasen zu durchlaufen, in denen das Wissen für die Diagnoseapplikation erfaßt und verarbeitet wird.

### ***Problemereich erfassen und beschreiben***

Die Erfassung und Beschreibung des Problemereiches umfaßt die eingehende Analyse des technischen Systems, auf das das Diagnosesystem angewendet werden soll. Die Komponenten und deren Funktionen sowie die Funktionen untereinander müssen übersichtlich, hierarchisch gegliedert werden. Wichtig ist die eindeutige Festlegung der Begriffe, die am Anfang geprägt werden und für die gesamten Akquisitionphasen bindend sein muß. Hilfreich kann hier die Übernahme aus Bedienungsanleitungen oder Systemunterlagen sein.

### ***Fehler charakterisieren***

An die Analyse der Systemkomponenten schließt sich die Charakterisierung der möglichen Fehler an. Diese werden nach deren Art und möglichen Ursachen charakterisiert. Die Charakterisierung kann mit einer weiteren Bewertung mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitswerten verfeinert werden. Der Auftretensort des Fehlers ist durch die komponentenweise Einteilung des technischen Systems und aufgrund der Zuordnung der Fehler zu den Komponenten bestimmt.

### ***Diagnosen strukturieren***

Nachdem die Fehlerzustände analysiert und gegliedert sind, erfolgt die Strukturierung der Problemlösung in Abhängigkeit der Symptombilder und Wahrscheinlich-

keiten. Im wesentlichen sind die Diagnosestrategien festzulegen, nach welchen Regeln und Gesetzmäßigkeiten die Diagnosen erstellt und im Verlauf erhärtet oder verworfen werden.

### ***Ergebnisse validieren***

Die Realisierung und der Einsatz des Diagnosesystems zeigt die Leistungsfähigkeit sowie die Qualität der Systementscheidungen bei Fehlerzuständen. Die Validierung der Ergebnisse trägt zur Berichtigung von Fehleingaben in der System- und Fehlerbeschreibung, zur Behebung von Inkonsistenzen und zur Vervollständigung der Wissensbasis bei.

### ***3.3 Rationalisierungspotentiale in der Wissensakquisition und -verarbeitung***

Die Diagnosekomponente benötigt zur Problemlösung ein möglichst genaues Abbild der realen Anlagenstruktur und -eigenschaften. Die zentrale Aufgabe während der Entwicklung eines Diagnosesystems ist der Aufbau einer Wissensbasis durch die Wissensakquisition. Im Laufe der Entwicklung wird die Wissensbasis sukzessiv erweitert und verfeinert. Die Wissensakquisition umfaßt den gesamten Entwicklungsbereich der Erfassung, Analyse und Strukturierung des Expertenwissenes sowie die Entwicklung von Strategien zur Wissensverarbeitung und -repräsentation. Damit stellt die Wissensakquisition bei der Entwicklung und Realisierung eines Diagnosesystems die wichtigste Aufgabe und zugleich das größte Problemfeld dar. Die einfache Abbildung des Wissens in einem Diagnosesystem verhindert bisher den effizienten Einsatz wissensbasierter Diagnose [14].

Trotz der sehr hohen Anzahl an Entwicklungen und Realisierungen wissensbasierter Systeme sind davon ein nur verschwindend geringer Anteil im praktischen Einsatz. Aufgrund einer Marktuntersuchung wird geschätzt, daß nur 0,1% der realisierten wissensbasierten Systeme auf der Basis von Expertensystemshells für reale Problemstellungen nutzbringend eingesetzt werden. [107] Für diese Tendenz sind viele Faktoren verantwortlich. Diese sind beispielsweise die Fehleinschätzung des Anwendungsbereiches, Kosten und Akzeptanzprobleme (vgl. Bild 3-22, S.43).

Der dominanteste Faktor ist jedoch die Akquisition des Expertenwissens, die nach wie vor den größten Anteil des Entwicklungsaufwandes beinhaltet. Auf dem Gebiet der Wissensakquisition bietet sich ein großes Feld an Rationalisierungspotentialen an, das mit geeigneten Methoden erschlossen werden kann.



Diese Methoden umfassen

- ☐ die schnittstellenfreie Akquisition von Expertenwissen,
- ☐ die Nutzung großer Potentiale an bereits formuliertem Expertenwissen und
- ☐ die formalisierte Erfassung und Verwaltung.

Die Methoden, die zu einer vereinfachten Erfassung und Verarbeitung von Expertenwissen führen, lehnen sich an die Systematik der FME-Analyse an. Diese bietet vielfältige Potentiale, die für die technische Diagnostik genutzt werden können. Dies sind zum einen die freie Wahl der Fehlerdarstellung sowie die quantitative Beurteilung eines Fehlerbildes [27]. Der Einsatz in vielen Unternehmen als vorrangiges Mittel zur Unterstützung und Sicherung der Entwicklung von Systemen und Prozessen hat sehr stark zur Verbreitung und Akzeptanz der Methode beigetragen [108]. In vielen Industriezweigen wird die Methode schon seit Jahren erfolgreich eingesetzt, was auf eine breite Unterstützung seitens des Unternehmensmanagements zurückzuführen ist [148]. Dies hat dazu beigetragen, daß das Verfahren einer breiten Basis von Mitarbeitern bekannt ist. Die stets zu erwartenden Reibungsverluste, die bei der Einführung einer neuen Vorgehensweise oder Systematik entstehen, sind durch die mehr oder minder große Vertrautheit auf ein niedriges Niveau beschränkt.

Das Verfahren wird vorrangig immer dann eingesetzt, um mögliche Fehler streng systematisch zu erfassen und aufzulisten, Fehlerauswirkungen aufzuzeigen, eine Bewertung des derzeitigen Zustandes durchzuführen, erforderliche Fehlerbeseitigungsmaßnahmen zu bestimmen und eine erneute Bewertung nach einer Fehlerbeseitigung zu erhalten [39, 41]. Die aufeinander aufbauenden Phasen sind die Risikoanalyse, die Risikobewertung und die Maßnahmendurchführung. Mit der Risikoanalyse wird der momentane Zustand eines Konzepts auf potentielle Fehler hin untersucht. Die Risikobewertung dient zur Quantifizierung der potentiellen Fehler. Im Rahmen der Maßnahmen soll in einer nach Prioritäten geordneten Reihenfolge eine Verbesserung des ursprünglichen Zustandes erreicht werden [97]. Ein Kennzahlensystem dient zur Bewertung der einzelnen Fehler. Die Bewertung besteht in der Gewichtung der Einzelfaktoren der Auftretenswahrscheinlichkeit, der Entdeckungswahrscheinlichkeit und der Auswirkung (Folgen). Die Bewertung umfaßt den Wertevorrat  $1 \leq x \leq 10$ , wobei  $x=A, E, F$  ist. Die Multiplikation der Einzelfaktoren ergibt die Risikoprioritätszahl (RPZ). Wie schon in Kap. 2.5 (S. 30) ausgeführt, wird die Entdeckungswahrscheinlichkeit für die Diagnoseanwendung durch die Entdeckungsunwahrscheinlichkeit substituiert.

Die Systematik kann weiterhin für die Schwachstellenanalyse einer schon bestehenden Montageanlage eingesetzt werden. In diesem Falle werden nicht die potentiellen Fehler, Ursachen etc. erarbeitet, sondern bereits aufgetretene Fehler aufgenommen und analysiert. Sollten bereits Unterlagen mit FME-Analysen vorhanden

sein, so können diese für die Fehlersuche in das Diagnosesystem übernommen werden. Durch die Adaption der Methode an die Bedürfnisse der Diagnostik sind auf diese Weise originäre Informationen der Entwicklungsexperten für die Fehlerlokalisierung und -behebung an Montageanlagen nutzbar.

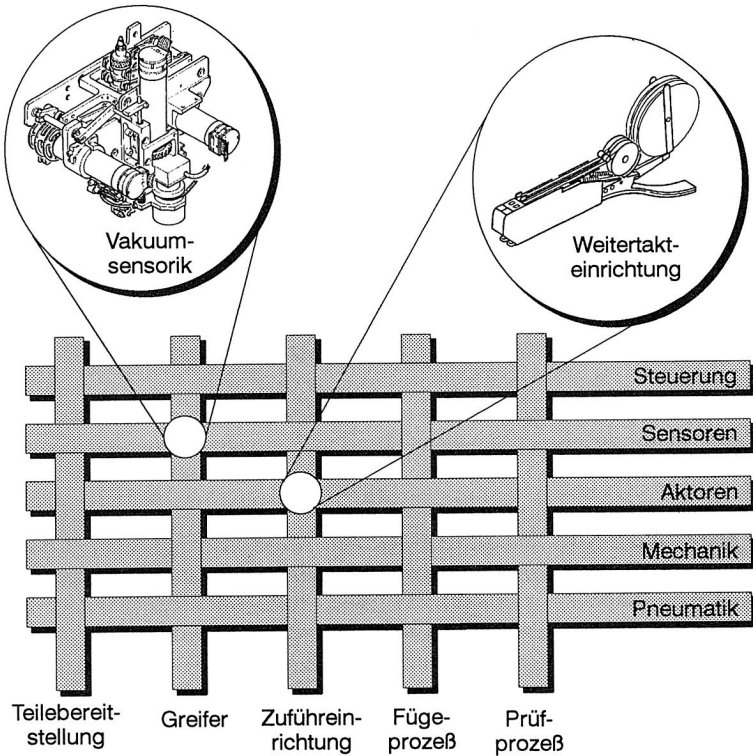
### **3.3.1 Schnittstellenfreie Akquisition von Expertenwissen**

Der Wissenserwerb ist für die Entwicklung und Realisierung eines Diagnosesystems der zentrale Punkt, der in erheblichem Maß über die Akzeptanz des Systems entscheidet. Die Sicherung dieser Entwicklungsphase stellt besonders hohe Anforderungen an die Formulierung des Expertenwissens, das möglichst lückenlos mit den späteren Bedürfnissen an Informationsbreite, -tiefe und -darstellung konform sein sollte. Die unterschiedlichen Methoden der Hinterlegung von Wissen und der Verarbeitung, die in der Diagnostik Anwendung finden, sind sehr vom jeweiligen Einsatzgebiet abhängig. Die Methoden beruhen auf kausalen, assoziativen oder statistisch fallvergleichenden Wissensbasen. Aufgrund der sehr gut nachvollziehbaren Wirkungsmechanismen technischer Systeme bietet sich hier vor allem die kausale Methode zur Beschreibung an.

Gefordert ist vor allem der Einsatz systematischer Methoden zum Wissenserwerb, die den Umfang und die Qualität des Wissens ständig reflektieren können, was zur Wahrung der Übersicht unbedingt erforderlich ist. Durch die formalisierte Vorgehensweise wird zum einen die weitestgehende Redundanzfreiheit unterstützt und zum anderen die höher zu gewichtende Konsistenz des erworbenen Wissens gewährleistet.

Die Prägung einer einheitlichen Begriffswelt, deren Einhaltung sich von der Entwicklung der Montageanlage bis zum Einsatz erstrecken muß, ist eine wesentliche Voraussetzung, die Semantik von Diagnosen eindeutig zu definieren. Da Mechanismen zur semantischen Überprüfung gespeicherter Wissensbasen sehr kompliziert und aufwendig sind, ist es vorteilhaft, diese Filterfunktionen schon frühzeitig während des Wissenserwerbs einzuführen und zu nutzen [115]. Damit wird es dem Experten selbst schon ermöglicht, die Begriffsdefinition während der gesamten Entwicklungsphase zu befolgen. Spätere zeitintensive Änderungen können so vermieden werden.

Für die Akquisition von Wissen ist es sinnvoll, komplexe Montageanlagen in unterschiedliche Teilsysteme aufzuspalten. Damit sind die Strukturen einfacher zu überschauen, und verschiedene Experten können über ihr Gebiet das Wissen für die Diagnose einbringen. Die Aufteilung läßt sich zum einen nach Anlagengruppen wie beispielsweise Greifer, Teilebereitstellungen und Zuführeinrichtungen oder zum anderen nach technologischen Funktionseinheiten wie Mechanik, Pneumatik, Sensorik und Steuerungseinheiten vornehmen. Aufgrund der Vielzahl von Schnittstellen, die die unterschiedlichen technologischen Prinzipien zueinander besitzen, wie die Steuerung zur Sensorik oder die Sensorik selbst wieder zur Mechanik,



*Bild 3-28: Verflechtung der steuerungstechnischen und technologischen Grundeinheiten mit den unterschiedlichen Montageanlagengruppen*

dient die Strukturierung sehr gut zur gedanklichen Trennung. In Bild 3-28 ist ein Ausschnitt der vielfältigen Schnittstellen dargestellt.

Das Wissen über die Ursache-Wirkungsbeziehungen wird in Relationen abgebildet, über deren Umfang der Detaillierungsgrad der FME-Analysen entscheidet. Diese werden bei der Erstellung direkt vom jeweiligen Konstrukteur bei der Entwicklung oder bei einer nachträglich erstellten Analyse vom Montageexperten in formalisierter Weise eingegeben. Für die Abbildung der Beziehungen wurde ein Wissensakquisitionssystem entwickelt, das es dem Experten ermöglicht, sein Wissen direkt einzugeben und zu speichern. Aufgrund der formalisierten Eingabe und der ständigen Reflexion der bestehenden Relationen wird der Aufbau einer konsistenten und weitgehend redundanzfreien Wissensbasis unterstützt.

### **3.3.2 Nutzung weiterer Informationsquellen für den Aufbau einer Wissensbasis**

In vielen Fällen sind wertvolle und wichtige Informationen schon in Form von FME-Analysen vorhanden. Diese Informationen könnten dann zusätzlich zu deren ursprünglicher Aufgabe, der Unterstützung des Entwicklungsprozesses von Systemen oder Prozessen, zum Aufbau einer Wissensbasis für ein Diagnosesystem herangezogen werden. In solchen Fällen ist es denkbar, diese durch einen konfigurierbaren Postprozeß in die Datenbasis für ein Diagnosesystem zu konvertieren und zu importieren. Das somit automatisierte Verfahren der Wissensübernahme stellt eine zukunftsorientierte Möglichkeit der Wissensakquisition dar.

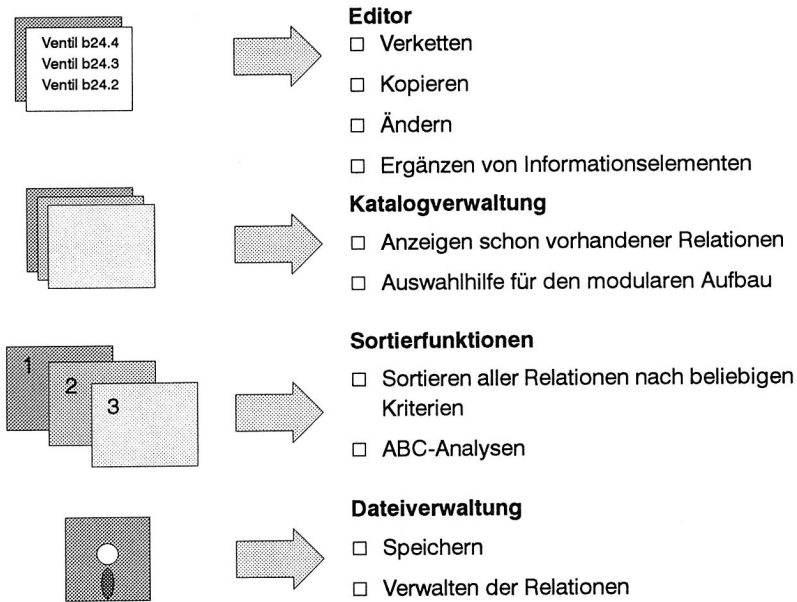
Da davon ausgegangen werden muß, daß bei der Entwicklung der FME-Analyse nicht in aller Konsequenz die Strategie der benutzergeführten semantischen Vereinheitlichung benutzt wurde, kann es bei dem Ergebnis eines solchen Postprozesses leicht zu mehrdeutigen Aussagen kommen. Eine Überarbeitung der Wissensbasis auf manuellem Wege ist dann durchzuführen. Weiterhin ist zu überprüfen, ob der zu importierende Datenbestand die für die Diagnose relevanten Informationen enthält.

Liegen die Informationen jedoch allein in Papierform vor, wovon derzeit in den überwiegenden Fällen ausgegangen werden kann, so muß eine manuelle Übertragung der Analysen in den Rechner erfolgen. Dabei steht wieder der volle Funktionsumfang des Diagnosesystems zur semantischen Vereinheitlichung zur Verfügung.

## **3.4 Abbildung der Ursache-Wirkungsrelationen**

Hinter der Akquisition des Wissens mit Hilfe der direkten Methode zum Aufbau der Wissensbasis steht eine strenge, formalisierte Systematik. Diese umfaßt einerseits die qualitative Beschreibung der Fehler, ihrer Ursachen und Folgen sowie andererseits die quantifizierte Bewertung dieser Charakteristiken. Aufgrund der hohen Anzahl von Ursache- und Wirkungsrelationen, die sich im Laufe einer Analyse ergeben können, wird eine komfortable Rechnerunterstützung eingesetzt, die die Relationen in einer Datenstruktur abbildet. In einem späteren Bearbeitungsschritt wird der Inhalt der Datenstruktur in die Diagnosewissensbasis umgesetzt. Die Benutzerführung durch den Programmablauf der Wissensakquisition ist sehr verständlich gestaltet, so daß diese einfach zu bedienen ist.

Für die Anforderung an die Wissensakquisitionskomponente bedeutet dies, daß die Funktionalität so komfortabel gestaltet sein muß, daß sich der Anwender voll auf sein Wissensgebiet konzentrieren kann und nicht mit rechnereigenen Spezifika konfrontiert wird. Der Funktionsumfang des Systems zur Akquisition des Exper-



*Bild 3-29: Wichtige Funktionen des Systems zur Wissensakquisition zur Abbildung der Ursache-Wirkungs-Relationen in eine Datenstruktur*

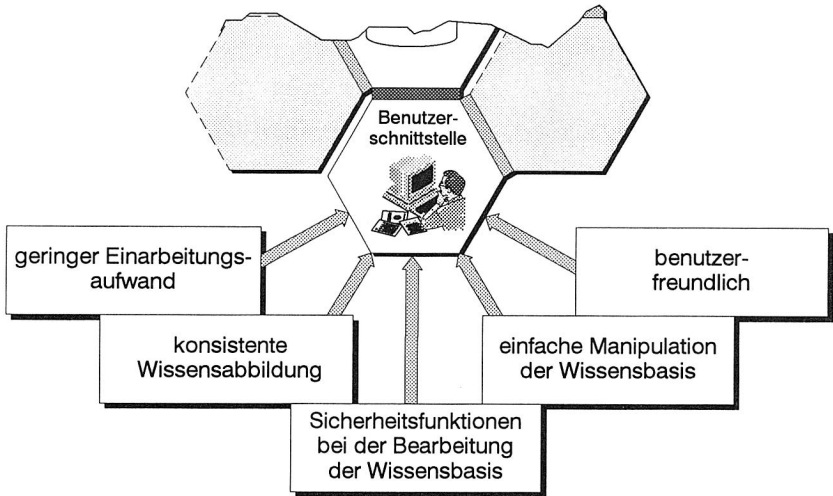
tenwissens, ist im Bild 3-29 dargestellt. Dazu wird der Anwender hinsichtlich der Eingabe und Datenmanipulation, der Eintragsverwaltung, Sortierfunktionen und Datenverwaltung wirksam unterstützt.

Die anfänglich grobe Einteilung der Ursache-Wirkungsbeziehungen wird in der weiteren Analyse zunehmend feiner untergliedert. In der ersten Teilfunktion werden die Fehler zunächst in der Fehlerklassifizierung spezifiziert. Hier werden die einzelnen Beziehungen des Fehlers zu den Montageanlagenkomponenten und deren Funktionen beschrieben. Im zweiten Teilschritt schließt sich die Fehleranalyse an. Diese umfaßt die Auswirkung und mögliche Ursachen eines Fehlers sowie Maßnahmen, die ergriffen werden können, um den Fehler zu beseitigen. Weiterhin sind ausführliche, additive Erklärungen und Hinweise hinterlegbar.

### 3.4.1 Systemkonzept zur schnittstellenfreien Wissensakquisition

Das Ziel bei der Entwicklung des Systemkonzepts ist die systematische Abbildung der Fehlerzustände sowie deren Maßnahmen zur schnellen Fehlerentdeckung und -beseitigung. Für die Abbildung des Wissens in einer Datenstruktur muß dem Experten ein Hilfsmittel zur Verfügung stehen, mit dem das Wissen konsistent,

redundanzfrei und mit einer semantischen Überprüfung für die Diagnoseanwendung eingegeben werden kann. Die Benutzerschnittstelle muß dafür, wie im Bild 3-30 dargestellt, mehrere Forderungen erfüllen.



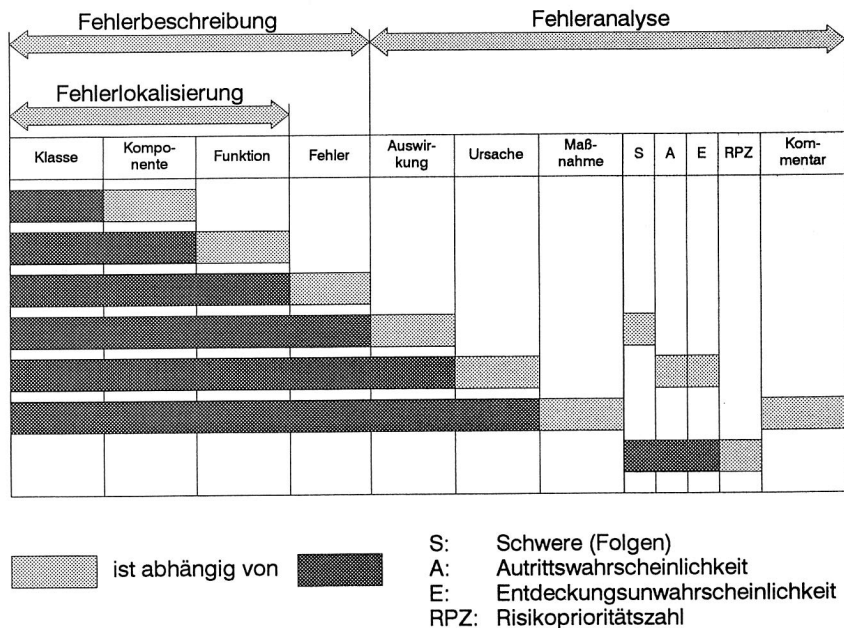
*Bild 3-30: Anforderungen an die Benutzerschnittstelle zur benutzerfreundlichen Bearbeitung des Datenbestandes während der Wissensakquisition*

Für die Datenhaltung wird eine relationale Datenbank eingesetzt, in der die Datenstrukturen hinterlegt sind. In den Datenstrukturen sind die Relationen abgebildet, die das kausale Modell für die Diagnose bereitstellen. Dieses kausale Modell bildet nach der Generierung des Diagnosesystemkerns die Wissensbasis für die Diagnoseanwendung.

Die Datenstruktur gliedert sich in die zwei Hauptgruppen der Fehlerbeschreibung und der Fehleranalyse. Innerhalb der Fehlerbeschreibung stellt die Fehlerlokalisierung eine Untergruppe dar, die die ersten drei Felder der *Klasse*, der *Komponente* und der *Funktion* umfaßt. In Verbindung mit dem Feld *Fehler* ergibt sich die Hauptgruppe der Fehlerbeschreibung. An jede Fehlerbeschreibung können sich eine oder mehrere Fehleranalysen anschließen, die in den Feldern der *Auswirkung*, der *Ursache* und der *Maßnahme* dokumentiert werden.

Jede dieser Fehleranalysen besitzt ihre eigene quantitative Bewertung. Die hierarchisch gegliederten Abhängigkeiten sind im Bild 3-31 dargestellt. Die quantitative Bewertung der Analysen spiegelt die zur Zeit der Entwicklung bestehende Einschätzung des Experten über den betreffenden Fehler wider und gilt nur bedingt für die tatsächlichen Einsatzbedingungen einer Montageanlage. Diese Einschät-

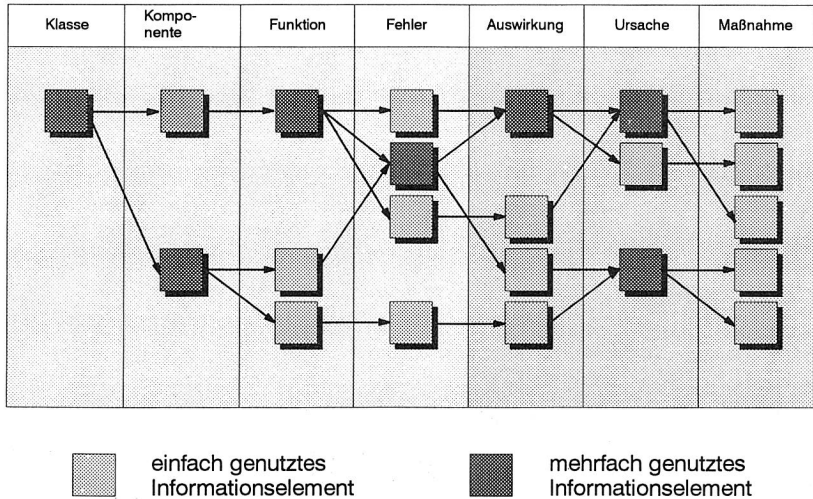
zung wird bei der Umsetzung der Relationen in die Wissensbasis der Diagnose zur anfänglichen Bildung der Prioritätenstruktur herangezogen. Um jedoch Aussagen über Fehler treffen zu können, muß beim Einsatz des Diagnosesystems an einer Montageanlage ein stetiger Abgleich auf der Basis statistisch gesicherter Informationen durchlaufen werden.



**Bild 3-31:** Die hierarchisch gegliederten Abhängigkeiten bei der Analyse von Fehlern an Montageanlagen

Der Aufbau der Wissensbasis mit Hilfe der hierarchischen Gliederung führt zu einer unidirektionalen, netzartigen Verflechtung der Informationselemente, wie sie in Bild 3-32 dargestellt ist. Die netzförmige Topologie, auch semantisches Netz genannt, besteht aus vielen Einzelgraphen, die die Relationen zwischen den Informationselementen aufbauen. Die einzelnen Knoten (Informationselemente) repräsentieren die Elemente des darzustellenden Wissens [88]. Die eindeutige Verbindung zwischen genau zwei Knoten wird hingegen durch Kanten dargestellt, die die eindeutige Beziehung zwischen den beteiligten Knoten zueinander charakterisieren. Hier werden, ähnlich der Regeldefinition eines Expertensystems, die Ursa-

che-Wirkungsbeziehungen hinterlegt. Dadurch ist die Kategorisierung der Fehler nach der Art, nach dem Auftrittsort und nach den Ursachen gegeben. Die Beziehungen, nach denen die Fehlergraphen aufgebaut sind, sind im Bild 3-33 wiedergegeben.



*Bild 3-32: Hierarchische Gliederung der Informationselemente in einer unidirektionalen, netzartigen Verflechtung*

Diese Methode zur Wissensakquisition stellt einen systematisierten, einstufigen Prozeß dar, der sehr einfach zu erlernen und zu beherrschen ist. Um jedoch die Flexibilität dieser Systematik zu erhöhen, kann der Prozeß durch die Verkettungsfunktion mehrmals hintereinandergeschaltet werden. Damit wird auf der gleichen Basis eine beliebig tiefer gehende Gliederung der Fehler-Ursache-Beziehungen erreicht. Der Fehlerbaum kann auf diese Weise in geforderter Breite und Tiefe fortgesetzt werden, ohne eine komplexere Struktur der Informationselemente einführen zu müssen.

Die Strukturen und die Informationselemente müssen möglichst partitioniert und modularisiert werden, damit umfangreiche Netze übersichtlich aufgebaut werden. Ein großer Vorteil ist die Flexibilität durch das einfache Hinzufügen und Löschen von Kanten und Knoten. Damit können die für den Modellaufbau benutzten Elemente leicht eingegeben oder modifiziert werden. Die Option zur beliebigen Erweiterung der Wissensbasis, um Diagnosen feiner zu untergliedern oder weitere hinzuzufügen, ist jederzeit anwählbar. Die Erweiterung darf allerdings nur vom



Experten vorgenommen werden und nicht etwa vom Bedienpersonal einer Montageanlage. Die Gefahr einer unkorrekten Eingabe von Informationselementen wird dadurch gesenkt.

Die Wissensbasis des Diagnosesystems kann entweder zeitgleich mit der Entwicklung der Montageanlage oder auch erst im nachhinein entwickelt werden. Wird als Informationsquelle für die Erstellung der Wissensbasis die Entwicklungsphase der Montageanlage genutzt, so beziehen sich die Relationen einheitlich ohne besondere Schwerpunkte auf die gesamte Montageanlage. Bedingt durch das Wissen, welche Erfassungslogik an welcher Stelle zum Einsatz kommt, besteht bei der ex post erstellten Wissensbasis die Gefahr, daß sich Schwerpunkte an Relationen im nahen Bereich dieser Erfassungslogik bilden. Der übrige Betrachtungsraum könnte auf diese Weise eventuell vernachlässigt werden.

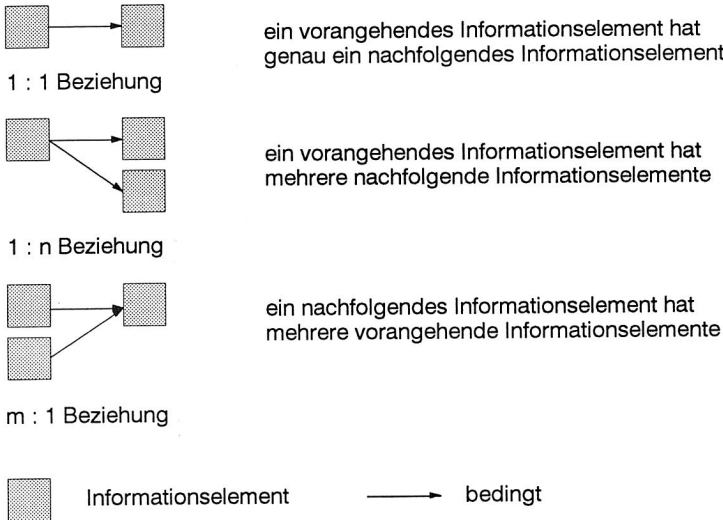


Bild 3-33: Die Beziehungen zwischen Vorgängern und Nachfolgern von Informationselementen

Aufgrund der Eingabe und der rechnergestützten Verarbeitung von Begriffen besteht stets der unerwünschte Umstand, daß für ein und denselben Sachverhalt mehrere Formulierungen zum Tragen kommen. Dies führt dazu, daß die bei der Entwicklung unterschiedlich geprägten Begriffe beim späteren Einsatz zur Diagnose und Fehlerbeseitigung zu mehrdeutigen Aussagen führen oder Widersprüche zur Folge haben. Die semantische Filterfunktion bietet hier die Möglichkeit, eine Überprüfung und Vereinheitlichung der benutzten Begriffe zu erreichen. Diesem

Anspruch wird die mehrfache Nutzung von einzelnen Informationselementen gerecht, die im Bild 3-32 dunkel dargestellt sind.

### **3.4.2 Realisierung des Systemmoduls zur Wissensakquisition**

Das entwickelte Modul WAKS zur Erstellung der Datenbasis enthält sämtliche Funktionen für die Dateneingabe und -bearbeitung. Die wichtigste Funktion die in das System integriert ist und die sich von üblichen Systemen abhebt, besteht in der Verkettung von Einzelgraphen zu vollständigen Fehlerbäumen. Damit wird die Voraussetzung geschaffen, die Systematik der FME-Analyse für den Diagnoseeinsatz tauglich zu machen.

Die Benutzeroberfläche ist die Schnittstelle zwischen den Datenbank-Anwendungsfunktionen und dem Anwender. Die einzelnen Abläufe sind im Bild 3-34 gezeigt. Sie führen den Anwender schnell und gezielt zu den Operationen, die ausgeführt werden sollen. Aus diesem Grund wurde ein Hauptaugenmerk auf eine übersichtliche und ergonomische Gestaltung gerichtet.

### **Eingabe von Informationselementen und Relationen**

Die Operationsfunktion der Eingabe ist die erste der insgesamt vier Funktionen zur Entwicklung der Wissensbasis (Bild 3-35). Der erste Teil der Dateneingabe umfaßt die Komposition der Fehlerbeschreibung aus den schon erläuterten Komponenten. Hier werden die Relationen gebildet, die die Elemente der Montageanlage und deren Funktion beschreiben. Die stetige Überprüfung der Informationselemente bewirkt, daß dem Experten bei jedem Element die bereits vorhandenen Einträge vorgeschlagen werden. Diese werden in einer alphabetisch geordneten Liste angezeigt. Elemente können ausgewählt und als Informationselement in die Fehlerbeschreibung übernommen werden. Trifft keiner der Vorschläge zu, so kann ein neues Element hinzugefügt werden. Sollte das Element jedoch schon vorhanden sein, so wird auf den bestehenden Eintrag verwiesen und die Übernahme in die Datenbasis verweigert.

Anschließend wird mit der Fehleranalyse fortgefahren. Bei der Fehleranalyse werden genau wie bei der Fehlerbeschreibung zunächst die entsprechenden Informationselemente ausgewählt oder eingegeben. Abschließend erfolgt die quantitative Bewertung des Fehlers, die zu einer Priorisierung der Fehlergraphen führt. Für eine erweiterte Unterstützung kann ein additiver Text mit Erklärungen, weiteren Maßnahmen, Verweisen oder Hilfestellungen hinzugefügt werden, die im Hinblick auf die schnelle Fehlerbehandlung und -behebung sehr hilfreich sind.

Die Begriffe der unterschiedlichen Klassen sind in der Anwendung streng voneinander getrennt. Werden jedoch Begriffe aus einer anderen Klasse für die aktuell bearbeitete Problemstellung benötigt, so können durch eine Option weitere Begriffe aus anderen Klassen angewählt und übernommen werden.

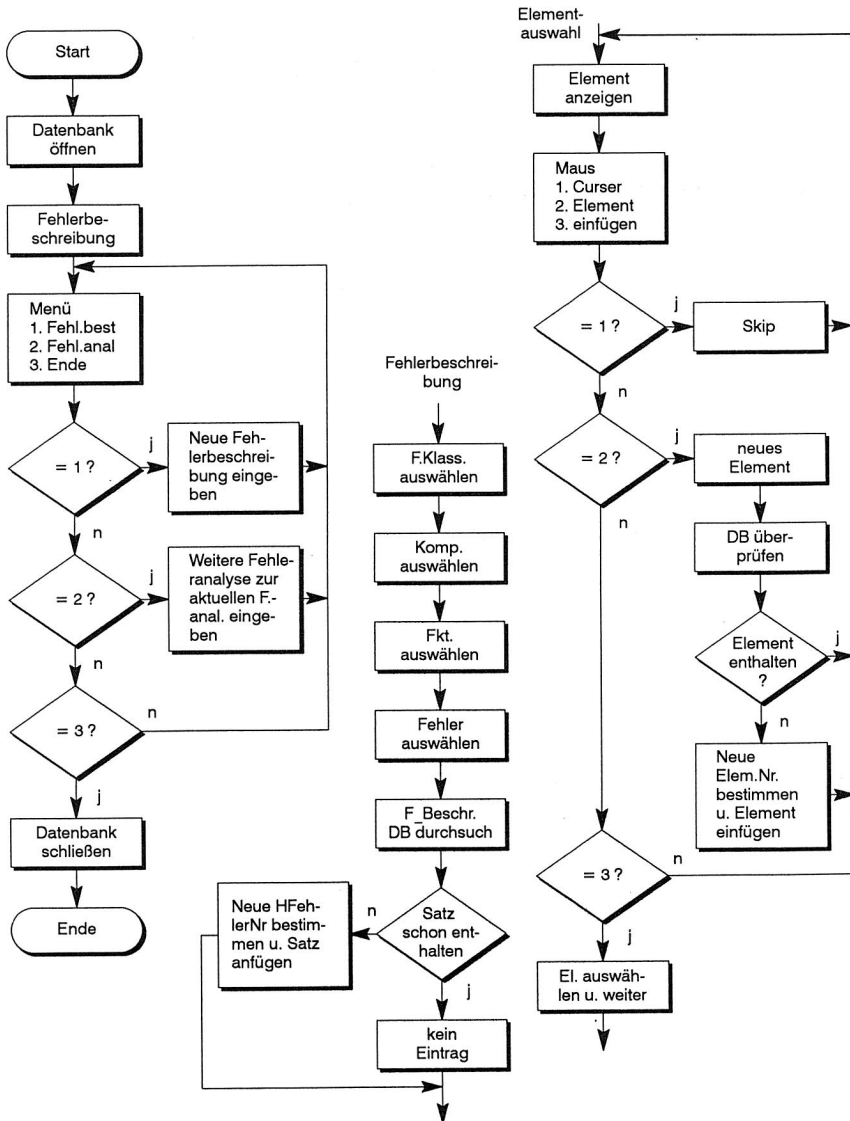


Bild 3-34: Ausschnitt aus dem Programmablaufplan zur Akquisition von Fehlerbeschreibungen und -analysen zum Aufbau einer Wissensbasis

**Erfassung der Analyse**

Ausgewählte Fehlerklasse: **HS100**      Besteck HS100

vergebene FehlerNr.:      verkettert mit:

Komponente: **Z-Achse**      Kommentar:

Funktion: **BE-Handling**

Fehler: **Kollision**

Ausdrückung: **Maschinenstillstand**

Ursache:

Abstellmasnahme:

Schwere des Fehlers: **8**      massig schwer

Erdeckenswahrscheinlichkeit: **8**      massig

Auftretenswahrscheinlichkeit: **8**      massig

Risikoprüfungszahl: **208**

**Ursache bestimmen**

Ausgewählte Fehlerklasse: **HS100**      Besteck HS100

alle Ursachen

- anderer Lieferant
- Bauelement zu hoch
- BE-Höhe falsch programmiert
- evtl. unzureichende Wartung
- Feeder der betr. Spur leer
- Kollision
- Lagerteile verschlissen
- LP-Dicke falsch programmiert
- LP-Schneidmesser falsches Bohrenniveau
- rech. Fehler im Besteckkopf

Mit der mittleren Maustaste kann ein Element auch direkt ausgewählt werden.

Buttons: Auswählen, Erweitern, Element auswählen, Zurücksetzen, Erweitern, Zurücksetzen

Bild 3-35: Exemplarische Bildschirmdarstellung für die streng systematisierte Akquisition des Fehlerwissens zum Aufbau einer Wissensbasis mit dem System WAKS

### Ändern/Löschen von Fehlergraphen und Informationselementen

Mit dieser Funktion ist es für den Anwender des Akquisitionssystems sehr einfach, gezielt komplette Fehlerbeschreibungen, Fehleranalysen oder nur einzelne Informationselemente aus der Datenbank zu verändern oder herauszulöschen. Eine Indexierung der Einträge unterstützt den Anwender bei der schnellen Orientierung im Datenbestand. Die Handhabung der Integritätsproblematik der Daten wird vollständig vom System übernommen, so daß der Anwender darauf nicht zu achten braucht. Die Mechanismen der Integritätssicherung bewirken, daß die betreffenden Fehleranalysen gelöscht werden, wenn die entsprechende Fehlerbeschreibung entfernt wird. Ebenfalls werden sowohl Fehlerbeschreibungen als auch Fehleranalysen gelöscht, wenn ein einzelnes Informationselement, das Bestandteil

der Beschreibungen ist, aus der Datenbasis entfernt wird. Vor der Ausführung der Aktion wird der Anwender über die Tragweite der entsprechenden Löschoperation durch eine Systemmeldung unterrichtet. Sämtliche gelöschten Einträge werden in einem Zwischenspeicher gehalten. Damit besteht zum einen eine erhöhte Sicherheit und zum anderen können die Einträge nach einer Manipulation wieder in die Liste übernommen werden.

Bei der Änderung von Einträgen wird ständig überprüft, ob der Änderungswunsch nicht die Bedingungen der Begriffsvereinheitlichung verletzt, d.h., ob der geänderte Eintrag nicht schon in der Datenbasis vorhanden ist. In diesem Fall wird die Änderung mit dem Verweis auf den bestehenden Eintrag nicht übernommen. Auf diese Weise wird auf sehr wirksame Art die Bestrebung zum Aufbau einer konsistenten und redundanzfreien Datenbasis realisiert.

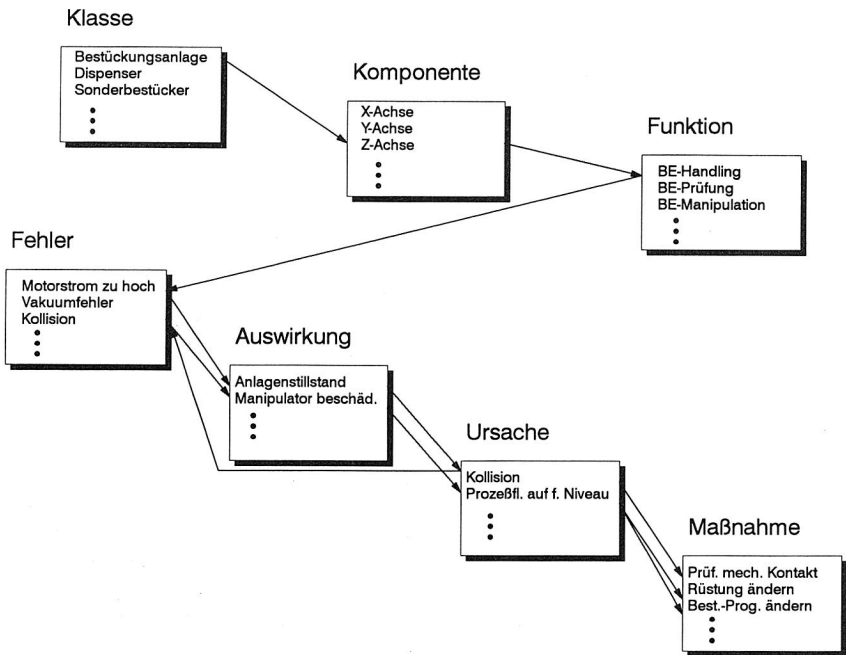
## **Ausgabe**

Mit der Ausgabeoperation kann sich der Anwender einen einfachen und schnellen Überblick über die bisher eingegebenen Informationselemente und Relationen verschaffen. Dazu stehen einmal Auswahlmöglichkeiten für einen groben Überblick oder eine detaillierte Darstellung für eine feinere Untersuchung zur Verfügung. Für eine eingehende Darstellung werden Funktionen bereitgestellt, um einzelne Fehlerbeschreibungen oder Fehleranalysen auszuwählen und deren Verbindung zueinander aufzuzeigen. Dies ist vor allem vor der Änderung oder der Löschung von Datenbeständen hilfreich. Zur übersichtlichen Darstellung des Informationsbestandes stehen unterschiedliche Algorithmen zur Sortierung und zum Abruf der Daten zur Auswahl. Für die Dokumentation können über eine Filterfunktion die relevanten Informationen selektiert werden. Diese stehen dann entweder in einem formatierten ASCII-Format oder einem speziellen Format für die Textverarbeitung, wie zum Beispiel Interleaf, zur Weiterverarbeitung bereit.

## **Verkettung**

Die Informationen sind im System zur Wissensakquisition in drei Stufen hinterlegt. Die kleinste Einheit sind die Informationselemente, deren Kombination die nächst höhere Stufe der Fehlergraphen ergibt. Die dritte und zugleich höchste Stufe bilden die Fehlerbäume. Die Verkettung von Einzelgraphen zu vollständigen, komplexen Fehlerbäumen stellt die zentrale und zugleich wichtigste Funktion dar, um die FMEA-Systematik für den Diagnoseprozeß zu adaptieren.

Während des Akquisitionsprozesses ist die Verkettung optional anwählbar was dazu führt, daß der ausgewählte Fehlergraph mit dem darauf folgenden verknüpft wird. Die Verknüpfung erfolgt über die Informationselemente *Fehler* und *Ursache*. Das Bild 3-36 zeigt ein Beispiel, wie die Informationen angelegt und gespeichert werden. Durch die mehrfache Stufung der Informationselemente, der Verkettung,



*Bild 3-36: Aufbau der Datenstruktur zur Gliederung der Informationselemente für die Ursache-Wirkungs-Beziehungen*

kann eine beliebig tiefe Gliederung der Fehler-Ursache-Beziehungen erreicht werden. Die Gliederungstiefe richtet sich danach, wie fein ein Fehler beschrieben werden soll. So können einzelne Fehler aus nur einer Stufe und weitere Fehlerbeschreibungen aus vier und mehr Stufen bestehen.

Beispielsweise wird in einer ersten Analyse ein zu hoher Motorstrom als Ursache für einen Fehler festgestellt. Die Ursache dafür ist eine Kollision des Manipulators. In der darauf folgenden Analyse wird dann die Kollision als Fehler übernommen und anschließend für diesen Fall die Eingabe der korrespondierenden Ursache, eine falsch bestimmte Prozeßfläche, erwartet. Die Analysen können somit auf einer hohen Ebene begonnen und beliebig tief verzweigt werden. Das Bild 3-37 zeigt die grafische Darstellung von Fehlergraphen, die zu komplexeren Fehlerbäumen verkettet wurden. Durch einfaches Anwählen der Fehlergraphen im Fehlerbaum werden die zugehörigen Informationen in Textform vollständig angezeigt.

Weiterhin besteht für die Darstellung komplexer Zusammenhänge die Möglichkeit, Bildinformationen in die Fehlerbaumstruktur einzubinden. Dazu werden die ent-

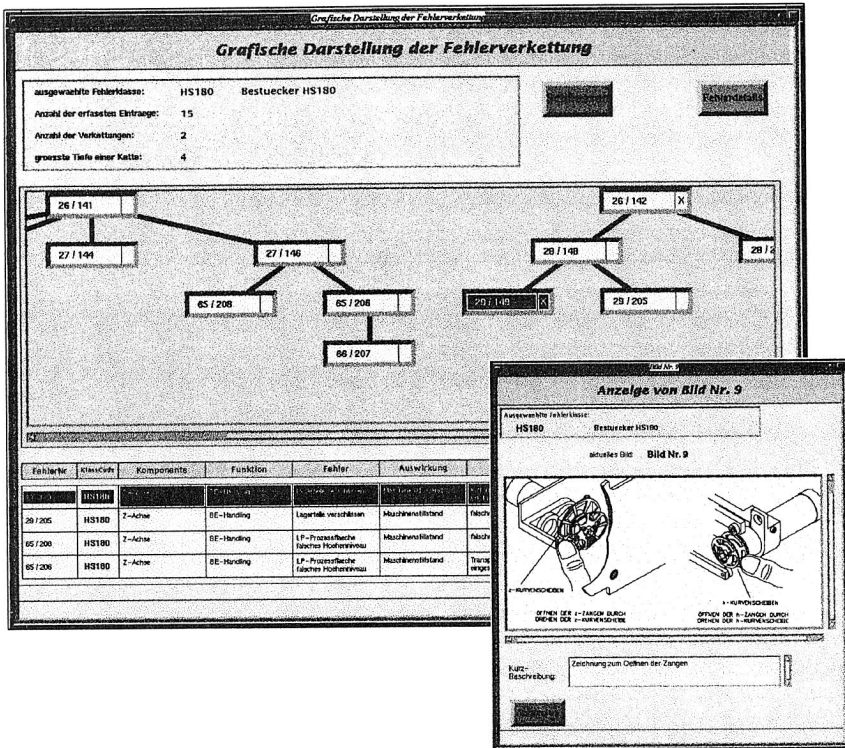


Bild 3-37: Exemplarische Bildschirmdarstellung für die Darstellung verketteter Einzelfehlergraphen zu vollständigen Fehlerbäumen für den Diagnoseeinsatz

sprechenden Bilder aus einer Bibliothek ausgewählt und mit dem jeweiligen Fehlergraphen verknüpft. Die Bilder selbst können auf unterschiedlichste Weise, wie zum Beispiel gescannte Bilder aus Dokumentationen, CCD-Kameras oder Still-Video-Kameras und Bildschirmabzüge, aufgenommen werden.

### 3.4.3 Aufbau und Strukturierung der Datenbasis

Ein Datenmodell stellt ein Instrumentarium zur Beschreibung der Datenstrukturen bereit, das sich bereits an den Möglichkeiten eines Datenbanksystems orientiert [119]. Für den Aufbau einer Datenstruktur stehen die drei klassischen Datenmodelle hierarchisch, netzwerkförmig und relational zur Verfügung, auf deren Eigenschaften jedoch nicht weiter eingegangen werden soll (vgl. 46, 60, 72, 81, 139, 156).

Der Vergleich unterschiedlicher Kriterien, wie beispielsweise die Einfachheit des Datenmodells, Programm- und Datenunabhängigkeit, die Schnelligkeit und die Ausbaumöglichkeiten, hat dazu geführt, die Grundinformationen aus der Wissensakquisition in einem relationalen Datenbanksystem zu hinterlegen.

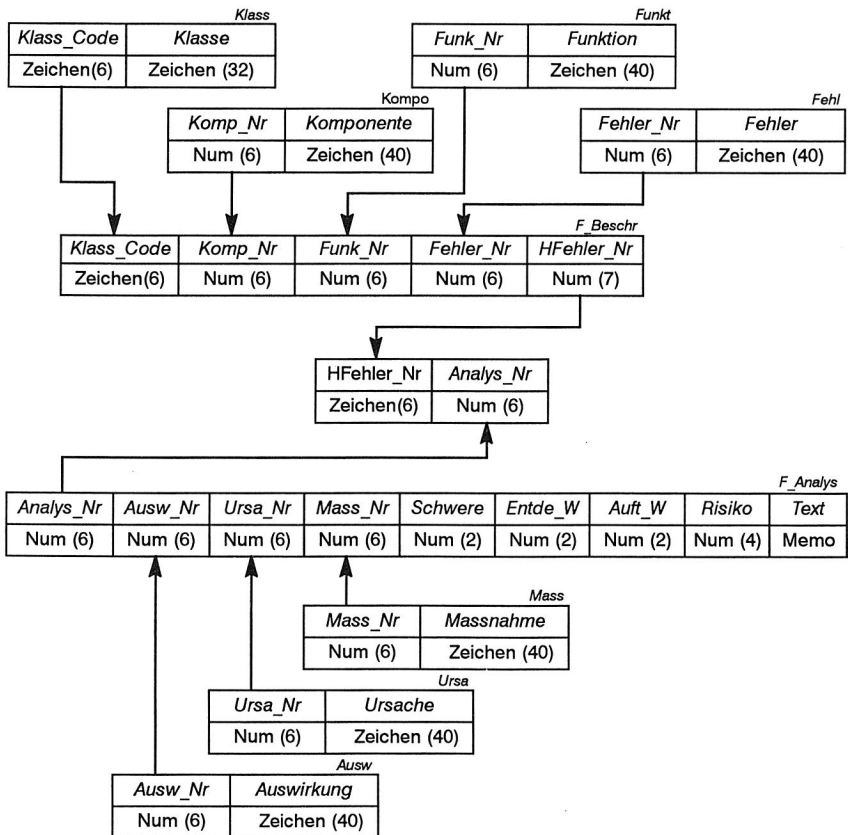


Bild 3-38: Aufbau und Strukturierung der Schlüsselinformationselemente

Im Gegensatz zu den anderen Datenmodellen stehen im relationalen Datenbankmodell lediglich Entitätstypen als Strukturelemente zur Verfügung. Beziehungen



zwischen Entitytypen werden folglich ebenfalls in Form von Entitytypen dargestellt. Dadurch ergibt sich ein einfaches, für den Benutzer leicht verständliches Datenmodell, in dem sowohl Entitytypen als auch beliebige Beziehungen zwischen Entitytypen dargestellt werden können.

Die Elemente (Informationselemente) eines Entitytyps erscheinen in der Relation als Tupel (Zeile). Die Spalten der Relationen entsprechen den Attributen (Merkmalen) der Entities. Für jede Relation muß ein Attribut oder eine Attributkombination als Schlüssel definiert sein. Jeder Schlüsselwert existiert je Relation nur einmal und identifiziert eindeutig ein Tupel dieser Relation. Dafür wird ein zweiteiliger Schlüssel verwendet, der sich aus einer fortlaufenden Fehler- und einer Analysennummer zusammensetzt. Ist sichergestellt, daß jede Relation der dritten Normalform genügt, so wird die sachlogische Datenstruktur der Problemebene redundanzfrei abgebildet. Die Normalisierung verhindert, daß Datenredundanzen innerhalb einer Relation auftreten und sogenannte Mutationsanomalien auftreten. Mutationsanomalien treten dann auf, wenn redundant gespeicherte Daten bei Änderungen nicht mitmutiert werden.

Die Normalisierung von Relationen ist eine wichtige Voraussetzung für die Integrität der Informationen in einer Datenbank. Diese Methoden alleine reichen jedoch nicht aus, da nicht alle möglichen Fehler durch den Normalisierungsprozeß verhindert werden können. Deshalb wurden zusätzliche Integritätsbedingungen formuliert, weil die Normalformen teilweise zugunsten einer minimierten Antwortzeit bewußt verletzt werden. Durch die Festlegung der Integritätsbedingungen wird die Richtigkeit der in der Datenbank abgebildeten Informationen gesichert.

Das Bild 3-38 zeigt die Übersicht und die Strukturierung der Informationselemente in den realisierten Relationen. Die genaue funktionale Zerlegung der Datenbeziehungen substituiert teilweise den Normalisierungsprozeß bei der Konzeption der Datenbank. Integritätsprobleme werden durch programmtechnische Lösungen abgefangen, so daß der Anwender in dieser Hinsicht keine weitergehenden Überprüfungen anstellen muß.

Für die aufgeführten Relationen existiert für jedes Attribut eine zugehörige Nummer, in der Relation *Klass* eine Zeichenkette, die jedes Datum in der Relation eindeutig referenziert und damit als Primärschlüssel fungiert. In *F\_Beschr* umfaßt ein Tupel eine bestimmte Kombination aus einer Klassifizierung, einer Komponente, deren Funktion sowie einen Fehler. Das Attribut *HFehler\_NR* bildet zusammen mit *F\_Analys* eine Relation, damit die Fehleranalyse eine eindeutige Zuordnung zu einer Fehlerbeschreibung erhält. Die Relation *F\_Analys* enthält die gesamte Fehleranalyse, die die Auswirkung, Ursache, Maßnahmen sowie die Bewertungen umfaßt. Die Feldtypen entsprechen entweder einer x-stelligen ganzen Zahl oder bestehen aus einer Zeichenkette mit der Länge x. Der Memo-Typ bezeichnet ein Feld, das Zeichen beliebiger Art und Länge aufnehmen kann.

In der Datenstruktur sind somit sämtliche Informationselemente und Relationen enthalten, auf die der Inferenzmechanismus der Diagnosekomponente beim Eintritt eines Fehlers zugreifen kann. Durch den hybriden Aufbau sind auf diese Weise die spezifischen Stärken der effizienten Datenabbildung, kombiniert mit einer schnellen Verarbeitungslogik, genutzt.

#### **4      *Bewertung präventiven Fehlerwissens zum Aufbau eines adaptiven Diagnosesystems***

Den Anforderungen aus der Praxis, die an ein System zur Überwachung und Diagnose gestellt werden, wird in der Konzeption durch einen hohen Flexibilisierungsgrad Rechnung getragen. Dies führt zu einem neuen Lösungsansatz, der darauf abzielt, daß das Überwachungssystem schon vor der Inbetriebnahme zur Verfügung steht und das Bedienpersonal in dieser wichtigen Betriebsphase von Anfang an mit einer aktiven Hilfestellung unterstützt. Es wird stets angestrebt, die Diagnose in eine vorbeugende Fehlerbehandlung einzubeziehen, woraufhin aus den dabei gewonnen Erkenntnissen die Methoden abgeleitet werden. Das bedeutet, daß sich die Reihenfolge der Maßnahmen zur Fehlervermeidung, zur Prozeßfähigkeitsverbesserung der Anlage und zur Diagnose als eine optimal gestufte Kombination zur Minimierung der Anlagenstillstandszeiten erweist. Die Prozeßfähigkeitsverbesserung der Anlage umfaßt Maßnahmen, die zwar das Laufzeitverhalten der Anlage insgesamt verbessern, aber keine grundlegenden Änderungen des Konzepts darstellen. Dazu gehört beispielsweise die Bearbeitung und Justage von Zuführeinrichtungen oder das aufeinander Abgleichen unterschiedlicher Anlagenmodulen.

Da zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme noch nicht auf praktische Erfahrungen mit der Montageanlage zurückgegriffen werden kann, müssen deshalb Methoden entwickelt und realisiert werden, die die Erkenntnisse aus der präventiven Fehlervermeidung in eine nachfolgende Diagnose überführen.

Beim Einsatz eines on-line-Diagnosesystems muß stets von einer eingeschränkten Ressource von direkt erfaßten Sensor- oder Anlagensteuerungssignalen sowie der Vorverarbeitungslogik ausgegangen werden. Aus diesem Grund sind diese Ressourcen so effizient wie möglich zu nutzen, was nur durch eine fundierte Gesamtbewertung des Fehleraufkommens und der damit verbundenen Auslegung der Datenerfassung ermöglicht wird.

Die qualitative und quantitative Bewertung von Fehlerzuständen wird im Anfangsstadium durch Hypothesen gestützt, die mit Hilfe eines Kennzahlensystems gegliedert werden. Aufgrund der Unsicherheit über die anfänglichen Betriebsbedingungen der Montageanlage besteht natürlicherweise die hohe Wahrscheinlichkeit, daß sich die Rand- und Anfangsbedingungen der Montageanlage und damit auch die Bedingungen für das Überwachungs- und Diagnosesystem nach kurzer Zeit ändern können. Dieser Umstand wird durch die Konzeption einer sehr flexiblen, adaptiven Architektur berücksichtigt.

Bei ex post entwickelten on-line-Überwachungs- und Diagnosesystemen kann dieser Gesichtspunkt außer acht gelassen werden, da diese auf relativ sicheren und stabil eingeschwungenen Betriebsbedingungen basieren, die schon durch Erfahrungen während der normalen Betriebsphase der Montageanlage abgeleitet werden konnten.

Bei der exanten Entwicklung eines on-line-Diagnosesystems nimmt die teilweise konfigurierbare und zum Teil automatische Adaption des Überwachungs- und Diagnosesystems an geänderten Anfangs- und Randbedingungen eine wichtige Stellung in der Gesamtfunktionalität ein. Aus diesem Grund sind mehrere Schritte erforderlich, die im Anschluß an die Akquisition, die Analyse und die Bewertung der Informationsstrukturinhalte durchgeführt werden. Zur Durchführung der Bearbeitungsschritte sind deshalb die Entwicklung und der Einsatz mehrerer softwaretechnischer Module erforderlich, deren Funktionalität über die der sonst üblichen Systeme zur Montageanlagenüberwachung und -diagnose hinausgehen.

Die Analyse und Beurteilung des Fehlerspektrums ist der erste Schritt, das Überwachungs- und Diagnosesystem für den praktischen Einsatz so zu konfigurieren, daß es schon während der Inbetriebnahme die wichtigsten Informationen für die Behebung von Fehlerzuständen bereitstellt. In weiteren Schritten wird die Konfiguration der Datenerfassung in Abhängigkeit der Analyseergebnisse bestimmt und darauf aufbauend der Diagnosekern generiert. In einem letzten Schritt wird die stetige automatisierte Adaption des Diagnosesystems an die Einsatzbedingungen angestrebt.

#### **4.1 Validierung des Fehlerspektrums für die Diagnose**

Fehler treten an Montageanlagen in einem sehr weiten Spektrum auf. Diese sind durch noch so geschickte und durchdachte Konstruktionen einer Montageanlage nicht zu vermeiden, was nicht zuletzt eine Folge der wirtschaftlichen Abschätzung des Entwicklungsaufwandes ist. Diagnosesysteme müssen das Spektrum des Fehleraufkommens möglichst gut abdecken, um so zu einer schnellen Fehlerentdeckung und -behebung beizutragen. Das Fehlerspektrum bestimmt zugleich das Problemfeld, für das das Wissen in der Wissensbasis abgebildet sein muß und für das die Lösungen im Inferenzmechanismus des Diagnosesystems generiert werden müssen. Ist der Grad der Kongruenz von Problembereich und Lösungsbereich unzureichend, so findet das Diagnosesystem nicht die geforderte Akzeptanz. Der Erfolg und der Nutzen eines solchen Systems sind in diesem Falle äußerst ungewiß. Zu berücksichtigen ist hierbei vor allem die Halbwertszeit des diagnostischen Wissens, die in Abhängigkeit zur Betriebsphase der Montageanlage steht, zu deren Zeitpunkt das Diagnosesystem eingeführt wird.

Die Vorgehensweisen zur Eingrenzung des Problembereiches sind bei der Entwicklung von Diagnosesystemen unterschiedlich. Dies ist in hohem Maße davon abhängig, ob die Systementwicklung vor oder nach der Realisierung einer Montageanlage vorgenommen wird, an der das System eingesetzt werden soll. Bei ex post entwickelten Diagnosesystemen ist der Problembereich relativ gut überschaubar. Die Erfahrungen, die während der Inbetriebnahme und der normalen Betriebszeiten der Anlage gemacht werden, geben bis zum Zeitpunkt der Einführung des Dia-

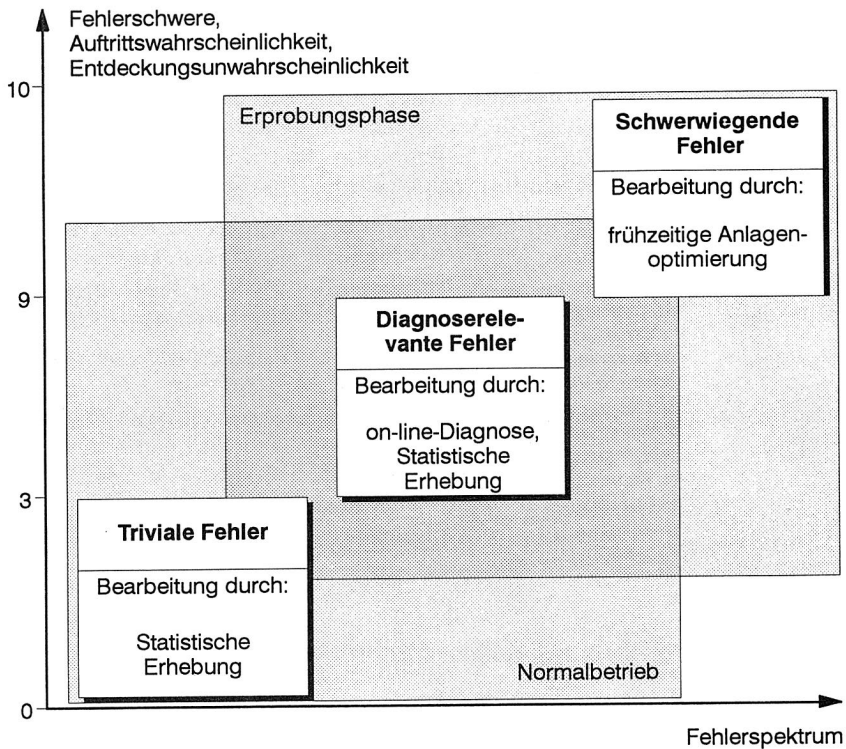


Bild 4-39: Einteilung des in der Akquisition aufgenommenen Fehlerspektrums in die drei Wertebereiche zur Weiterbehandlung

gnosesystems einen umfassenden Aufschluß über das Spektrum der Fehlerfälle. Diese Kenntnisse daraus können mit einer anschließenden Analyse sehr gut für die Erstellung des Diagnosemechanismus genutzt werden.

Im Gegensatz dazu sind bei der exanten Entwicklung eines Diagnosesystems für eine noch nicht existente Montageanlage die Entwicklung und Nutzung weiterer Methoden erforderlich, um die aus der Praxis abgeleiteten Anforderungen zu erfüllen. Dabei muß bei der Abschätzung des Problembereiches zunächst allein von hypothetischen, potentiellen Fehlern ausgegangen werden. Da nicht alle Fehler die gleiche Bedeutung an Auswirkungen für den Betrieb der Montageanlage haben, wird aufgrund des Umfangs der vermutlichen Fehler eine Gliederung in unterschiedliche Kategorien und eine parallelisierte Bewertung vorgenommen. Die Bewertung stützt sich auf ein Kennzahlensystem, deren Gewichtung bereits während der Akquisition vorgenommen wird.

Die Kategorisierung unterscheidet hierbei neben den Extremfällen der trivialen und der schwerwiegenden Fehler den diagnoserelevanten mittleren Fehlerbereich, die im Bild 4-39 dargestellt sind. Dies führt bei trivialen Fehlern wegen der geringen Bedeutung für die Laufzeiten der Montageanlage oder der einfachen Entdeckung und Behebung durch das Bedienpersonal zur Vernachlässigung des Fehlers. Die aufgrund von Fehlern dieser Art verursachten Stillstandszeiten werden zwar registriert, aber es werden keine weiterführenden Diagnoseaktionen ausgelöst.

Schwerwiegende Fehler werden verstärkt dadurch beseitigt, daß sie durch eine Optimierung der Montageanlage selbst möglichst nicht zum Tragen kommen sollen (vgl. 2.5, S. 30). Hier wird der Ansatz der präventiven Fehlervermeidung verfolgt, der bereits in frühen Phasen der Montageanlagenentwicklung ansetzt.

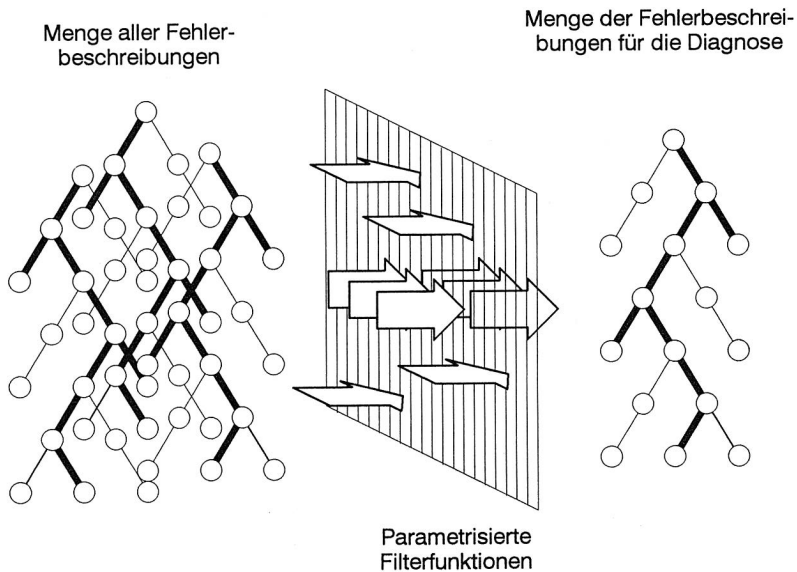
Der Zwischenbereich im Fehlerspektrum wird von den diagnoserelevanten Fehlern gebildet. Diese werden hauptsächlich für die Abbildung des Problembereiches in dem Diagnosesystemkern genutzt. Zwei Grenzbereiche charakterisieren insgesamt diese Fehler. Auf der einen Seite sind sie schwierig zu entdecken und verursachen einen nicht mehr vernachlässigbaren negativen Einfluß auf die Anlagenlaufzeit, worin hingegen auf der anderen Seite die endgültige Beseitigung der Fehler durch eine Optimierung der Montageanlage ein ungünstiges Verhältnis von Aufwand zu Nutzen darstellt.

## **4.2    Systemkonzept zur Validierung des Fehlerspektrums**

Die Grundlage für die Extraktion des diagnoserelevanten Fehlerspektrums bildet der Datenbestand aus der Wissensakquisition, der den Aufschluß über Fehlerfälle sowie deren Ursache-Wirkungsbeziehungen beinhaltet. Die gleichzeitige Gewichtung des umfangreichen Fehlerspektrums während der Akquisition unterstützt zum einen die übersichtliche Repräsentation und zum anderen den Anwender bei Abschätzung der Tragweite eines Fehlers. Die quantitative Bewertung wird mittels der drei Faktoren der Auftrittswahrscheinlichkeit, Entdeckungswahrscheinlichkeit und Auswirkung eines Fehlers vorgenommen, aus denen weiterhin die Risikozahl ermittelt wird. Nach [97] wird der Wert der Risikozahl durch die Multiplikation der Einzelfaktoren bestimmt.

Die Gewichtung der Auftrittswahrscheinlichkeit, Entdeckungswahrscheinlichkeit und Auswirkung eines Fehlers läßt bei der Bewertung des Fehlerspektrums für die Diagnose unterschiedliche Sichtweisen und Zielstrategien zu (Bild 4-40). Zur Berechnung der Zielgrößen werden Methoden angewendet, die auf der Auswertung von Parametern basieren, welche vom Benutzer in Filterfunktionen konfiguriert werden können. Anhand weiterer Parameter können Ordnungsprinzipien der hinterlegten Daten flexibel eingestellt werden.

Die Vorgehensweise der parametrisierten Filterung der unterlagerten Informationen bewirkt, daß die Fehlerbeschreibungen zum einen in die Kategorien der



*Bild 4-40: Bewertung der Fehlerbeschreibungen für die Diagnose aus der Gesamtmenge durch parametrisierte Filterfunktionen*

schwerwiegenden, der trivialen sowie der diagnoserelevanten Fehler eingeteilt und andererseits in den Kategorien einer weiteren Bewertung unterzogen werden können. Wie in Kapitel 2.5 (S. 30) ausgeführt, muß die Erkennung schwerwiegender Fehler zur Optimierung einer Montageanlage führen, wobei dagegen triviale Fehler vernachlässigt werden können. Die Diagnose soll sich hingegen auf den mittleren Bereich beziehen, der den größten Anteil bildet.

Die Bewertung des Fehlerspektrums mit der Aufteilung in die drei Bereiche ist jedoch nur eine fiktive Festlegung. Dies bedeutet nicht, daß das Fehlerspektrum der beiden Randbereiche entfernt wird und nicht mehr in der Datenstruktur abgebildet ist. Aufgrund der flexiblen Handhabung des Bewertungsalgorithmus wird zugunsten einer überschaulichen Handhabung der on-line-Diagnosen nur die Sicht auf die Informationen eingeschränkt. Die Bewertung kann jederzeit durch eine erneut durchgeführte Parametrisierung geändert werden.

Der virtuell extrahierte mittlere Bereich des Fehlerspektrums hat entscheidenden Einfluß auf die Ausprägung des Anforderungsprofils an die Datenerhebung und die Konfiguration der Datenerfassung. Aus diesem werden vor allem die Daten-

quellen und die Datenerfassungsstrategien abgeleitet. Vorrangig ist hier zu klären, ob die Sensorik, die zur Steuerung der Montageanlage eingesetzt wird, für die Erfüllung der Diagnoseanforderungen ausreichend ist. Die alleinige Nutzung der anlageneigenen Sensorik hat stets den Vorteil, daß Fehlerraten, die durch die gegebenen Verfügbarkeitswerte der zusätzlichen Sensorik möglicherweise auftreten, vermieden werden können (vgl. 2.4.3, S. 27). Sollte die anlageneigene Sensorik den gewünschten Überwachungsbereich entweder aus Gründen des Vorhandenseins oder des erforderlichen physikalischen Prinzips jedoch nicht abdecken, so muß überprüft werden, inwieweit additive Sensoren für eine erweiterte Signalerfassung benötigt werden. Berücksichtigung finden dabei alle Anlagen- und Peripheriebereiche, die bei der Wissensakquisition bearbeitet wurden. Eine optimierte Sensorausstattung trägt so zum einen zu guten Überwachungsergebnissen sowie zum anderen zu einer hohen Sicherheit der Diagnoseentscheidungen und der Montageanlage bei.

Die Bewertung des Fehlerspektrums zeigt nach der Beurteilung und optimierten Auslegung der Sensorik weiterhin auf, welche Anforderungen an die Datenvorverarbeitung gestellt werden müssen. Die Datenvorverarbeitung umfaßt generell Routinen zur Zustands- und Zeitüberwachung einer Montageanlage. Sehr beachtlich ist der Aufwand für die Anpassung und den Test der Steuerungssoftware, der sich vorrangig bei speicherprogrammierbaren Steuerungen ergibt. Die systematische Entwicklung der Steuerungsprogramme muß durch die Schaffung von Rahmenbedingungen unterstützt werden, wie beispielsweise durch die Verbesserung des Informationsflusses zwischen mechanischen und steuerungstechnischen Konstruktionsbereichen. [144] Gleiches gilt für die Entwicklungen zur Überwachung von Anlagenfunktionen, die in die Steuerung integriert werden. Die Routinen zur Zustands- und Zeitüberwachung stellen überwiegend Entwicklungen dar, die sich auf einen relativ kleinen Einsatzbereich beziehen. Auf dieser Ebene ist bereits zu einem hohen Anteil eine Modularisierung und Standardisierung der Überwachungsroutinen anzustreben.

Die Modularisierung und die teilweise Standardisierung der Überwachungsroutinen vereinfachen einerseits die Übertragung aus anderen Anwendungs- und Einsatzbereichen heraus und tragen andererseits zu einer wesentlichen Reduzierung von Anpassungsproblemen bei. Der Entwicklungsaufwand kann damit generell erheblich vermindert und die Entstehung von Steuerungsfehlern durch die bereits bewährten Einsätze drastisch verringert werden. Die Standardisierung bezieht sich vorrangig auf Module der Kommunikation, auf die Ansteuerung von Standardkomponenten wie beispielsweise Achsservos und auf Routinen der Zeitüberwachung.



### 4.3 Systemkomponente zur Qualifizierung und Quantifizierung des Fehlerspektrums

Systeme zur on-line-Diagnose müssen ihre begrenzten Ressourcen effizient einsetzen. Diese Forderung betrifft die unterschiedlichen hard- und softwaretechnischen Bereiche eines Diagnosesystems selbst sowie die peripheren Zusatzmittel wie Netzwerk, Sensorik und Geräte zur Datenerfassung. Zur Beurteilung des Fehlerspektrums, die einen gezielten Einsatz der genannten Komponenten unterstützt, wurde das Fehler-Quantifizierungs- und Qualifizierungs-System FQQS entwickelt.

Der erste Bereich ist die erforderliche rechnerexterne oder -interne Hardware. Hierzu zählen die Datenerfassungskanäle der einzelnen Datenerfassungsmodule, die zur on-line-Datenerfassung genutzt werden. Aufgrund der nur begrenzt verfügbaren Signaleingänge wird ersichtlich, daß diese so eingesetzt werden müssen,

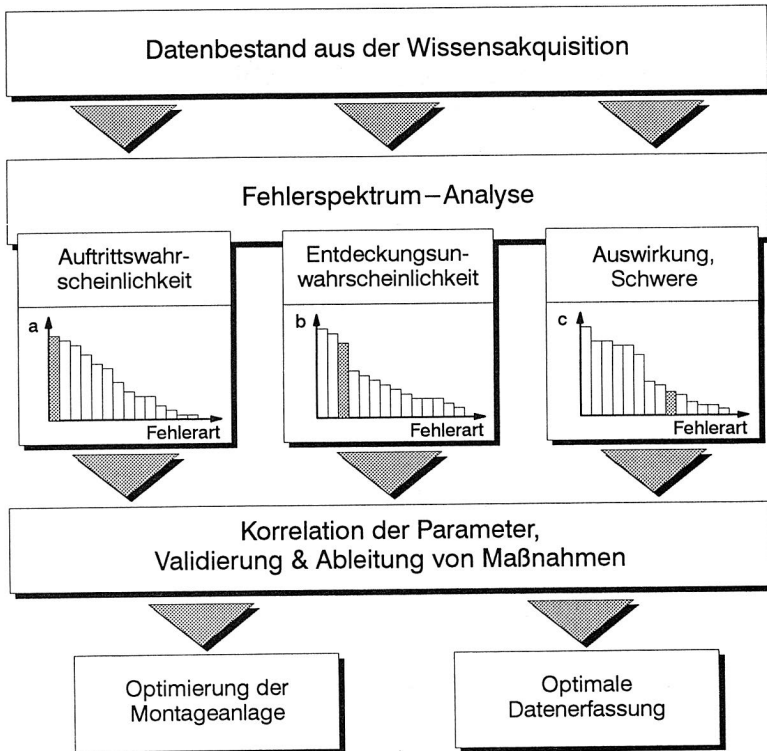


Bild 4-41: Ableiten von Maßnahmen im Vorfeld der Diagnoseanwendung durch die Fehlerspektrumsanalyse

daß vor allem Störeintrwirkungen erfaßt werden, die eine relativ hohe Verfügbarkeitsminderung der Montageanlage verursachen. Dies sind in der Regel Fehler, die schwierig zu entdecken sind und umfangreiche Informationen zu deren Beseitigung verlangen.

Der zweite wichtige Bereich ist die Abarbeitung umfangreicher Softwareroutinen, die entweder unmittelbar oder mittelbar mit der Fehlererfassung und -diagnose in Verbindung stehen. Die Probleme sind zwar in diesem Bereich durch die in den letzten Jahren erhebliche Steigerung an Rechnertechnik und Rechengeschwindigkeit gemindert worden, wobei im Gegenzug die Ansprüche an die Funktionalität und den Komfort stetig steigen. Nehmen die Anzahl und die Komplexität der Such- und Diagnoseroutinen zu, so sinkt die Reaktionsgeschwindigkeit der gesamten Fehlerbehandlung. Der Minderungsumfang kann im Extremfall zu einer für den Anwender nicht mehr zumutbaren Belastung führen und die Fehlerbehandlung verzögern.

**Datenselektion**

Ausgewählte Fehlerklasse: **HS180** Bestuecker HS180

Komponente: **Z-Achse** **Mischen**

Funktion: **Schneiden**

Fehler: **Verfälschen**

Auswirkung: **Verfälschen**

Ursache: **Verfälschen**

Massnahme: **Verfälschen**

Schwere: **zwischen** **3** und **9**

Entdeckenswahrscheinl.: **zwischen** **3** und **9**

Auftretenswahrscheinlichkeit: **zwischen** **3** und **9**

Risikoprioritätszahl: **>** **125**

10 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

Schrittweite: **1** **10** **50** **100**

**Verfügbare Operatoren**

**keine Auswahl**

**>**

**>=**

**=**

**<=**

**<**

**von ... bis ungleich**

**Selektion starten** **Alle löschen** **Letzte Selektion**

Bild 4-42: Exemplarische Bildschirmmaske zur Analyse des Fehlerspektrums durch die Auswahl von Informationselementen sowie einschränkender Parameter

Für die on-line-Diagnose ist eine stetige Kommunikation auf dem Datenerfassungsnetzwerk erforderlich, um die Informationen über die angeschlossenen Anlagen zu erfassen. Das Netzwerk kann bei einer überdurchschnittlichen Belastung einen Engpaß bilden. Damit das Netzwerk nicht mit dem Versenden unwichtiger oder weniger wichtiger Informationen belastet wird, wird zum einen, wie schon angesprochen, die Datenerfassung und zum anderen die Auslegung der additiven Sensorik optimiert (Bild 4-41). Das so geregelte Kommunikationsaufkommen wird deshalb nicht zu einer Minderung der Reaktionsgeschwindigkeit führen.

Aus diesem Grund muß für die anfängliche Konfiguration eine eingehende Analyse des Fehlerspektrums vorgenommen werden. Diese Analyseergebnisse beeinflussen sämtliche Aktivitäten, die die Auslegung und die Konfiguration der Datenerfassung sowie der Datenvorverarbeitung betreffen.

Die Analyse wird mit Hilfe der Systemkomponente zur Qualifizierung und Quantifizierung des Fehlerspektrums durchgeführt (Fehler-Quantifizierungs- und Qualifizierungs-System FQQS), die wesentlicher Bestandteil des adaptiven Diagnosesystems ist. Diese Systemkomponente greift zur Analyse des Fehlerspektrums auf die bereits bestehenden Datenbestände zu, die während der Wissensakquisition in der Datenstruktur der Wissensakquisitionskomponente angelegt wurden.

Entsprechend der Vorgaben, mit denen die Einteilung des Datenbestandes in die drei Gruppen vorgenommen werden, können in der Selektionsphase die entsprechenden Parameter in der Filterfunktion eingestellt werden. Im Bild 4-42 ist exemplarisch die Selektionsbildschirmmaske zur Analyse des Fehlerspektrums dargestellt. Der Bewertungsbereich ist durch die Auswahl eines Operators und der Grenzwerte festgelegt. Sämtliche Einträge, die hier vorgenommen sind, werden mit der logischen UND-Funktion verknüpft und führen zu einer stetigen Eingrenzung des Problemfeldes. Diese Vorgehensweise führt zu einer sukzessiven Exklusion von Fehlerfällen, die weniger Relevanz für die Montageanlagenverfügbarkeit besitzen.

Sind die entsprechenden Selektionskriterien eingestellt und die Filterfunktion mit den Werten vorbesetzt, so wird der gesamte Datenbestand wie im Bild 4-43 dargestellt, analysiert und die Ergebnisse in einer Tabelle hinterlegt. Daraus wird zunächst der Umfang und anschließend die Rangfolge der Fehlerfälle abgeleitet.

Die Rangfolge wird weiterhin durch eine flexible Gewichtung festgelegt, die vom Benutzer vorgegeben wird, und richtet sich je nachdem danach, ob der Schwerpunkt auf die Auftretenswahrscheinlichkeit, die Entdeckungswahrscheinlichkeit oder die Schwere der Folgen eines Fehlers gelegt wird. Soll eine Gleichbehandlung der drei Faktoren gewährleistet sein, so kann die Risikozahl zur Festlegung der Reihenfolge benutzt werden. Mit diesen Aktionen werden die Rangfolgen der Fehlerbäume umsortiert und dem Benutzer anschließend dargestellt.

Das Bild 4-44 zeigt eine Ergebnisliste, in der die selektierten Fehlerbäume sortiert sind. Die Rangfolge der Fehlerbäume besitzt mehrere Auswirkungen, die einmal



**Daten der Klasse HS180**

ausgewählte Fehlerklasse: HS180      Bestuecker HS180  
Anzahl der Einträge: 15

FehlerNr.	KlassCode	Komponente	Funktion	Fehler	Auswirkung	Ursache	Massnahme	S.	E.	A.	RPZ	Blld	Pol.
30 / 150	HS180	Z-Achse	DE-Handling	Druckwert zu hoch	Maschinenstillstand	anderer Lieferant	deutliche Kennzeichnung der Chargen	4	7	7	156		1
27 / 142				Kollision	Maschinenstillstand	Baudement zu hoch	Umräumen der betr. Spur	6	3	6	108	X	2
27 / 147						SC-Hohe falsch programmiert	Programm ändern	6	6	7	252		3
27 / 144						LP-Dicke falsch programmiert	Programm ändern	6	5	7	210		4
27 / 148						LP-Programmfache fälsch. Normenkreis	Programm ändern	6	6	8	208		5
29 / 149				Lagerteile verschleiss	Maschinenstillstand	evtl. unzureichende Wartung	Wartungsintervalle überprüfen	6	5	7	210	X	6
29 / 205						fälsch. Dimensionierung	Lagerteile für höhere Beanspruchung	6	8	7	336		7
05 / 208				LP-Programmfache fälsch. Normenkreis	Maschinenstillstand	fälsch. Vorgaben	Justieren	6	5	8	240		8
05 / 206						Transportschad falsch eingest.	Justieren	6	5	8	240		9
26 / 141				Motorkreis zu hoch	Maschinenstillstand	Kollision	Verändern von SC und LP	5	6	8	240		10
26 / 142						mehr Fehler im Bestandskopf	Bestandskopf vollständig o. reparieren	10	10	2	200	X	11
26 / 146				mehr Fehler im Bestandskopf	Maschinenstillstand	Lagerteile verschleiss	Lagerteile austauschen	6	7	5	210		12
26 / 204						Überbeanspruchung	Lagerteile austauschen	6	9	5	270		13

Mit der rechten Maustaste wird ein kontextsensitiver Hilfetext aufgerufen.

**Bild 4-44: Exemplarische Ergebnistabelle mit den entsprechenden Fehlerbeschreibungs- und Fehleranalyseindexierungen**

Fehlerfälle in der Datenstruktur nicht weiter bearbeitet werden. Damit können die Ressourcen zur Datenerfassung effizient eingesetzt, der Umfang der zusätzlichen Sensorik optimiert und die Zugriffszeiten für die Diagnosebearbeitungsroutinen gesenkt werden.

## **5      *Fehlertolerante Systeme durch Fehlerprävention und Diagnose***

Die sich stets ändernden Marktbedingungen beeinflussen in einem hohen Maße sämtliche Tätigkeitsbereiche eines Unternehmens. Die zunehmende Erkenntnis, daß nur die von Anfang an möglichst fehlerfreie Bearbeitung eines Auftrages zu einem Kostenoptimum führt, hat eine sensiblere sowie eine mehr und mehr vorausschauende Denkweise zur Folge. Voraussetzung dafür ist die Aufschlüsselung der teilweise äußerst komplexen Abhängigkeiten, die in ihrer Gesamtheit erst nach eingehenden Analysen über- und durchschaut werden können. Methoden, die den früheren funktionsbezogenen, relativ eng abgegrenzten Arbeitsinhalten gerecht wurden, genügen den heutzutage gestellten Anforderungen nicht mehr. Vielmehr wird ein Denken in Systemzusammenhängen gefordert, das die Abhängigkeiten und Strukturen zwar abstrakt, aber in einem möglichst realen Maßstab widerspiegelt. Die zunächst grobe Abstraktion eines Systems kann in einer geeigneten Symbol- oder Beschreibungssprache, wie zum Beispiel in einem Blockdiagramm, dargestellt werden. An die erste Abstraktionsebene schließt sich eine zweite an, in der die weitere Aufschlüsselung kritischer Pfade, beispielsweise von einzelnen Systemkomponenten oder Prozessen, erfolgt.

Die Systemabhängigkeiten berühren sowohl organisatorische als auch technische Belange. Auf der organisatorischen Seite wird stets die Optimierung der Auftragsbearbeitung sowie die Minimierung der Durchlaufzeiten angestrebt. Dies ist sowohl von der organisatorischen Effizienz auf der Planungs- und Dispositionsebene als auch von Parametern der eingesetzten technischen Mittel auf der Fertigungsebene abhängig. Auf der technischen Seite sollen die Optimierungsbestrebungen auf der Fertigungsebene zu einer Minimierung der Ausfallzeiten und der Fehlerbehebungszeiten führen. Die Korrelation der Problembereiche, die zumeist auf unterschiedlichen Unternehmensebenen oder -bereichen verankert sind, zeigt, daß hier keine eindeutige Trennung vorgenommen werden kann und darf. Vielmehr beweist dies, daß eine Trennung zu einem erheblichen Informationsverlust führt. Dieser Informationsverlust kann weiterhin gravierende negative Auswirkungen auf das Unternehmensergebnis haben, die zusätzlich noch aufgrund eben dieses Informationsverlustes oftmals unentdeckt bleiben.

Der systemtechnische Ansatz kann deutlich zeigen, daß eine zu grobe Gliederung des Problembereiches oder das zu starke Vernachlässigen von Abhängigkeiten und Wechselbeziehungen, wie zum Beispiel der Informationswege, nur zu einem deutlich qualitativ geringerwertigen Suboptimum führt. In produzierenden Betrieben ist im zunehmenden Maße das technische Controlling gefordert, das auf alle Bereiche eines Betriebes und deren Aktivitäten zurückwirkt. Die Komplexität der Vorgänge bei der Auftragsbearbeitung verlangt, daß eine intensivere Kommunikation eine erhebliche Steigerung der Transparenz fördert.

Der Fertigungsvorgang läßt sich in der ersten Gliederungsebene in die drei systemtechnischen Bereiche Prozeß, Montageanlage und Produkt einteilen, von denen

teilweise jeder für sich einer eigenständigen und teilweise einer parallelen Betrachtungsweise bedarf. Die starken Wechselbeziehungen der Bereiche verlangen daher eine systematische Analyse und die Aufzeichnung des Zusammenwirkens [147].

### **5.1 Systemtechnische Gliederung der Problemfelder in der Montage**

In den fertigungstechnischen Problemfeldern setzt sich mehr und mehr das systemtechnische Denken durch. Die Systemtechnik bietet ein breites Spektrum an Methoden, die wertvolle Hilfestellungen für eine strukturierte Vorgehensweise und Navigation in den Arbeitsfeldern geben. Die Methoden können in verschiedene Kategorien eingeteilt werden [100]:

- ☐ Informationstechnische Methoden, wie beispielsweise die ABC-Analyse oder die Analogiemethode,
- ☐ Statistische Methoden, wie beispielsweise die Korrelationsanalyse oder die lineare Optimierung,
- ☐ Kreative Methoden, wie beispielsweise die Analogiemethode oder das Brainstorming,
- ☐ Überwachungstechnische Methoden, wie beispielsweise die Zeit-/Kosten-/Fortschrittsdiagramme,
- ☐ Ord nende Methoden, wie beispielsweise die Ablaufdiagramme, Blackbox-Methode oder die Netzplantechnik,
- ☐ Bewertungsmethoden, wie beispielsweise Kosten-/Nutzen-Analyse oder die Nutzwertanalyse.

Für die Begriffsdefinition eines Systems sind in der Literatur eine Vielzahl von Ausprägungen zu finden, die sich jedoch in der Kernaussage decken. Ein System repräsentiert eine Menge von Elementen, die zum einen durch wechselseitige Beziehungen miteinander verbunden sind und zum anderen eine in sich geschlossene Einheit bilden. Komplexe Systeme liegen dann vor, wenn die Einheit aus vielen Elementen besteht, die in der Anzahl und Beziehungsstärke in einer hohen Abhängigkeit stehen. [50]

Die Menge der Elemente ist auf komplexe Art und Weise durch Energie-, Stoff- und Datenflüsse miteinander verknüpft (Bild 5-45). Die Flüsse treten beim Systemeingang in das System ein und werden entsprechend der Systemaufgaben umgewandelt. Am Beispiel einer Montageanlage bedeutet dies, daß die zugeführten Materialien und Hilfsstoffe unter der Einwirkung entsprechend vorgegebener

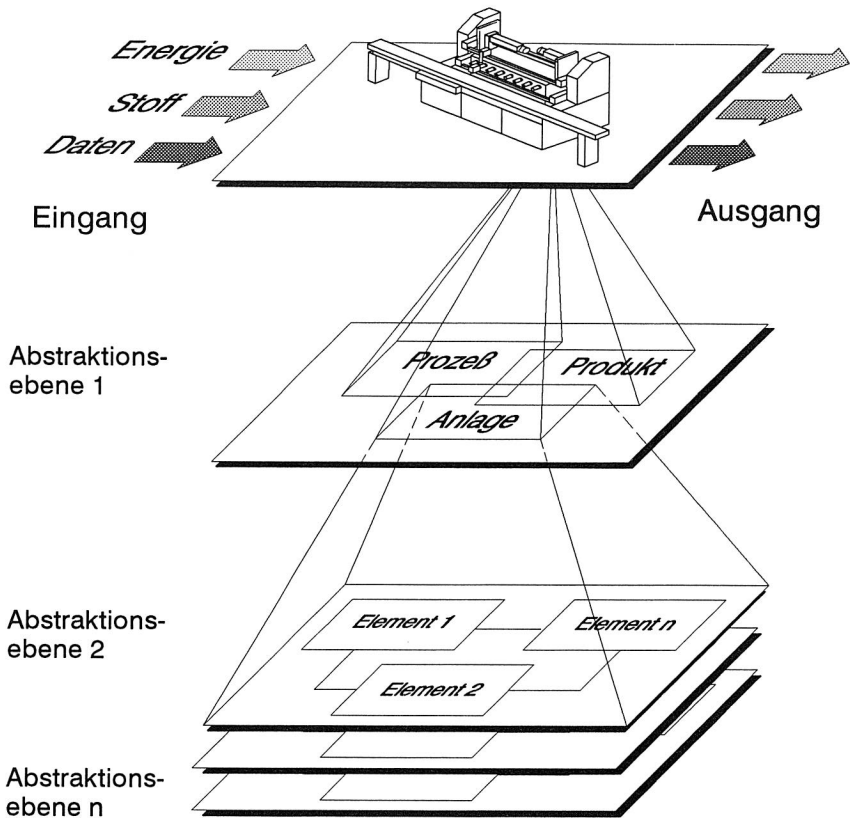


Bild 5-45: Die schrittweise Zerlegung des Problemereiches nach dem Top-Down-Prinzip

Montageinformationen und eines Energieaufwandes zu einem Produkt oder Halbprodukt gefügt werden. Über einen definierten Ausgang verlassen diese das System, begleitet von niederwertigeren Energien und begleitenden Informationen, wie beispielsweise zur Produktqualität oder zu aufgetretenen Fehlern in den Bearbeitungsabläufen.

Die Komplexität der Systeme in der Elektronikproduktion besitzt in der Regel einen direkten Zusammenhang zu der Hochwertigkeit der Technologie, die zum Einsatz kommt. Wird diese Erfahrung auf die Bereiche des Montagesystems, des Prozesses und des Produkts übertragen, so erfordert die Herstellung eines technologisch hochwertigen Produktes im gleichen Maße Prozesse, die auf hoch-



wertigen, beispielsweise hochgenauen Anlagen ausgeführt werden. Hier bestehen in vielschichtiger Weise starke Abhängigkeiten.

Ausgehend von dem Gesamtsystem "Montagesystem", läßt sich dieses durch eine erste Stufe der Verfeinerung, wie sie in Bild 5-45 dargestellt sind, in der Top-Down-Vorgehensweise von oben nach unten, demzufolge in die Subsysteme Anlage, Prozeß und Produkt zerlegen. Die separierten Subsysteme nehmen in ihrer Komplexität stets ab und sind folglich als einzelnes Element übersichtlicher. Dies mag nach der ersten Verfeinerungsstufe noch nicht einsichtig sein, doch kann der Verfeinerungsprozeß bis zu einer beliebigen Auflösung wiederholt werden. Der Grad der Auflösung muß zum einen den Anforderungen der realistischen Abbildung entsprechen und darf zum anderen nicht die Übersichtlichkeit beeinträchtigen, da mit steigender Auflösung der Aufwand zur Erarbeitung und Darstellung überproportional steigt. Unter Berücksichtigung der Zielfunktionen, beispielsweise der Entwicklung eines stabilen Prozesses, können so mit Hilfe des systemtechnischen Ansatzes beliebige Systeme zerlegt und dargestellt werden.

Systeme werden anhand spezifischer Eigenschaften unterschieden und können in die Gruppen der geschlossenen, offenen, dynamischen und statischen Systeme eingeteilt werden. Die Unterscheidung zwischen geschlossenen und offenen Systemen wird anhand der Anzahl und Stärke von Einflußfaktoren auf das Umfeld getroffen. Bestehen nur geringe Beziehungen zum Umfeld, so wird von einem geschlossenen System gesprochen. Die Dynamik eines Systems wird von der zeitlichen Änderung von Beziehungen determiniert. Ändern sich die Beziehungen nicht oder nur langsam, so handelt es sich um ein statisches System. [3]

Systeme in der Montagepraxis sind in der Regel nicht gekapselt, sondern stehen in einem vielfältig gearteten Spannungsfeld von Einflußgrößen. Allgemein werden die Einflußfaktoren, die entweder systematisch oder zufällig einwirken, mit den sogenannten 5M-Einflußgrößen angegeben. Unter die 5M-Einflußgrößen fallen die Maschine, das Material, die Methode, der Mensch und das Milieu (Umwelt). Im Bild 5-46 sind die Kerngrößen dargestellt, die im Inneren eines Systems wirken und in vielfältiger Weise äußeren Einflüssen ausgesetzt sind. Die äußeren Einflußgrößen werden durch die Faktoren Mensch und Umwelt, wie zum Beispiel Erschütterungen oder Feuchtigkeit aus der Umgebung der Montageanlage, determiniert. Die Einflüsse wirken auf das Montagesystem ein und verursachen ein permanentes, sich änderndes Systemverhalten, was dazu führt, daß das System nicht mehr als statisch, sondern als dynamisch betrachtet werden muß.

Aufgrund der Komplexität und Vielschichtigkeit der Ursache-Wirkungsprinzipien kann es schwierig werden, qualitativ und quantitativ absolut gesicherte Aussagen machen zu können. Deshalb kann es hier sinnvoll sein, die erste Vereinfachung einzuführen, indem nur signifikante Größen betrachtet werden oder das System als geschlossen behandelt wird.

Durch die Analyse und die Darstellung der vernetzten Zusammenhänge, die zwischen den Bereichen bestehen, trägt die systemorientierte Betrachtungsweise und Behandlung erstens zu einer vereinfachten und zweitens zu einer qualitativ höherwertigen Entwicklung von Prozessen und Arbeitsvorgängen bei. Als zweiten Aspekt kann die Verifikation des Systemverhaltens anhand der Einsatzinformationen vorgenommen werden. Durch das Wissen über die Strukturen ist auf diese Weise ein zügigeres Ergebnis erreichbar, das zur Ausschaltung schädlicher Einflüsse oder zur Optimierung von Parametern und Systemkomponenten führt.

## **5.2 Interne Systemfaktoren einer Montageanlage**

Einflußfaktoren, die auf das Verhalten eines Montagesystems einwirken, sind in die beiden Kategorien der internen und externen Faktoren einordenbar. Systeme ohne externe Einflußfaktoren können als geschlossen betrachtet werden. In der Realität sind sie jedoch kaum anzutreffen. Aus diesem Grund müssen die Wechselbeziehungen der beiden Bereiche stets parallel betrachtet und ihre Abhängigkeiten bei allen Überlegungen einbezogen werden. Sequentielles Vorgehen bei der Entwicklung neuer oder bei der Optimierung schon bestehender Systeme führt lediglich zu Suboptima, wobei zusätzlich häufige iterative Regelschleifen zu durchlaufen sind.

### **5.2.1 Optimierte Produktgestaltung**

In der Montage kommt der schnellen Produktgestaltung eine hohe Bedeutung zu, da der Markt den Zeithorizont zur Produktentwicklung bestimmt. Die Nutzung rechnergestützter Planungs- und Entwicklungswerkzeuge unterstützt einen wesentlich verkürzten Entwicklungszyklus, der entscheidend von der Komplexität des Produktes abhängt. Wie in Bild 5-46 dargestellt, herrschen vielseitige Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Systembereichen. Die Gewinnung, Verarbeitung und Haltung der Informationen erstreckt sich über die gesamte produktbezogene Prozeßkette. Die Produktgestaltung ist praktisch der Ausgangspunkt für alle weiter anschließenden Tätigkeiten zur Herstellung des Produktes und bildet die Basis für die Aktionen der rechnerintegrierten Produktion. Diese bietet die Vorteile, daß die Datenstrukturen und Methoden aufeinander abgestimmt sind. [42] Darin können im zunehmenden Maße auch Informationen integriert werden, die Einsatzdaten der beteiligten Montagebereiche reflektieren. Dies erfordert eine höhere Kommunikationsfähigkeit und setzt den Einsatz leistungsfähiger Datenbanksysteme voraus.

Während der Produktgestaltung werden schon Anforderungen an den Prozeß berücksichtigt, damit die garantierten Eigenschaften und Funktionen des Produktes realisiert werden können. Diese betreffen gleichzeitig die Eigenschaften und Funk-

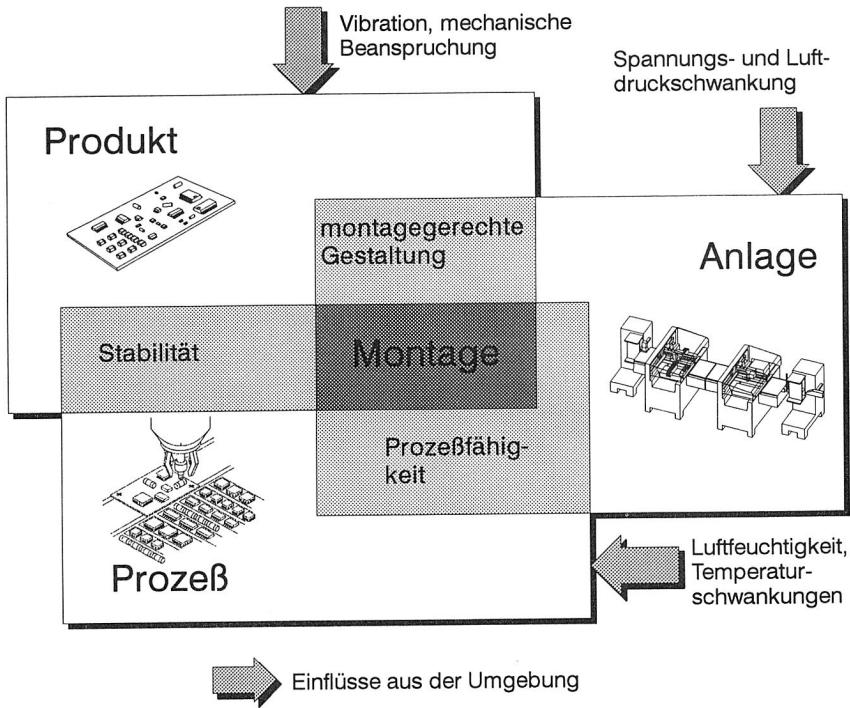


Bild 5-46: Die Subsysteme mit ihren starken Wechselwirkungen im Einfluß von wechselnden Umgebungsbedingungen

tionalitäten der Montageanlage zur Ausführung der Prozesse. Auf diese Weise entsteht eine kausale Kette, bei der die Produktplanung und -entwicklung die ersten Glieder einnimmt. Festlegungen, die hier vereinbart werden, strahlen damit in sämtliche übrigen Bereiche aus, was eine umfassende Sicht bei der Produktentwicklung erfordert [29, 134].

Die Gestaltung eines Produktes wird zunächst von vielfältigen Forderungen geprägt, die von den technologischen Möglichkeiten entkoppelt sind. Beispiele dafür sind die Festlegung eines Designs, unkonventionelle geometrische Abmaße, Materialkombinationen, die nur mit hohem Know-How zu realisieren sind und komplexe Funktionen. Die im Vordergrund stehende Aufgabe ist die Entwicklung eines marktgerechten Produktes, die aber auf der anderen Seite ein breites Spektrum nachfolgender Zwänge für die Realisierung und Fertigung auferlegt.

Wie effizient das Produkt realisiert werden kann, hängt jedoch maßgeblich davon ab, wie die Zwänge bewältigt werden. Wird in diesen Überlegungen berücksichtigt,

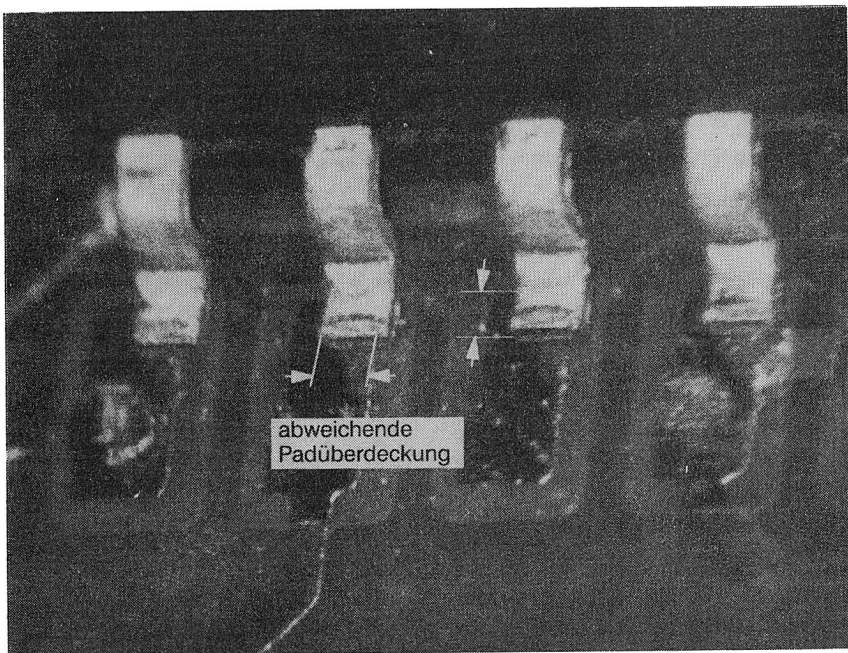
daß sich auch künftige Rationalisierungsmaßnahmen im Produktionsbereich auf die Montage konzentrieren werden, so ist nachvollziehbar, daß hier hohe Rationalisierungspotentiale durch montagegerechte Produktgestaltung erreicht werden können [21]. In dieser Phase wird schon der Grundstein gelegt, wie sich die Entwicklung des Produktes auf den Montageprozeß und das System auswirken wird. Die montagegerechte Gestaltung eines Produktes bedeutet, die bewährten Verfahren für die Prozeßstabilität zu kennen und auf neue Verfahren anzuwenden sowie die konstruktiven Freiheitsgrade zielgerichtet auszunutzen. Gründe, die zur Vernachlässigung eines montagegerechten Produktaufbaus führen, sind vor allem auf Zeitmangel bei der Entwicklung, auf falsche Einschätzung eventueller Auswirkungen für die Montage, aber auch auf fehlendes Wissen, Abschieben der Verantwortung in den Montagebereich oder Organisationsprobleme bei der Zusammenarbeit unterschiedlicher Abteilungen zurückzuführen [6]. Dies zeigt, daß weniger technische als vielmehr organisatorische Ursachen eine nicht montagegerechte Produktgestaltung verursachen, die sich aber im Gegensatz dazu vor allem in den technischen Bereichen durch technische Fehler oder erhöhte Schwierigkeiten bemerkbar machen.

Die Schwierigkeit der montagegerechten Produktgestaltung liegt darin, daß sie in der Entwicklungsphase nicht gemessen werden kann sowie schwierig und nur mit einem hohen Erfahrungswissen beurteilt werden kann. Der Erfolg kann zumeist erst in der später anschließenden Montage überprüft werden. Die permanente Überwachung von Indikatoren, die aus der Erfahrung heraus festgelegt werden, können dazu dienen, eine solche Beurteilung vorzunehmen. Die überwachbaren Indikatoren sind daher in der Regel Aussagen über Fehler und Fehleraufkommen im Montageprozeß, die genau spezifiziert und in Beziehung zum Produkt gesetzt werden müssen. Diese geben erste wertvolle Hinweise darauf, daß zunächst im Arbeitsablauf vermehrt Fehler auftreten, die ihre Ursache in einer nicht montagegerechten Produktgestaltung haben. Da sich die Wirkungen aufgrund der engen Beziehungen sowohl im Prozeß als auch an der Montageanlage bemerkbar machen, werden Verbesserungsmaßnahmen wegen des erheblichen Aufwandes in der Regel selten am Produkt selbst als vielmehr durch Änderungen am Prozeß oder an der Anlage vorgenommen.

## **5.2.2 Sicherung von Prozessen**

Die Sicherung von Prozessen sowie die Entwicklung robuster Prozesse nimmt eine weitere wichtige Stellung in der Montagepraxis ein. Die grundsätzliche Zielrichtung ist der Einsatz fähiger und beherrschter Prozesse, die den Anforderungen einer qualitätsorientierten Fertigung genügen. Aufgrund der Vielfältigkeit der Definitionen soll unter dem Begriff qualitätsorientiert der Grad der Übereinstimmung zwischen den Vorgaben und den erreichten Ergebnissen ausgedrückt werden.

Die Betrachtung des Prozeßverhaltens in einem System zeigt zum einen eine wirtschaftliche und zum anderen eine technologische Ausstrahlung. Am Ende einer Prozeßkette hat die Wertschöpfung das Maximum erreicht. Werden erst hier fehlerhafte Produkte aufgrund von Prozeßabweichungen oder -fehlern entdeckt und wieder in den Bearbeitungszyklus eingeschleift, so steigt erstens die Kapitalbindung und zweitens werden wichtige Fertigungsressourcen und Kapazitäten höher belastet. Technologische Untersuchungen zeigen, daß die Auswirkungen von frühzeitig entdeckten Prozeßfehlern sehr viel einfacher eingeschränkt werden können. Das Bild 5-47 zeigt ein gefügtes und anschließend gelötetes elektronisches Bauelement auf einer Leiterplatte, das eine abweichende Überlappung zwischen den Bauelementeanschlüssen und den Anschlußflächen der Leiterplatte aufweist. Für die Behebung des Fehlers ist nach dem Lötprozeß ein ungleich höherer Aufwand erforderlich, als dies direkt im Anschluß an den Fügeprozeß nötig gewesen wäre. Abgesehen von dem erhöhten Aufwand führt die erneute Zerstörung des Lotgefüges bei der Reparatur zu einer künstlichen Alterung des Bauelementes, was eine verkürzte Lebensdauer zur Folge haben kann.



*Bild 5-47: Instabiler Prozeß am Beispiel eines gefügten und gelöteten elektronischen Bauelementes mit einer nur unzureichenden Überdeckung zwischen den Bauelementeanschlüssen und den Leiterplattenanschlußflächen*

Der stets gegenwärtige Anspruch, die Übereinstimmung zwischen Vorgabewerten und Ergebnissen zu einem frühestmöglichen Zeitpunkt zu erreichen, d.h., die Qualität eines Produktes von Anfang an zu erzeugen und nicht zu erprüfен, besitzt weitreichende Auswirkungen auf den gesamten Produktentstehungsablauf. Diese Vorgehensweise beinhaltet zum größten Teil, die sonst übliche Methode der End- oder Abschlußprüfung in kleinere Schritte aufzuteilen und an die Orte der Prozesseinwirkung zu verlagern. Unter Berücksichtigung der komplexen Verzahnung der systeminternen und -externen Einflüsse läuft dies darauf hinaus, die Prozesse zuverlässiger auszulegen. Dies kann zum einen durch sicherheitssteigernde Maßnahmen erreicht werden, um die Prozesse robuster zu gestalten sowie zum anderen durch die stetige Überwachung kritischer Prozeßparameter, um diese bei einer abweichenden Tendenz aufgrund systematischer oder zufälliger Ursachen abzugleichen. Dies wird anhand von Prozeßfähigkeitsuntersuchungen durchgeführt, wobei in einer längeren Zeitperiode die Parameter und deren Einfluß auf das Werkstück erfaßt werden. Die Prozeßfähigkeit  $cp$  ist definiert als:

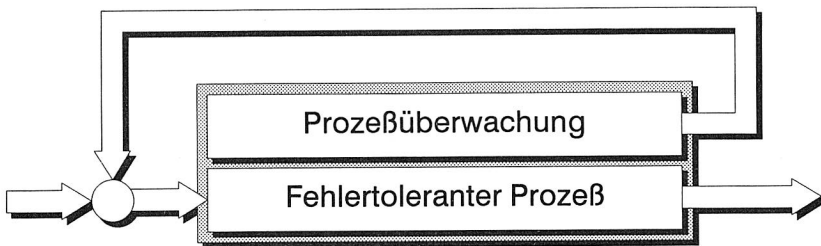
$$cp = \frac{T}{6 \cdot \sigma} = \frac{OGW - UGW}{6 \cdot \sigma} = \frac{\text{Oberer Grenzwert} - \text{Unterer Grenzwert}}{\text{Prozeßstreuung}}$$

Unter der Voraussetzung, daß die garantierten Produkteigenschaften nicht erst am Ende der Prozeßkette durch aufwendige Maßnahmen wie Test und Reparatur erreicht werden, ist der Zusammenhang erkennbar, daß nur beherrschte Prozesse das Ergebnis realisieren können, das während der Planung und Konstruktion bezüglich der Funktionalität und Qualität festgelegt wird. Die Qualität eines Produktes steht somit in unmittelbarer Abhängigkeit zur Stabilität der Prozesse, die während der Produktentstehung einwirken. Wie die zuvor vereinbarte Voraussetzung ausdrückt, muß eine strenge begriffsinhaltliche Trennung zwischen der Qualität des Produktes und der Qualität der Erzeugung getroffen werden. Während die Qualität des Produktes, die sich beispielsweise in Kundenzufriedenheit oder Ansehen des Unternehmens ausdrückt, in breitem Umfang auf dem Markt gewürdigt wird, indiziert die Qualität der Erzeugung die Effizienz der technologischen Prozesse. Die Effizienz hängt maßgeblich vom Zeitaufwand für die Produktherstellung, den Aufwand für Nacharbeiten sowie die Höhe des Ausschusses ab.

Die Optimierung des Prozeßverhaltens, beispielsweise der Stabilität, kann mit zwei unterschiedlichen Methoden erreicht werden, die sich gegenseitig sinnvoll ergänzen (Bild 5-48). Die erste Methode ist der Einsatz fehlertoleranter Prozesse. Diese zeichnet sich durch eine systematische Entwicklung aus, bei der eine Vielzahl prozeßbeeinflussender Parameter berücksichtigt wird. Aufgrund der Systematik können a priori Aussagen darüber getroffen werden, wie sich der Prozeß bei eventuellen Fehlern verhalten wird und wie adäquate Reaktionen ausgelöst werden. Die ausgelösten Reaktionen unterstützen einen qualitativ gesicherten Bear-

beitungszyklus und erhöhen gleichzeitig die stillstandsfreie Laufzeit von Montageanlagen.

Die zweite Methode ist die permanente Prozeßüberwachung und die Rückführung des Prozeßverhaltens. Dies unterstützt auf der einen Seite das Erkennen von Abweichungen und damit die Minimierung der Auswirkungen sowie auf der anderen Seite das Anlaufen und Wiederaufsetzen eines angehaltenen Prozesses. Auf diese Weise werden größere Regelkreise aufgebaut, die entweder eine kurzfristige Korrektur oder Rückführung des Prozesses zur Folge haben oder eine längerfristige Optimierung anstreben. Die längerfristige Optimierung dient zur weiteren Ergänzung der schon eingesetzten kleinen, prozeßnahen Regelkreise.



*Bild 5-48: Einsatz der Prozeßüberwachung als systematische Ergänzung zu fehlertoleranten Prozessen*

In der Prozeßentwicklung werden die Anforderungen an einen qualitativ hochwertigen und stabilen Prozeß spezifiziert, wobei der Prozeß selbst als virtuelles Informationsträgermedium dient, das die Bindung zwischen Montagesystem und Produkt herstellt. Die starken Wechselbeziehungen zwischen Prozeß und Anlage führen zur gegenseitigen Beeinflussung, so daß Änderungen am Prozeßverhalten physische Änderungen der Anlage und Optimierungen der Anlage ein verändertes Prozeßverhalten bedingen. Eine differenzierte Kenntnis der Abhängigkeiten und die möglichst eindeutige Einordnung zu den Ursachen hilft, das Prozeß- und damit das Betriebsverhalten von Montageanlagen zu verbessern.

### **5.2.3 Gestaltung von Montagesystemen**

Die Montageanlagen müssen aufgrund vielfältiger Kern- und Hilfsfunktionen, die während der Montage erforderlich sind, umfangreiche Anforderungen erfüllen. Diese Anforderungen betreffen zum einen die zuverlässige Ausführung der Montageprozesse im Hinblick auf die qualitätsorientierte Fertigung und zum anderen Anforderungen, die eine hohe Verfügbarkeit innerhalb verketteter Montageanla-

gen gewährleisten. Hierin spiegeln sich die wesentlichen marktorientierten Bedürfnisse wider, die eine hohe Qualität, verbunden mit einer hohen Lieferbereitschaft, erfordern.

Die Kernfunktionen in einer Montageanlage umfassen die Handhabung der Montageprozesse. Eine Montageanlage kann im übertragenen Sinne als eine Funktionshülle zur Ausführung der entwickelten Prozesse aufgefaßt werden. Die engen Wechselbeziehungen zwischen Montageanlage und Prozeß zeigen, daß fähige und stabile Prozesse nur auf Anlagen ablaufen können, die ihre Maschinenfähigkeit nachgewiesen haben [37]. Die Maschinenfähigkeit wird, im Gegensatz zur Prozeßfähigkeit, durch eine Kurzzeituntersuchung nachgewiesen, um hinsichtlich der Erfüllung vorgegebener Qualitätsanforderungen für die gestellte Montageaufgabe eine gesicherte Aussage machen zu können. Während der Untersuchung (MFU) wird eine umfangreiche Stichprobe genommen und einer eingehenden Bewertung unterzogen. Ziel dieser Untersuchung ist es, die Fähigkeit und Beherrschbarkeit der Abläufe sicherzustellen. Da die Anlage während der Untersuchung zur Maschinenfähigkeit unter idealen Bedingungen betrieben wird, werden die realen Einflüsse weitgehend eliminiert. [50] Die Maschinenfähigkeit  $cm$  ist definiert als:

$$cm = \frac{T}{6 \cdot s} = \frac{OGW - UGW}{6 \cdot s} = \frac{\text{Oberer Grenzwert} - \text{Unterer Grenzwert}}{\text{Maschinenstreuung}}$$

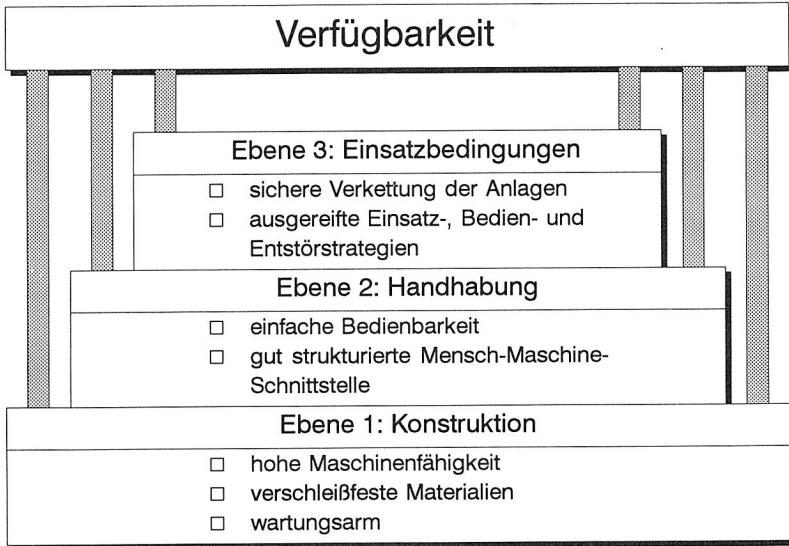
Die Verfügbarkeit von Montageanlagen wird unter realen Verhältnissen durch vielfältige Randbedingungen beeinflusst, die entweder von technischen oder organisatorischen Ursachen abhängen und die systematisch oder zufällig auftreten. Da hier nur die von der Montageanlage abhängigen spezifischen Eigenschaften betrachtet werden sollen, werden organisatorische Wechselbeziehungen wie beispielsweise mit der Auftragseinlastung, nicht berücksichtigt. Im Gegensatz dazu spielen organisatorische Abhängigkeiten, die nahe an die Montageanlage gekoppelt sind, wie die Anlagenbedienung, eine wichtige Rolle.

Die Verantwortlichkeit für die Verfügbarkeit einer Montageanlage kann in drei Stufen eingeteilt werden, die hierarchisch aufeinander aufbauen und sich ergänzen. (Bild 5-49)

Bei der ersten Stufe wird die Anlage ohne äußere Einflußfaktoren betrachtet. Die Verfügbarkeit wird allein von der Güte der Konstruktion sowie der Auslegung bestimmt. Darunter fallen als Kernfunktion die Prozeßsicherheit, die eventuell durch eine fehlertolerante Prozeßführung ergänzt wird sowie weiterhin die Länge von Wartungs- und Instandhaltungszyklen [124] oder die Verwendung hochwertiger, verschleißarmer Materialien.

Die zweite Stufe wird durch Konstruktionsmerkmale bestimmt, die die Mensch-Maschine-Schnittstellen betreffen. Die wichtigsten Merkmale sind eine gut strukturierte und einfache Bedienbarkeit sowie eine gute Zugänglichkeit für Wartungs-





*Bild 5-49: Sicherung der Grundverfügbarkeit durch entwicklungs- und einsatzbedingte Maßnahmen bei Montageanlagen*

arbeiten. Weiterhin sind die Schutzeinrichtungen so auszulegen, daß sie die Gefahrenstellen möglichst kapseln und damit wenig Not-Aus-Funktionen ausgelöst werden müssen. Die Rüstbarkeit und Tätigkeiten zum Nachfüllen von Bauelementen während der Anlagenlaufzeiten sind für die effiziente Nutzung einer Montageanlage in diesem Zusammenhang ebenfalls von hoher Bedeutung.

Die dritte Stufe ist unabhängig von konstruktiven Merkmalen und betrifft in der Hauptsache den Verantwortungsbereich des Anlagenanwenders. Da die Fügeprozesse in der SMT auf mehrere Stationen in einer Linie verteilt sind, ist dieser Punkt entscheidend für den effizienten Einsatz der Anlagen. Die Vorteile, die sich aus der Aufteilung ergeben, bestehen darin, daß einerseits hochgenaue Fügeprozesse auf speziellen Stationen ausgeführt und andererseits die Durchlaufzeiten verringert werden. Die Durchlaufzeiten ihrerseits werden maßgeblich bestimmt durch:

- ☐ die Art der Verkettung der Anlagen,
- ☐ die Abstimmung der Austaktung und
- ☐ die Entwicklung von Strategien zur Bedienung und die Abstimmung von Reihenfolgen für die Entstörung.

Die an einer Montageanlage stets beteiligten Hilfsfunktionen stehen entweder im direkten oder indirekten Zusammenhang mit den Kernprozessen. Dies sind das Transportieren von Werkstücken oder Material, das Ordnen und Orientieren sowie das Zuführen, Ausrichten, Prüfen und Justieren von Montageteilen. Die Hilfsfunktionen können zwar in der Regel durch Pufferstrecken von dem eigentlichen Montageprozeß entkoppelt werden, doch bergen diese bei einer unzureichenden Entwicklung eine Gefahr für die Verfügbarkeit der gesamten Anlage. Ein prägnantes Beispiel ist die Zuführung von Fügeilen über externe Fördermodule.

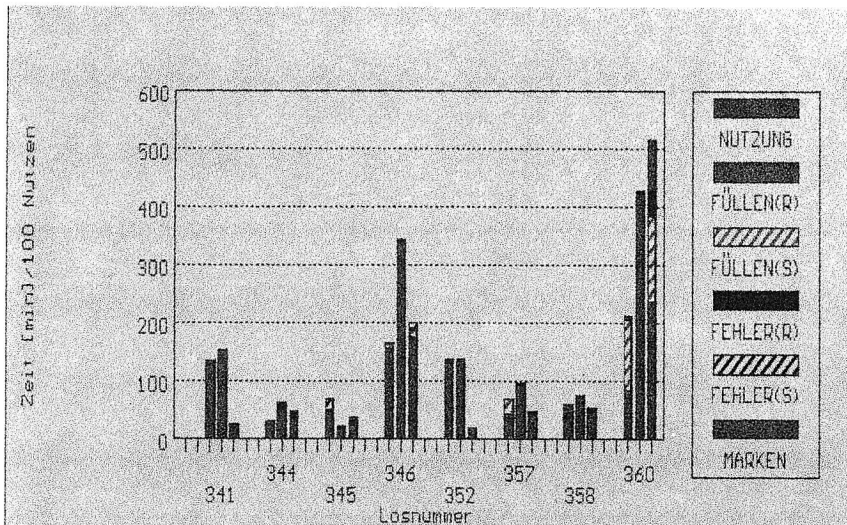


Bild 5-50: Produktdurchlaufzeiten unter Einbeziehung der Austaktung und Fehlzeiten für unterschiedliche Lose

Im Bild 5-50 sind die Durchlaufzeiten unterschiedlicher Lose einer Linie dargestellt, die aus drei Bearbeitungsstationen besteht. Die Nutz- und Fehlzeiten der drei Stationen einer Linie werden jeweils vergleichend nebeneinander gezeigt. Wird im ersten Ansatz von einem fehlerfreien Betrieb ausgegangen, so sind die Durchlaufzeiten minimal, wenn die Bearbeitungszeiten aller drei Stationen gleich sind. Daraus leitet sich das Ziel ab, die Taktzeiten der Stationen durch eine Bestücklastverteilung anzugleichen.

Werden im zweiten Schritt die realen Fehlzeiten für das Beheben von Zuführfehlern und das Nachfüllen von Bauelementen einbezogen, so zeigt sich, daß sich das alleinige Angleichen der Taktzeiten, schon aufgrund der unterschiedlichen Zuführarten für Bauelemente, ungünstig auswirkt. Während Förderer für gegurtete Bau-

elemente sehr zuverlässig arbeiten, ergeben sich bei den Förderern für Schüttgut häufig Zuführfehler und bei Förderern für Stangenmagazine kurze Wechselzyklen, die vom Bedienpersonal ausgeführt werden. Die Störungshäufigkeit und der Betreuungsaufwand sind in Abhängigkeit der Förderart sehr unterschiedlich. Aufgrund der unterschiedlichen Bauelemente, die die Förderer bevorraten, können nicht allein Gurtförderer verwendet werden. Die Restriktionen müssen bei der Rüstung der Stationen berücksichtigt werden.

Durch eine beabsichtigte Schieflast der Linie wird eine der Stationen zur taktgebenden Station, die vorrangig mit den zuverlässigen Gurtfördermodulen gerüstet wird. Die weiteren Stationen werden mit den weniger zuverlässigen Förderern für Schüttgut und Stangen gerüstet. Diese Aufteilung hat mehrere Vorteile:

- ☐ die taktgebende Station ist sehr ausfallsicher, so daß geringe Fehlzeiten auftreten und die Taktzeit gewährleistet ist,
- ☐ Störungen an nicht-taktgebenden Stationen schlagen sich nicht auf die gesamte Linie durch,
- ☐ das Bedienpersonal hat mehr Zeit, Störungen an nicht-taktgebenden Stationen zu beheben,
- ☐ Produktdurchlaufzeiten werden unter Einbeziehung der Fehlzeiten sehr genau planbar, ohne hohe Sicherheitsfaktoren einrechnen zu müssen.

Für das Bedienpersonal bedeutet die Rüstverteilung, daß im Störfall immer zuerst die taktgebende Station angefahren werden muß, bevor die übrigen Stationen auf Störungen untersucht werden.

Die Überwachung der Kern- und Hilfsfunktionen und die Rückführung in den planenden Bereich tragen wesentlich dazu bei, die Transparenz des Montagegeschehens zu erhöhen. Das detaillierte Wissen über die Zusammenhänge und Wechselbeziehungen ist die Grundvoraussetzung dafür, die Schwerpunkte der Überwachung zielgerichtet zu legen, die erfaßten Informationen zu interpretieren und die geeigneten Maßnahmen für eine Optimierung zu ergreifen.

### **5.3 Externe Systemfaktoren einer Montageanlage**

Geschlossene Systeme sind in der Montagetechnik kaum anzutreffen. Aus diesem Grund haben die äußeren Einflußfaktoren wie die Eigenschaften der verwendeten Fügeteile, Umgebungseinflüsse sowie der Mensch unterschiedlich gewichtete Auswirkungen. Diese Faktoren entstehen oder wirken zwar von einer peripheren Position, womit die Zusammenhänge selten einfach zu analysieren sind, doch können sie den Prozeßablauf so stark beeinträchtigen, daß er funktionell zum Erliegen

kommt oder qualitativ nicht mehr die geforderten Ansprüche erfüllt. Die Störungen sind stets mit der Einbuße der Verfügbarkeit der Montageanlage verbunden. Auf der einen Seite führt der funktionale Ausfall zum unbeabsichtigten und ein qualitativer Einbruch auf der anderen Seite zum beabsichtigten Stillstand der Montageanlage. Die Berücksichtigung der Art und Größe der Einflußnahme trägt grundsätzlich zu einer bedeutend besseren Auflösung der komplexen Wechselbeziehungen bei und kann a priori zu einer besseren Verfügbarkeit beitragen.

### **5.3.1 Anforderungen an die Fügeteile**

Von der Art, Gestaltung und Ausprägung der Eigenschaften der Fügeteile hängen sowohl die Funktionen der Kern- sowie der Hilfsprozesse ab. Unter der Voraussetzung, daß die von den Kernprozessen gestellten Anforderungen durch die Eigenschaften der Fügeteile erfüllt werden, werden weitere Bereiche der Montageprozesse zusätzlich zu zeitunabhängigen auch durch zeitabhängige Parameter berührt.

Unter die zeitunabhängigen Ausprägungen fallen beispielsweise Konstruktionsmerkmale, wie die Teile bereitgestellt, gefördert, gegriffen und gefügt werden können. Diese werden während der Entwicklungsphase festgelegt und bleiben damit konstant. Starke Wechselbeziehungen bestehen durch das Greifen und Fügen zum Kernprozeß und durch das Bereitstellen und Fördern zu den Hilfsprozessen.

Zu den zeitabhängigen Ausprägungen zählen Eigenschaften, die sich im Laufe der Zeit verändern. Die Oberflächenbeschaffenheit und die verwendeten Materialien sind besonders bei elektronischen Bauelementen empfindlich gegenüber Einflüssen aus der Umgebung, die zur Oxidation oder Verschmutzung führen. Nachfolgende Prozeßschritte wie das Löten werden davon maßgeblich beeinflusst.

Toleranzen, besonders bei komplexeren Geometrien der Fügeteile, wie beispielsweise bei hochpoligen elektronischen Bauelementen, können gravierende Auswirkungen auf den gesamten Arbeitsablauf haben. Betroffen davon sind die Zuführung durch Fördermodule und die Eigenschaften der Vereinzelung bei Schüttgut. Zeigt eine Überwachung an dieser Stelle eine erhöhte Störungshäufigkeit, so sind damit Rückschlüsse auf Bauelementefehler oder ungenügende Übereinstimmung der Teile möglich. Während sich Bauelementefehler schon in frühen Montagephasen bemerkbar machen, können die Wirkungen von zeitabhängigen Ausprägungen erst viel später festgestellt werden.

### **5.3.2 Einflüsse aus der Umgebung**

Umgebungsparameter, die eine unterschiedlich hohe Auswirkung haben, beeinflussen die Bereiche Anlage, Prozeß und Material auf vielfältige Weise. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge, mit denen die Umgebungsparameter einwirken, ist

die Ursache mit Hilfe der Wirkungsmerkmale nur nach eingehenden Analysen nachweisbar. Die hohe Dynamik, mit der sich die Parameter stetig ändern, führt dazu, daß die Wirkungszusammenhänge schwieriger erkannt werden können. So führen unterschiedlich lange Liegezeiten von dispenster Lotpaste zur Verflüchtigung von Bestandteilen, die den Lötprozeß erheblich beeinträchtigen. Die Verflüchtigung hängt neben der Liegezeit stark von der Umgebungstemperatur ab. Dies tritt dann auf, wenn das FIFO-Prinzip bearbeiteter Leiterplatten nicht streng befolgt wird.

Die Umgebungseinflüsse einer Montageanlage oder eines Prozesses unterliegen in den überwiegenden Fällen keiner oder einer nur sehr begrenzten Beeinflussung durch Regelmechanismen. Stellen sich nicht beeinflussbare Parameter als nachteilig für die Prozesse oder die Qualität der Produkte heraus, so bietet sich die Möglichkeit, die Entkopplung der Prozesse von diesen Größen anzustreben. Dies wird am einfachsten dadurch erreicht, daß der Raum, in dem die Prozesse ablaufen, erstens in seiner Größe begrenzt und zweitens von der übrigen Umgebung abgeschirmt wird. Ein Beispiel ist die Abschirmung lithographischer Prozesse von der Umgebung zur Herstellung elektronischer Bauelemente mit Hilfe von Reinräumen oder das Löten von elektronischen Flachbaugruppen in einer Schutzgasatmosphäre.

### **5.3.3 Regelstrecke Mensch**

Die gestiegene Automatisierung hat dazu geführt, daß in Montageanlagen schon weitgehend alle Anteile der Steuerung und Überwachung integriert sind, die einen möglichst gesicherten Betrieb unterstützen. In der Ausstattung der Anlagen spiegelt sich das Know-How der Entwicklung wider, die eine weitgehende Unabhängigkeit von manuellen Eingriffen anstrebt. Daraus leitet sich ein neues Anforderungsprofil für das Bedienpersonal ab, in dem zukünftig in einem weit höheren Maße das Verständnis für komplexe technische Systeme verlangt wird.

Die Bedienung flexibler Montagesysteme stellt stets eine anlagenspezifische Tätigkeit dar. Tendenziell verlieren systemintegrierte manuelle Tätigkeiten an Gewicht, wobei hingegen kontrollierende und regulierende Tätigkeiten an Bedeutung zunehmen. Die Führung automatisierter Montagesysteme setzt somit eine Qualifikation voraus, die zu einem selbständigen Handeln und schnellen Entscheidungen befähigen. Das Tätigkeitsfeld wird somit zunehmend durch die Forderung nach der effizienten Auslastung der Anlagen, der störungsfreien Bearbeitung, der optimalen Qualität und der Minimierung der Stillstandszeiten infolge von Störungen geprägt. Die noch stets anzutreffende Vorstellung, den Menschen als einen Störfaktor anzusehen, der möglichst durch selbsttätig funktionierende Systeme zu ersetzen sei, muß aufgrund der neuesten Erfahrung revidiert werden. [42] Die Verfügbarkeit einer Anlage hängt ganz entscheidend davon ab, welche Eingriffsmöglichkeiten zum einen die technische Konstruktion der Anlage zuläßt und welche Maßnahmen zum anderen das Bedienpersonal als Aktion oder Reaktion infolge der vielfältigen Zustände und Störungsfälle ergreift.

Das Ziel von Entwicklungen technischer Systeme und Diagnosesysteme sollte deshalb nicht den vollständigen Ersatz des Menschen verfolgen oder ihm das Denken gänzlich abnehmen, sondern vielmehr darin bestehen, die vielschichtig gelagerten Fähigkeiten wie sensorisches Aufnahmevermögen und flexible Reaktion effektiv zu nutzen. Der Mensch ist mit diesen Fähigkeiten einem technischen System in vielen Situationen überlegen. Das Zusammenspiel von Mensch und System drückt sich prägnant bei der Reaktion auf Störungen aus. Während die rechnergestützte Sensorik schnell Informationen über den Störungsort geben kann und das Diagnoseprogramm weitere Informationen über Störungsart, mögliche Ursachen und Maßnahmen, obliegt es dem Bedienpersonal, diese Informationen zu verifizieren, auf Plausibilität zu prüfen und anschließend geeignete Maßnahmen zur ergreifen. Diese eindeutige Aufgabentrennung wird auch zukünftig, abgesehen von wenigen Spezialanwendungen, aufgrund der heterogenen Systemarchitektur von Montageanlagen beibehalten werden. Der Mensch bildet auf diese Weise die kürzeste Regelstrecke, um gezielt auf Störungen reagieren zu können.

Das Zusammenwirken von Mensch und Anlage setzt jedoch die Erfüllung wesentlicher Bedingungen voraus. Diese Bedingungen betreffen vor allem die Schnittstellen zwischen Rechner und Mensch sowie die Qualifizierung. Die Informationsbeschaffung wird viel stärker als zuvor von Rechnern unterstützt und wird voraussichtlich weiterhin ansteigen. Bei Diagnosesystemen werden mit Hilfe des Bildschirms wichtige Informationen über Störungsort, -art und Maßnahmen vermittelt. Damit die Informationen schnell verfügbar sind und unmißverständlich interpretiert werden können, werden hohe Anforderungen an die Ergonomie des Bildschirmaufbaus gestellt. Die große Gefahr der Schnittstellenverluste kann auf diese Weise erheblich gesenkt werden. Das Informationsangebot, das dem Bedienpersonal im Störfall angeboten wird, muß mit dem eigenen Wissen und der Erfahrung situationsgerecht selektiert werden und somit zur Problemlösung führen. Dazu sind der sichere Umgang mit der Rechnertechnik sowie systemtechnisches Denken in bezug auf die Montageanlage und deren Prozesse erforderlich. Je stärker dieses Wissen und die Erfahrung verfügbar sind, desto schneller führt die Fehlersuche zum Erfolg. Die Anforderungen an die Qualifizierung werden zukünftig nicht nur erweitert, sondern zusätzlich auch anders gelagert sein.

Von einem "Störfaktor Mensch" kann erst dann gesprochen werden, wenn die erforderliche Qualifikation nicht erbracht wird. Dies kann einerseits an einer mangelhaften Vorauswahl für eine Aufgabe und andererseits an einer unzureichenden Lernfähigkeit oder Lernbereitschaft sowie geringen Leistungsbereitschaft liegen. Der Anspruch wird stärker denn je das Denken in Zusammenhängen, analytisch-dispositives Denken, die Fähigkeit der Informationsverarbeitung, Kommunikationsfähigkeit sowie die Verantwortungsbereitschaft beanspruchen [68]. Diese Eigenschaften werden zukünftig vermehrt gefordert und sind deshalb auch verstärkt zu fördern.

## 5.4 Methoden zur Fehlerprävention

In einem fertigenden Unternehmen bestehen sowohl extern als auch intern eine Vielzahl von Lieferanten-Kunden-Abhängigkeiten. Die Tabelle 5-2 stellt den Zusammenhang beispielhaft dar [61]. Die Lieferanten sind gegenüber dem Abnehmer verpflichtet, auch unternehmensintern die Anforderungen an Güter und Dienstleistungen in hohem Grad zu erfüllen. Unter dem Begriff Güter sollen nicht allein Produkte, sondern gleichfalls Investitionsgüter verstanden werden.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß Kosten immer dann erheblich ansteigen, wenn Fehler verursacht werden. Die Kostensteigerung wird zusätzlich noch dadurch verschärft, je frühzeitiger ein Fehler eintritt oder je später er entdeckt wird. Aus diesem Grund stellen Methoden zur Fehlerprävention ein äußerst wichtiges Mittel zur Kostensenkung dar, deren Einsatz deshalb zu einem möglichst frühzeitigen Zeitpunkt erfolgen muß.

Lieferant	Leistung	Abnehmer
externer Kunde	Informationen	Produktentwicklung
Produktentwicklung	Produktfestlegung	Planung
Planung	Dienstleistung	Entwicklung
Entwicklung	Dienstleistung	Arbeitsvorbereitung
Arbeitsvorbereitung	Dienstleistung	Fertigung
Fertigung	Güter, Dienstleistungen	Marketing
Marketing	Güter, Dienstleistungen	externer Kunde

*Tabelle 5-2: Verflechtung der Abhängigkeiten im Verhältnis von Lieferanten und Abnehmer von Dienstleistungen und Gütern [61]*

Die wichtigsten Methoden sind im Bild 5-51 dargestellt. Die überwiegende Anzahl der Verfahren wird zumeist als Mittel der Qualitätssicherung angewendet und beschäftigt sich daher in der Hauptsache stets mit der Produktentwicklung und der Produktqualität. Wird jedoch die Fehlerprävention an einer Montageanlage zur Steigerung der Verfügbarkeit betrachtet, so kann dies gleichfalls als Steigerung der Dienstleistungsqualität der Anlage verstanden werden.

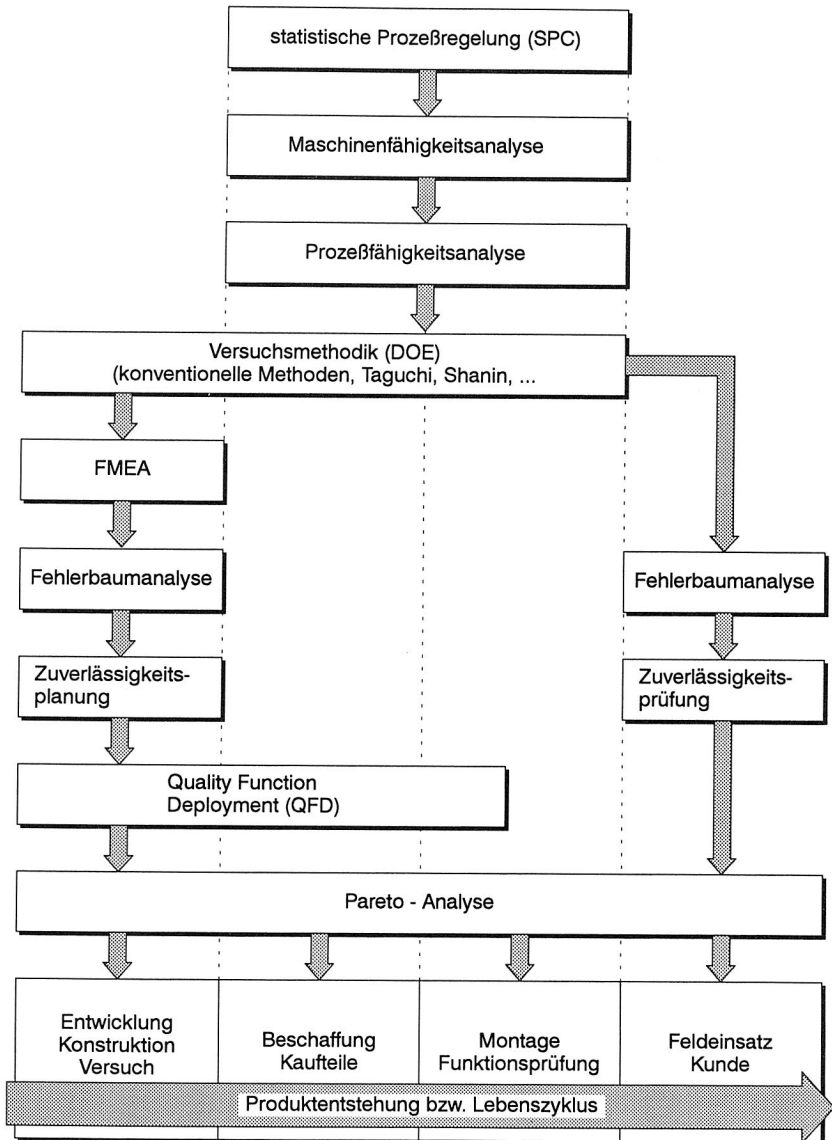


Bild 5-51: Methoden der Fehlerprävention und statistischen Qualitätssicherung  
[nach 50]



## 5.5 Mechanismen zur diagnosegesteuerten Fehlerbehebung

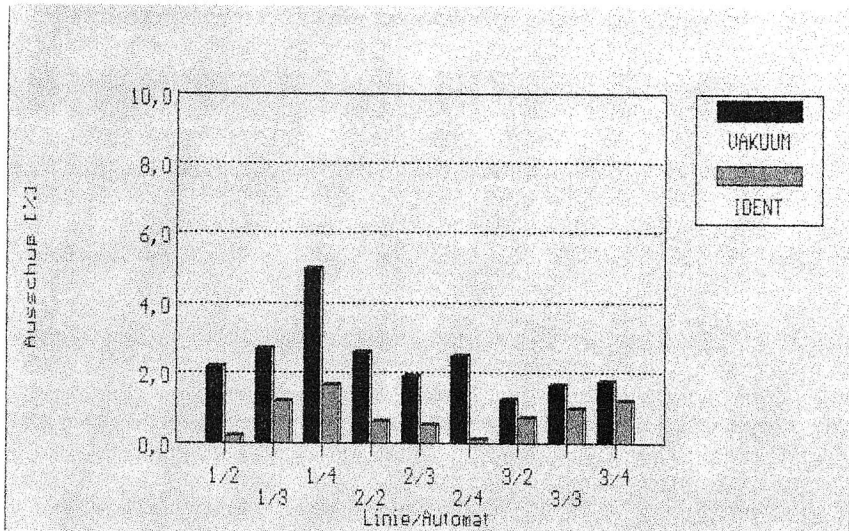
Die diagnosegesteuerte Fehlerbehebung ist sehr eng mit der Entwicklung fehlertoleranter Prozesse verknüpft. Voraussetzung dafür ist die vollkommene Durchgängigkeit des Informationsflusses, wobei die Sensoren und Aktoren jeweils die Endpunkte der Informationsverarbeitung bilden. Die Sensoren stellen aufgrund der Überwachungsfunktionen die Quellen und die Aktoren als Stellglied die Senken dar. Sensoren und Aktoren bilden das Bindeglied zwischen technischen Prozessen und Steuerungssystemen. In einer Steuerungshierarchie besitzen diese Geräte keine eigenständige Verarbeitungslogik, sondern sind stets leistungsfähigen Steuerungen wie beispielsweise NC-Steuerungen oder speicherprogrammierbaren Steuerungen unterlagert [7].

In homogenen Systemen, wie zum Beispiel Rechnerverbünden oder Netzwerken [22], lassen sich Funktionen zur selbsttätigen Fehlerbehebung parallel zur Diagnose [130] einfacher implizieren als in der heterogenen Umgebung montage technischer Geräte. Die Hemmnisse bei Montagegeräten werden vorrangig von der Kombination der unterschiedlichen Techniken aus Steuerungselektronik, Mechanik, Hydraulik und Pneumatik verursacht. Dies liegt zum einen an der Erfassung von Informationen durch die Sensorik und zum anderen in besonderem Maße an der anschließenden Möglichkeit, die berechneten Regelgrößen in Aktionen in der Anlage umzusetzen.

Unterschieden werden die anlagenexternen und die anlageninternen Regelkreise für selbsttätige Fehlerbehebungsmechanismen. Die anlageninterne Fehlerbehebung erfolgt auf sehr kurzen Informationswegen und nutzt die normalen oder die eigens entwickelten Mechanismen. Für eine allgemeingültige, anlagenexterne Anwendung muß die Kommunikation auf einer hohen Ebene erfolgen. Dies erfordert die Einbindung von Standardprotokollen und Schnittstellen.

Ein Beispiel für interne Regelkreise sind Anlagen zur Bestückung von Leiterplatten mit elektronischen Bauelementen. Sie handhaben in ihren Fügeprozessen ein weites Spektrum von Bauteilen. Dies reicht von Chips 0204 mit einer Abmessung von 0,5x1 mm bis zu QFP 304 mit einer Abmessung von 40x40 mm und mittleren Anschlußabstand von 0,4 mm. In einer Studie bei einem Fertiger mit einer hohen Variantenzahl der Leiterplatten wurden drei Linien mit jeweils drei Automaten über einen Zeitraum von 20 Wochen untersucht, wobei unter anderem das Auftreten und die Reaktion auf Vakuum- und Identifikationsfehler näher betrachtet wurden. Das Bild 5-52 zeigt die Fehlerverteilung der Anlagen über einen Zeitraum von zwei Wochen.

Die Gründe für das Auftreten der Vakuum- und Identifikationsfehler sind vielfältig geartet. Während des Bestückvorganges vom Abholen eines Bauelementes bis zum Absetzen auf der Leiterplatte wird die Identifikationsprüfung des Bauteils im Bestückkopf vorgenommen. Wird während des Prüfvorganges ein fehlerhaftes Bau-



**Bild 5-52:** Aufzeichnung des Bauelementeverlustes bei Vakuum- und Identifikationsfehlern an Bestückungsanlagen

teil oder eine Abweichung über den Toleranzwert hinaus festgestellt, so wird das Bauelement ausgesondert. Gründe für den Fehler sind einerseits falsche Bauelemente in der Zuführspur, ein nicht richtig gegriffenes Bauelement, falsch eingestellte Meßzangen im Bestückkopf und andererseits zu eng gewählte Meßtoleranzen im Bestückprogramm oder verschmutzte Meßzangen.

Bauelemente mit mehr als 16 Anschlüssen werden mit Hilfe einer Bauelementekamera zentriert, um Korrekturwerte für Versatz und Verdrehung des Bauteils zu bestimmen. Das Abbild des Bauelementes wird mit den Daten in einer Gehäuseformdatei verglichen. Ist die Korrelation mit dem vorgegebenen Vergleichsbild unzureichend, so können keine Korrekturwerte ermittelt werden, und das Bauelement wird somit nicht bestückt. Gründe für diesen Fehler sind verbogene Anschlüsse des Bauteils (ICs), falsches Bauteil in der Zuführspur, verschmutzte Meßeinrichtung (Diffuserscheibe).

Mit Hilfe von Sensoren wird im Bestückkopf der Bestückungsanlage die Aufnahme von Bauteilen aus den Zuführspuren überwacht. Die gemessenen Werte der Vakuumsensorik werden mit Vorgabewerten verglichen. Die Vorgabewerte hängen von den geometrischen Bauelementeformen ab. Bei Über- oder Unterschreiten der Vorgabewerte wird der Vakuumfehler gemeldet, der zur Aussonderung eines eventuell gegriffenen Bauteils führt. Die Gründe für Vakuumfehler sind die falsche Geometrie des Bauelementes in der Zuführspur, verklemmte Bauelemente in der

Zuführspur, Oberflächenbeschaffenheit der Bauelemente, leere Zuführspur, verkippte Zuführmodule, falsche Förderschrittweite bei Gurtmodulen, gerissene Gurtabdeckfolie oder schlecht eingestellte Schüttgutförderer.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, daß 1–2% der Nutzungszeit für den ersten und zweiten Bestückversuch und 5–6% beim dritten Versuch ( $Bv3_{\max}=6\%$ ) verlorengehen, wobei die Anlage zum Stillstand kommt. Hierin sind die Reaktionszeiten und Zeiten für das Wiederanfahren der Anlage enthalten. Die Kosten für abgeworfene Bauelemente während des ersten und zweiten Bestückversuches liegen zwischen 2% und 3% ( $BEV_{\max}=3\%$ ). Bei einer mittleren Bestückleistung von 4000 Bauelementen pro Stunde ( $BL_{\max}=4000BE/h$ ) ergeben sich bei der Verteilung von 80% zweipoligen Bauelementen zu einem mittleren Preis von DM 0,04 und 20% ICs zu DM 0,80, Bauelementekosten von ca. DM/h 748.–. Das bedeutet, daß während einer 7,5-stündigen Schicht Bauelemente im Werte von ca.

$$\begin{aligned} BE_{\text{Kosten}} &= (4000BE/h \cdot 0,8 \cdot 0,04DM/BE + 4000BE/h \cdot 0,2 \cdot 0,8DM/BE) \cdot 7,5h \\ &= 5760DM \end{aligned}$$

verarbeitet werden. Daraus folgt, daß während einer Schicht und bei einem maximal angenommenen Bauelementeverlust, verursacht durch Vakuum- und Identifikationsfehlern, Kosten in Höhe von ca.

$$\begin{aligned} BE_{\text{Verlust}} &= BE_{\text{Kosten}} \cdot BEV_{\max} = 5760DM \cdot 0,03 \\ &\approx 173DM \end{aligned}$$

entstehen. Wird im anderen Falle angenommen, daß jeder Identifikations- und Vakuumfehler zum Stillstand der Anlage führt, so wäre bei einem Anlagenkostensatz von 3,50DM/min anzusetzen:

$$\begin{aligned} F_{\text{Kosten-max}} &= 3 \cdot Bv3_{\max} \cdot 7,5h \cdot 60min/h \cdot 3,5DM/min \\ &\approx 283DM \end{aligned}$$

Das bedeutet, daß ca. DM 173.– für Bauelementeverlust eingespart und sich demgegenüber die Fehlerkosten um ca. DM 283.– erhöhen würden. Die selbsttätige Fehlerbehebung zeigt in diesem realen Beispiel schon deutliche Vorteile. Für die Interpretation der Ergebnisse müssen jedoch noch weitere Randbedingungen berücksichtigt werden. In der Berechnung der Ausfallzeiten wird für einen erhöhten Anlagenausfall ein konstanter Betreuungsaufwand angenommen. Im Gegensatz dazu müßte aber das Bedienpersonal von zwei auf drei Bedienpersonen erhöht

werden. In gleicher Weise ändern sich die Tendenz, wenn sich der Anteil teurer Bauelemente in dem Bauelementemix erhöht.

Weiterhin ist die Berechnung des Bauelementeverlustes sehr von der Art der Fördermodule abhängig. Während bei Gurtfördermodulen jeder Bestückversuch zum Verlust des Bauelementes führt, ist dies vor allem bei Stangenmagazinförderern, in denen die teuren ICs zugeführt werden, nicht der Fall. Hier treten am häufigsten Zuführprobleme ein, so daß gar kein Bauelement auf der Abholposition zur Verfügung steht. Der Bestückversuch verursacht demnach keinen Bauelementeverlust, sondern nur Zeitverluste. Die Studie zeigt sehr deutlich an diesem ausgewählten Beispiel, daß die engen Regelkreise der Anlage zu einer wesentlichen Erhöhung der Verfügbarkeit und damit zur Kostensenkung beitragen.

## 6 Rückführung des Betriebs- und Prozeßverhaltens in den planenden Bereich

Das Wissen über die Fehlerpotentiale und die Auftretensorte ermöglicht eine gezielte Datenaufnahme und eine gezielte Rückführung der Informationen an die Stellen, die diese Informationen effizient nutzen und in Maßnahmen umsetzen können. Für kleine, anlagennahe Regelschleifen bedeutet dies, daß die on-line-Überwachung und -Diagnose in Fehlerfällen schnelle Hinweise auf Fehler und Ursachen sowie entsprechende Hilfen für die Fehlerbeseitigung anbietet. Diese Informationen sind nur kurzzeitig aktuell und beziehen sich auf einen sehr eingeschränkten Aktionsraum.

Größere Regelschleifen hingegen besitzen einen sehr viel umfassenderen Aktionscharakter. Die Entscheidungsgrundlage für Maßnahmen sind Informationen, die auf den kumulierte Daten basieren, die in den Protokollen der kleinen Regelschleifen verarbeitet werden. Die getroffenen Maßnahmen beziehen sich auf das gesamte Feld der beteiligten Anlagen, Prozesse und Materialien.

Ein gesamtheitlicher Ansatz muß dementsprechend das Ziel verfolgen, sowohl kleine, anlagennahe als auch größere Regelkreise durch eine schnelle Kommunikation und gezielte Informationsübertragung zwischen den unterschiedlichen Ebenen zu realisieren.

### 6.1 Optimierung des Systemverhaltens mit begleitender Simulation

Die Simulation hat sich in vielen Anwendungen als leistungsfähiges Werkzeug zur Auslegung von Montageanlagen bewährt. [18, 32, 118] Zur Bestimmung der Basisdaten werden jedoch zumeist Methoden eingesetzt, die entweder aufwendig sind oder eine nur grobe Rasterung widerspiegeln. Eine gesicherte Grundlage der Eingangsdaten mit Hilfe einer permanenten Überwachung erhöht das Zutrauen in die Ergebnisse.

Mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Simulationsmethoden können Komponenten von Anlagen, die bisher mit hohen Sicherheitsfaktoren behaftet waren, sehr viel genauer ausgelegt werden. In der Definition VDI 3633 werden die Aufgaben der Simulation wie folgt umrissen: *Die Simulation ist die Nachbildung der Realität in einem Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.* [102]

Für die rechnergestützte Simulation werden dazu Simulationsmodelle benötigt, die das Verhalten und die Dynamik eines Systems, z.B. einer Montageanlage, widerspiegeln. Voraussetzung für die Entwicklung eines Simulationsmodells ist die systemtechnische Analyse des realen Systems. Wie in Kapitel 5.1 (S. 87) ausgeführt, müssen Einschränkungen zur Bewältigung der Komplexität eines realen

Systems vorgenommen werden. Die Abbildung des Problems muß, trotz der in den letzten Jahren enorm erhöhten Leistung von Rechnern, an die Rechenleistung und Rechenzeit angepaßt werden. Die Einschränkung besteht darin, die Simulationsparameter auf die wesentlichen Einflußfaktoren zu adaptieren, die den Simulationsmodellen zugrunde liegen.

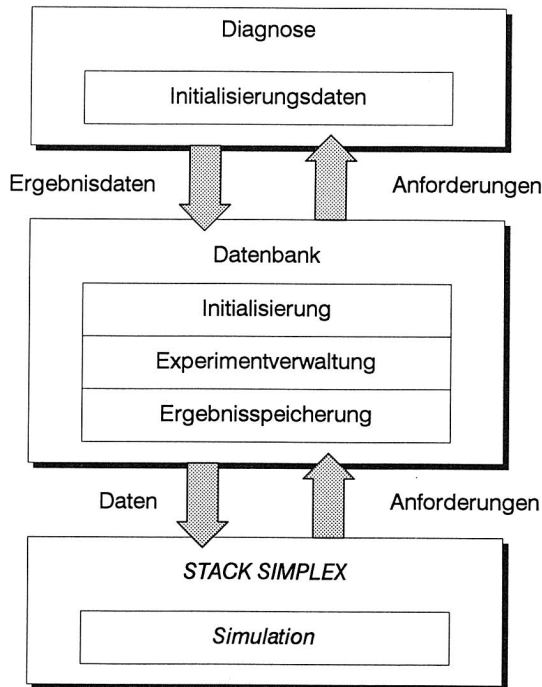


Bild 6-53: Funktionen der Diagnose zur Initialisierung von Simulationsmodellen

Mit der Variation der Modellparameter werden die Folgen auf die Leistungsfähigkeit einer Montageanlage vorherbestimmt. Die Simulation basiert typischerweise nicht auf Optimierungsverfahren zur Bestimmung des globalen Optimums, sondern auf Probierv Verfahren. Dazu werden einzelne, problemabhängige Parameter in einem beschränkten Bereich variiert und so in dem abgesteckten Suchraum ein lokales Optimum bestimmt. Dazu muß eine Reihe von Versuchen durchgeführt und das Ergebnis jeweils auf eine Verbesserung verifiziert werden. [136]

Die Generierung eines Simulationsmodells umfaßt die Definition einer softwaretechnischen Struktur, die das reale System abbildet. Die Elemente der Struktur

repräsentieren einzelne Bausteine, die spezielle Teilbereiche abbilden. Die Bausteine sind so beschaffen, daß sie möglichst allgemeingültig sind und einen angemessenen Detaillierungsgrad aufweisen. Der Detaillierungsgrad hat einen entscheidenden Einfluß auf den Initialisierungsaufwand des Bausteins. Je komplexer der Baustein aufgebaut ist, desto mehr Informationen werden zur Initialisierung benötigt.

Nach [1] werden diese Informationen in die beiden Gruppen der Parametrisierungsdaten und der Initialisierungsdaten unterteilt. Die Parametrisierungsdaten beinhalten statische Größen, die einmal bestimmt werden, wie beispielsweise die Verfahrensgeschwindigkeit eines Bestückkopfes, die dann unverändert für alle Zeiten in dem Baustein hinterlegt werden. Die Parametrisierungsdaten werden typischerweise aus technischen Datenblättern übernommen oder aus Messungen ermittelt.

Die Initialisierungsdaten hingegen sind dynamische Größen und müssen für die realistische Abbildung bei unterschiedlichen Simulationsanwendungen variiert werden. Diese Größen betreffen zum Beispiel Verfügbarkeiten und Störzeiten und hängen deshalb sehr stark von dem realen System ab. Sie müssen jeweils zu Beginn einer Simulationsstudie ermittelt werden. Überwiegend werden die Daten aus Pflichtenheften, Erfahrung oder Vorgaben bestimmt. Genauere Aussagen lassen sich aus Analogschlüssen aus gleichen oder ähnlichen Anlagen ziehen oder aus Kurzzeitmessungen an der realen Anlage.

Im Gegensatz zu den Parametrisierungsdaten spiegeln die Initialisierungsdaten das dynamische Verhalten einer Anlage wider, das durch die Simulation verbessert werden soll. Analog zu einem Diagnosesystem, bei dem die Diagnose nur so gut sein kann wie das hinterlegte Wissen, kann bei der Simulation das Ergebnis nur so gut sein wie die Basisdaten. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, eine informationstechnische Kopplung zwischen der Diagnose und der Simulation, beispielsweise das System *Stack* [1], anzustreben. Die Diagnose kann Informationen über einen weiten Bereich zur Verfügung stellen, die für die Simulation von Montageanlagen einen wertvollen Beitrag zur Initialisierung leisten.

## **6.2    Verbesserte Planung durch Systemverbund zwischen PPS, Leitstand und Diagnose**

PPS-Systeme stellen heutzutage sehr leistungsfähige Methoden für die Auftragsplanung zur Verfügung. Aufgrund der äußerst unterschiedlichen Anforderungen eines Endbenutzers, die sich aus seinen Aufgaben innerhalb der unternehmensinternen Gegebenheiten ableiten, stellen die Systeme eine große Bandbreite an Funktionalitäten für die Planung und Steuerung des Güterflusses bereit. Zumeist beinhalten offene relationale Datenbanken die Datenbasis als Planungsgrundlage, in denen die Datenstrukturen eines Unternehmens abgebildet sind. Hier werden

zum einen die statischen Stammdaten und zum anderen die dynamischen Bewegungs- oder Auftragsdaten verwaltet, die systemabhängig in 100 bis 300 Tabellen und Relationen hinterlegt sein können.

Neben der Materialwirtschaft stellt die Kapazitätswirtschaft eine sehr wichtige Funktion eines PPS-Systems dar. Die Methoden und Datenbasen für diese Funktion sind jedoch sehr unflexibel bezüglich der Berücksichtigung des jeweiligen aktuellen Kapazitätsangebotes. Das Kapazitätsangebot wird von einem Fabrikkalender und den Stammdaten bestimmt. Daraus wird das Kapazitätsangebot für die jeweiligen Arbeitsplätze unter Einbeziehung von leistungserhöhenden oder -vermindernden Zuschlägen bestimmt. Zur Einhaltung der Termine wird mit zu hohen Sicherheitsfaktoren gerechnet, die zu einem Kapazitätsüberschuß führen. Da ein Überschuß eines Kapazitätsangebotes nicht gepuffert werden kann, können die Leistungen verlorengehen. Die hohen Sicherheitsreserven verursachen weiterhin eine erhöhte Durchlaufzeit, die mit der Erhöhung der Lagerbestände korreliert, da Bauelemente und Baugruppen zu früh bestellt werden. [63]

PPS-Systeme umfassen die stark ausgeprägten Funktionen zur mittelfristigen Planung, berücksichtigen aber die kurzfristige Fertigungssteuerung kaum. Die angestrebten Lösungen für die werkstattnahen Bereiche zur Minderung der Durchlaufzeiten, Reduzierung der Bestände und Sicherung der Termine werden damit nur in sehr eingeschränktem Maße bereitgestellt. In diesen Bereich greifen verstärkt Leitstandsysteme ein, die kurzfristige Planungsaufgaben ausführen. Die zukünftig ansteigende Integration zwischen den unterschiedlichen Ebenen für Planung und Fertigung werden verstärkt EDV-Standards verlangen. Dies betrifft vorrangig Betriebssysteme, Datenbanken, Netzwerke und Benutzeroberflächen. Die tendenzielle Wende geht in Richtung Unix als Betriebssystem, SQL-Datenbankschnittstellen und Benutzeroberflächen unter Motif. [121]

Zur Unterstützung der kurzfristigen Fertigungssteuerung durch Leitstandsysteme werden gesicherte, zeitaktuelle Daten über Fehlerfälle und den Arbeitsfortschritt aus der Montageebene benötigt. Die Schaffung einer Datenbasis für PPS-Systeme dagegen erfordert längerfristige Einsatzdaten, um die quasi statischen Entscheidungsgrundlagen den realen Einsatzbedingungen mit erheblich verminderten Sicherheitszuschlägen anzupassen.

Die erforderlichen Informationen können mit erweiterten Funktionalitäten der Diagnose bereitgestellt werden. Der gleichzeitige Aufbau eines größeren Regelkreises für die Rückführung der Einsatzdaten parallel zu den anlagennahen führt zu einer wirksamen Sicherung der Entscheidungsgrundlage bei PPS- und Leitstandsystemen. Beispielsweise erlauben Informationen über die Durchlaufzeiten von Losen mit der gleichzeitigen Aufschlüsselung nach technischen und organisatorischen Fehlzeiten sowie nach Rüstzeiten ein Höchstmaß an Sicherheit für die Terminplanung. In Bild 5-50 sind die Durchlaufzeiten für unterschiedliche Lose dargestellt, die für die zukünftige Auftragseinlastung als Referenzdaten verwendet werden können. Bei den Rüstzeiten muß jedoch außerdem berücksichtigt werden,



daß sich die Reihenfolge der Lose zusätzlich auf diese Zeiten auswirkt. Werden Lose mit einer nahezu gleichen Rüstung an Bauelementen aufeinanderfolgend bearbeitet, so ergeben sich nur geringe Rüstzeiten. Im Gegensatz dazu steigt die Rüstzeit bei einer totalen Umrüstung stark an, was bei der Auswertung der Einsatzdaten berücksichtigt werden muß. Die gestuften Regelkreise der Diagnose unterstützen so die kurzfristige Fertigungssteuerung wie beispielsweise der des Leitsystems *Factory Tower* [104]. Von einer vereinbarten Schnittstelle können die entsprechenden Daten übernommen und für die Feinplanung eingesetzt werden.

### 6.3 *Integration der Diagnose in eine übergreifende Qualitätssicherung*

Die Qualitätssicherung wird zunehmend zur ganzheitlichen Aufgabe, die von allen Teilen eines Unternehmens wahrgenommen werden muß. Das bedeutet, daß nicht nur Abteilungen für Qualitätssicherung, die in der letzten Zeit schon erhebliche Veränderungen in ihrem Aufgabenbereich erfahren haben, für die Sicherstellung der Qualität zuständig sind. Vielmehr ist diese Aufgabe von allen Abteilungen und jedem einzelnen Mitarbeiter wahrzunehmen und ständig zu hinterfragen.

Die erforderlichen qualitätssichernden Maßnahmen sind so in die einzelnen Arbeitsvorgaben und -prozesse zu integrieren, daß eine weitergehende Beherrschung der einzelnen Arbeitsschritte und folglich des gesamten Prozesses gewährleistet ist. Da die Produktqualität im arbeitstechnischen Sinne nicht die zentrale Rolle spielt, sondern nur das Ergebnis aller beteiligten Prozesse widerspiegelt, ist es im Grunde überholt, stets die Ursache-Wirkungs-Beziehungen durch die Diskussion der Produktqualität zu vertauschen. Das bedeutet, daß die Prozeßsicherung Vorrang vor der nachträglichen Produktselektion haben muß.

Die Qualitätssicherungsmaßnahmen dürfen sich aus diesem Grund nicht ausschließlich auf das Ergebnis eines Arbeitsprozesses beschränken. Die Folge ist, daß Qualitätsprobleme erst in den letzten Schritten des Entstehungsprozesses entdeckt werden. Mögliche Fehlerursachen werden zu spät erkannt. Deshalb muß sich die Betrachtung auf die Gesamtheit des Entstehungsprozesses beziehen. [61]

Die Größe des Qualitätsregelkreises ist zwangsläufig mit dem Zeithorizont der Reaktion, aber auch mit der Tragweite der Verbesserung gekoppelt. Während enge, anlagennahe Regelkreise schnell reagieren können, ist ihr Einflußbereich auf diesen engen Bereich begrenzt. Reaktionen, die mit Hilfe großer Regelkreise eingeleitet werden, setzen zeitlich später ein. Sie betreffen jedoch die gesamte Bandbreite der Einflußbereiche, die in Kapiteln 5.2 (S. 90) und 5.3 (S. 99) diskutiert wurden. Die Aufgabe besteht also darin, das Zeitverhalten größerer Regelkreise dahingehend zu verbessern, daß die Totzeiten zwischen Auftreten und Beheben eines Fehlers minimiert werden. Die Bereitstellung und Weiterverarbeitung von pro-

duktkorrelierenden Diagnose- und Einsatzdaten in korrespondierenden Empfängerapplikationen, die mit Hilfe einer offenen Applikations- und Rechnerarchitektur erreicht werden kann, leistet hier einen wichtigen Beitrag. Mit der Realisierung einer Dateischnittstelle, zum Beispiel zum Qualitätssicherungssystem *Sicalis* [103], können Diagnose- und Einsatzdaten effizient für die weitere Prozeßsicherung und -optimierung genutzt werden.

#### 6.4 Systemkonzept zur Rückführung von Betriebs- und Prozeßinformationen

Die Rückführung der Betriebs- und Prozeßdaten stellt sich in einer T-Struktur-Matrix dar, die aus einer vertikalen und aus einer horizontalen Komponente besteht. Das Bild 6-54 zeigt die Matrix, wobei in der vertikalen die Rechnerebenen und in der horizontalen die Applikationen aufgetragen sind. Die Datenübertragung setzt sich aus den Anforderungen zusammen, um die Daten zunächst über verschiedene Rechnersysteme und anschließend zu unterschiedlichen Applikationen zu vermitteln.

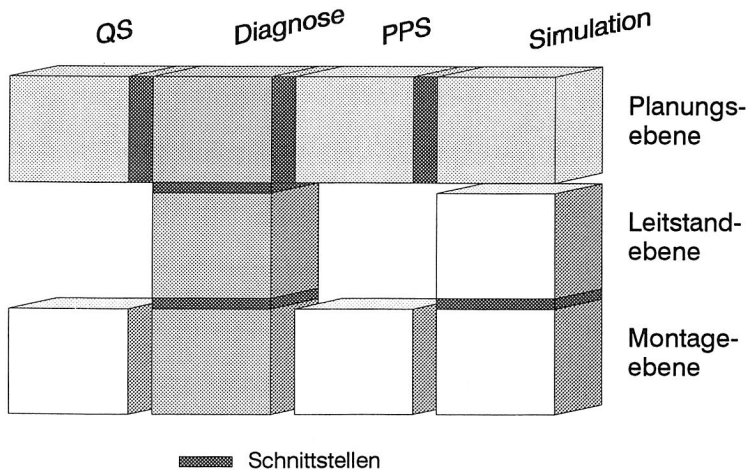


Bild 6-54: Die T-Matrix für die Verarbeitung der Informationen aus der Montageebene auf der Planungsebene zur Steigerung der Transparenz im Montageablauf

Auf unteren Ebenen, beispielsweise der Montageebene, werden überwiegend autonome Kleinrechner mit ihren lokalen, problemorientierten Applikationen betrieben.

Dies führt dazu, daß die Vernetzung zwischen diesen Rechnern nur schwach ausgebildet ist. Auf höheren Ebenen sind im Gegensatz dazu verstärkt vernetzte Rechnerarchitekturen im Einsatz. Da die eigentliche Datenübertragung hier kein Hemmnis darstellt, liegt der Schwerpunkt der Entwicklung vielmehr auf der Bereitstellung und der Übernahme der Informationen in die unterschiedlichen Applikationen.

Die vertikale Ausrichtung in der Matrix betrifft die Übertragung der Informationen zwischen unterschiedlichen Rechnern, die sich aus der Heterogenität der eingesetzten Systemstruktur ergibt. Damit sind zwangsläufig auch unterschiedliche Betriebssysteme in diese Prozeßkette eingebunden. Bei der Übertragung der Informationen besteht diese Strecke aus dem Sender, beispielsweise dem Rechner, auf dem das Diagnosesystem betrieben wird, und dem Empfänger, in dem die Informationen für die Weiterverarbeitung abgelegt werden.

Da die Empfängerapplikationen als selbständig arbeitend implementiert sind, wird somit keine Interprozeßkommunikation unterstützt. Im Gegensatz dazu wird jedoch in der Regel eine einfache Möglichkeit zur Informationsübernahme in die Applikationen angeboten, die in der Definition einer Dateischnittstelle besteht. In der Schnittstellendefinition werden Konventionen festgelegt, die beispielsweise die Formate, Umfang, Reihenfolgen, Namen und Parameter betreffen. Für eine mögliche Realisierung stehen zwei Methoden zur Datenübergabe zur Verfügung:

#### (a) Konvertieren aller Daten

Die erste Möglichkeit einer Schnittstelle besteht darin, daß die Basisdaten bei jedem Aktualisieren ihrer Datenbank automatisch die aktuellen Daten für die Empfängerapplikationen generieren und sie diesen in Dateien zur Verfügung stellen. Das bedeutet, daß alle Daten konvertiert werden und die Applikation jeweils selbst die relevanten Daten extrahiert.

Vorteile:

- ☐ Der Empfängerapplikation stehen jederzeit die aktuellen Informationen bereit.

Nachteile:

- ☐ Bei jedem Aktualisieren der Datenbank werden die Daten generiert, auch wenn diese momentan nicht benötigt werden.
- ☐ Es wird keine selektive Informationsgenerierung unterstützt.
- ☐ Die jeweilige Empfängerapplikation muß die relevanten Informationen aus den Dateien extrahieren.

#### (b) Parametrisierbare Schnittstelle

In der zweiten Schnittstellengestaltung wird ein Programm zur Verfügung gestellt, das die jeweils relevanten Daten ermittelt und in Dateien abspeichert. Das Programm kann mit Parametern gesteuert werden (z.B. Zeitraumangabe,

Maschinenangabe usw.), so daß der Informationsbedarf flexibel gedeckt wird. Möglichkeiten zur Realisierung bietet die Programmiersprache C (mit Ingres Embedded-SQL, ESQL), die geeignete Verfahren zur Parameterübergabe anbietet.

Vorteile:

- ☐ Nur benötigte Daten werden ermittelt.
- ☐ Die Steuerung der Abfrage liegt bei der Empfängerapplikation.
- ☐ Die benötigte Prozessorzeit ist wesentlich niedriger.

Nachteile:

- ☐ Die Menge der möglichen Anfragen wird der Empfängerapplikation vorgegeben.
- ☐ Die Empfängerapplikation muß die Informationen aus den Dateien selbst auslesen.

Aufgrund der flexibleren Arbeitsweise wird für die Realisierung der Schnittstelle die zweite Möglichkeit umgesetzt. Liegen die Daten auf der oberen Ebene vor, so werden die Funktionen der horizontalen Ausrichtung aktiviert. Diese bestehen darin, die Informationen mit Hilfe eines konfigurierbaren Preprozessors aufzubereiten und den unterschiedlichen Empfängerapplikationen anschließend bereitzustellen. Der Preprozessor konvertiert die übergebenen Daten unter Berücksichtigung der Übergabekonventionen in das jeweilige Empfängerformat.



nungsebene. Der Softwarebus, der die einzelnen Aufgabenmodule verbindet, ist derart über eine externe Schnittstelle erweitert, daß kurzfristige Informationen ohne zeitlichen Verzug in die Planungsebene und mittelfristige Informationen zu determinierten Zeitpunkten übertragen werden.

## **7.1 Systemkonzept des adaptiven Diagnosesystems**

Beim Einsatz des Diagnosesystems wird zwischen zwei verschiedenartigen Anwendungsarten unterschieden, die eine unterschiedliche Vorgehensweise bei der Erstellung und Konfiguration des Systems erfordern. Die Vorgehensweisen betreffen die aufeinanderfolgenden Arbeitsschritte der Wissensakquisition, der Analyse des Fehlerspektrums und der Systemkonfiguration, mit denen das Diagnosesystem auf die Erfordernisse des praktischen Einsatzes abgestimmt wird. Der hohe Anteil an standardisierten Softwaremodulen, die für das Diagnosesystem entwickelt wurden, unterstützt die stets vorrangige benutzerfreundliche Handhabung des Systems. Dem so gesetzten Schwerpunkt, beispielsweise der einfachen Ergänzung und Änderung von Systemeigenschaften, um zügig auf sich ändernde Randbedingungen zu reagieren, wird auf diese Weise in hohem Maße Rechnung getragen.

Aufgrund der Konzeption und der Möglichkeit des sehr flexiblen Einsatzes ist das Diagnosesystem so ausgelegt, daß es in unterschiedlichen Anwendungsbereichen und in verschiedenen Betriebsphasen von Montageanlagen eingesetzt werden kann. Die Stärke besteht darin, daß das System nicht nur an bereits existenten Montageanlagen einsetzbar ist, sondern daß aus der Entwicklungsphase der Montageanlage heraus die Erkenntnisse auf und in das zukünftig einzusetzende Diagnosesystem übertragen werden können. Dies unterstützt ganz wesentlich das parallele Engineering im Bereich der Verfügbarkeitssicherung komplexer Montageanlagen. Die präventive Fehlervermeidung sowie die schnelle Fehlerbehebung werden damit in gleichen Zügen in einem System vereint.

Die Realisierung und die Anwendung des entwickelten on-line-Diagnosesystems beziehen sich auf Montageanlagen in der Elektronikfertigung und der elektromechanischen Fertigung. Die Montageanlagen, die in diesen Fertigungsbereichen zum Einsatz kommen, sind vor allem Bestückungsautomaten, Sonderbestücker, Wickelmaschinen oder Anlagen zum Fügen elektromechanischer Geräte. Dies sind sehr flexible Montageanlagen zur Herstellung von elektronischen Schaltungen, die aufgrund ihres Einsatzfeldes typischerweise sehr unterschiedliches Material handhaben müssen. Aufgrund der dabei auftretenden Störungen (vgl. dazu Bild 2-9, S. 13 und Bild 5-52, S. 106) wurde ein Diagnosesystem entwickelt und eingesetzt, das mehrere Anlagen überwacht. Das Bedienpersonal wird durch on-line-Diagnosen bei der Fehlerbehebung unterstützt, und gleichzeitig werden die Einsatzdaten protokolliert.

Das Diagnosesystem besteht aus mehreren Modulen, die in Abhängigkeit ihrer Aufgaben entweder auf Rechnerplattformen der Fertigung, der Disposition oder

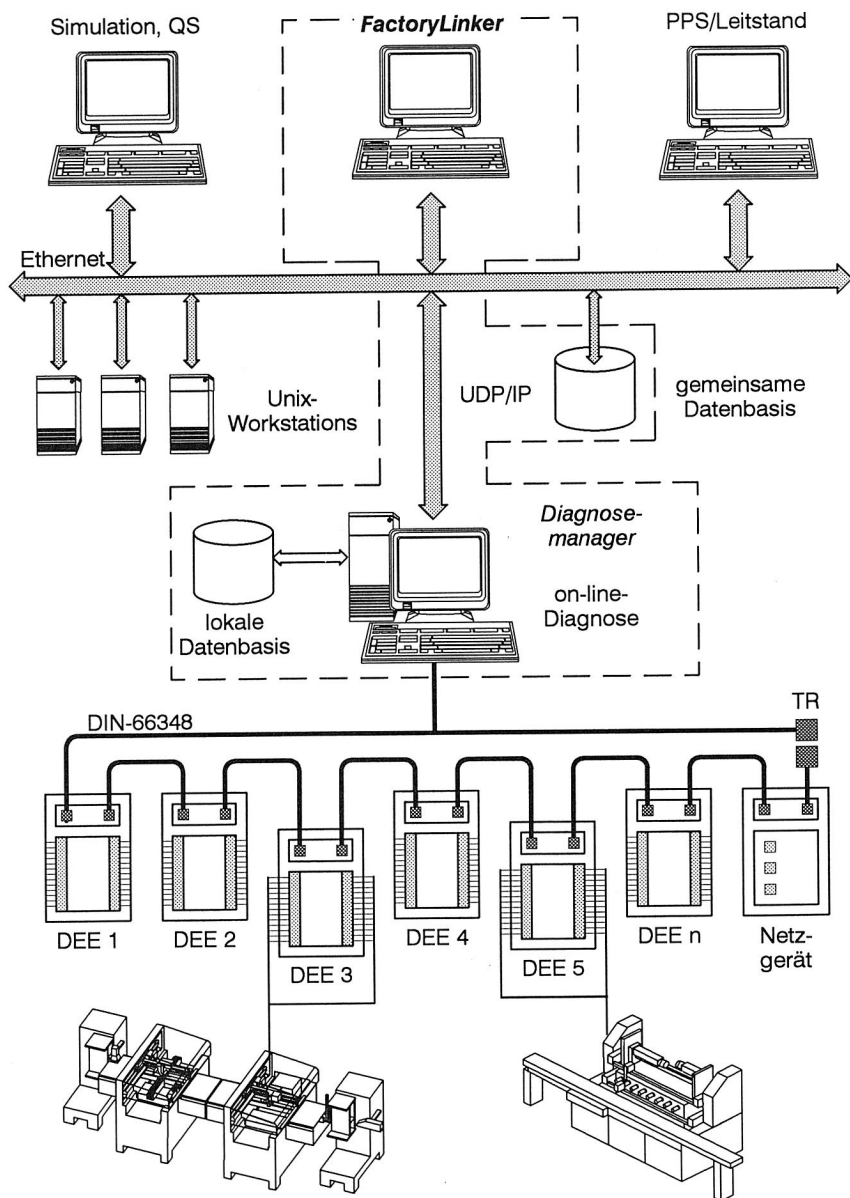


Bild 7-56: Die Architektur des Diagnosesystems mit seinen Aufgabengebieten auf den unterschiedlichen hierarchischen Ebenen

der Konstruktion und der Planung betrieben werden. Auf der Fertigungsebene werden dazu kompatible PCs und auf der Planungsebene Unix-Workstations eingesetzt. Die Vernetzung der beiden Rechnerwelten untereinander ermöglicht einen zügigen, problemlosen Datenaustausch und den Zugriff auf eine zentrale Datenbasis. In dieser werden einerseits Vorgabeinformationen von der Planungsebene für die Diagnose auf der Montageanlagenleitebene bearbeitet und gehalten sowie andererseits die Einsatzdaten aus der Überwachung und Diagnose heraus hinterlegt.

Die Einzelmodule beinhalten die Aufgabenbereiche der Wissensakquisition, der Analyse des Fehlerspektrums, der Konfiguration zur Datenerfassungs- und Diagnosefunktionalitäten sowie die Koppellemente zur QS, zu PPS, Leitstand und der Simulation. Die Bearbeitung der Informationen ist auf mehreren Ebenen mit der entsprechenden Zugangsberechtigung möglich. Die Strukturierung der verschiedenen Aufgabenbereiche auf die Arbeitsrechner der beteiligten Fabrikbereiche unterstützt eine hierarchisch gegliederte CIM-Architektur. Charakteristisch für diese Architektur ist die automatisierte Übertragung von Vorgabedaten von der Planungsebene an die Montageanlagenleitebene (Download) sowie der umgekehrte Weg der Rückmeldung von Einsatzdaten aus der Montageanlagenleitebene an die Planungsebene (Upload).

Im Bild 7-56 ist der gesamte hierarchische Aufbau des Systems *FactoryLinker* dargestellt. Die wesentlichen Anforderungen, einerseits einen kleinen, anlagennahen und andererseits einen größeren, ebenenübergreifenden Regelkreis aufzubauen, werden durch die Gliederung der Funktionalitäten auf die unterschiedlichen Ebenen erreicht. Der anlagennahe Regelkreis verfolgt das Ziel, Anlagenausfälle durch eine permanente Überwachung zu detektieren, durch das on-line-Diagnosemodul die Problemlösung durchzuführen und das Bedienpersonal durch Maßnahmenvorschläge bei der schnellen Wiederinbetriebnahme zu unterstützen. Die durchgeführten Aktionen besitzen einen sehr kurzfristigen Charakter. Diese Aufgaben übernimmt das pc-basierte System *Diagnosemanager*, das ein Modul des Systems *FactoryLinker* bildet.

Der ebenenübergreifende Regelkreis ist in Modulen realisiert, die auf Unix-Workstations ausgeführt werden. Diese stützen sich auf Einsatzdaten, die permanent aus der Anlagenüberwachung bereitgestellt werden. Charakteristisch ist, daß abgeleitete Aktionen in einem zeitlich größeren Rahmen erfolgen, sich aber auf einen weiteren Wirkungsbereich erstrecken.

Das System *FactoryLinker* mit seinen unterschiedlichen Aufgaben und Funktionalitäten bildet somit das Bindeglied zwischen der Planungs- und Montageebene. Die Transparenz, die für alle technischen und dispositiven Vorgänge in einem fertigen Betrieb unerlässlich ist, kann auf diesem Wege wesentlich gesteigert werden. (Bild 7-57)



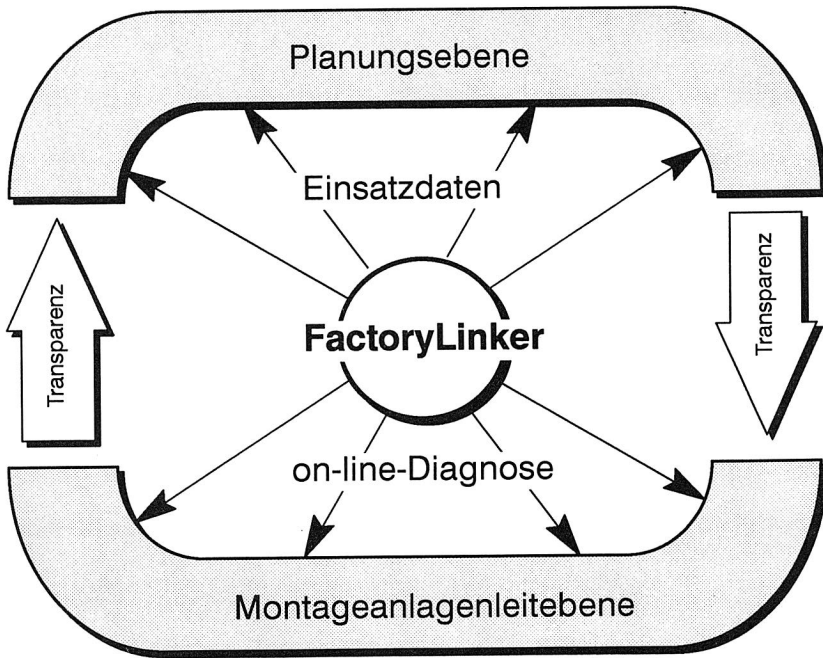


Bild 7-57: Das Diagnosesystem FactoryLinker schafft Transparenz und fügt unterschiedliche Hierarchieebenen zu einem Kettenglied zusammen

## 7.2 Kommunikationsmodule zur Datenerfassung und -übertragung auf der Montageanlagenebene

Dreh- und Angelpunkt für den Betrieb eines on-line-Diagnosesystems ist die Kommunikation mit den betreffenden Anlagen, die in der Diagnosefunktion betrachtet werden sollen. Für die schnelle und effiziente Übertragung der Zustands- und Steuerungsinformationen, die für die on-line-Diagnose an Montageanlagen benötigt werden, bietet sich der Einsatz eines Netzwerkes an. Um den Bedürfnissen an die Funktionalität eines umfassenden Diagnosesystems gerecht zu werden, müssen das Netzwerk sowie die eingesetzten Hard- und Softwarekomponenten zur Datenerfassung mehrere Voraussetzungen erfüllen, die entweder dringend notwendig oder aber für eine komfortable Anwendung äußerst ratsam sind.

Zur Erfüllung dringend notwendiger Voraussetzungen gehören beispielsweise Sicherungsverfahren, die die Übertragungs- und Ausfallsicherheit für die Funktionalität

lität der gesamten Kommunikation für das Diagnosesystem betreffen. Ratsame Charakteristiken umfassen den Komfort und die Flexibilität der Handhabung einzelner Netzwerkbestandteile und -komponenten sowie die Einfachheit der Programmierung. Während die erste Anforderungsgruppe die Stabilität des Systems wesentlich beeinflusst, trägt die Erfüllung der Anforderungen aus der zweiten Gruppe zu einer erheblichen Minderung des Aufwands während der Entwicklungs- und Anpassungsphase bei.

Ein hoher Grad an Eigenständigkeit der einzelnen Datenerfassungsmodule bewirkt, die Ausfallsicherheit des gesamten Systems zu erhöhen und die zentrale Rechneinheit von Aufgaben zu entlasten, die nicht in den direkten Aktionsbereich fallen. Dies unterstützt zum einen die Spezialisierung und zum anderen die Parallelisierung von Aktionen, die zu einer Lastverteilung innerhalb der datenverarbeitenden Komponenten führt.

### **7.2.1 Leistungsmerkmale der Kommunikationsmodule**

Für die Kommunikation zwischen der Zentraleinheit des Diagnosesystems und den einzelnen Datenerfassungseinheiten an der Anlage wird auf der Montageanlagenebene das DIN-66348-Netzwerk eingesetzt. Das Netzwerk besitzt die Bus-Topologie, über das die Informationen in bidirektionaler Richtung übertragen werden können. Die Übertragung umfaßt zum einen das Senden von Konfigurations- und Steuerungstelegrammen von der Zentraleinheit an die Datenerfassungseinheiten und zum anderen in umgekehrter Richtung das Empfangen von Informationen aus der Datenerfassung.

Die Busstruktur kann bis zu einer Längenausdehnung von etwa 500 Metern ausgebaut werden und es sind einschließlich der Zentraleinheit bis zu 32 Teilnehmer adressierbar. Der Busanschluß wird entweder durch die Datenerfassungseinheiten geschleift oder mit einer bis zu fünf Meter langen Stichleitung zum Hauptstrang hergestellt. Die Busstruktur ist in der 4-Draht-Technik aufgebaut und arbeitet nach dem 7-Bit-Code Start-Stop Übertragungsverfahren. Die Übertragungsgeschwindigkeit ermöglicht eine zügige Vermittlung der Informationen. Sie liegt typischerweise bei 19200 bit/s und kann bis zu einer Geschwindigkeit von 1Mbit/s heraufgesetzt werden. Während jeder Übertragung kann in einem Telegramm eine Informationsmenge von 128 Zeichen versendet werden, wobei die Übertragungssicherheit durch Blockprüfzeichen und Paritätsbit sichergestellt wird. Das Zugriffsverfahren des DIN-66348-Busses arbeitet nach dem Master-Slave-Prinzip. Der Master steuert den gesamten Kommunikationsablauf auf dem Netzwerk. Zur Vermeidung von Reflexionen auf dem Buskabel sind an den Endknotenpunkten, meistens der letzte Teilnehmer, Abschlußwiderstände angeschlossen.

## 7.2.2 Hardwarekomponenten und Systemintegration

Für den Aufbau der Kommunikation zwischen der Zentraleinheit, auf der der *Diagnosemanager* betrieben wird und den Datenerfassungseinheiten, die die Datenaufnahme vor Ort an einer Montageanlage durchführen, wird ein Standardnetzwerk eingesetzt. Dieses richtet sich nach der DIN-Norm 66348 [93, 98]. Durch die Einführung eines Standardnetzwerkes ist es generell möglich, ein breiteres Spektrum an Hardwarekomponenten einzusetzen, die sich ebenfalls nach dieser Norm richten.

Für die Datenerfassung an der Montageanlage sind mehrere Komponenten verfügbar. Diese können unterschiedliche Anforderungen erfüllen, die aus dem Fehlerspektrum und den Diagnosebedürfnissen her abgeleitet werden. Für die Erfassung binärer Signale sind Datenerfassungseinheiten in unterschiedlichen Bitbreiten für die einzelnen oder die Übertragung von frei konfigurierbaren parallelen n-Bit-Gruppen einsetzbar. Weiterhin sind sowohl Datenerfassungseinheiten mit einer seriellen Schnittstelle oder mit analogen Meßeingängen verfügbar.

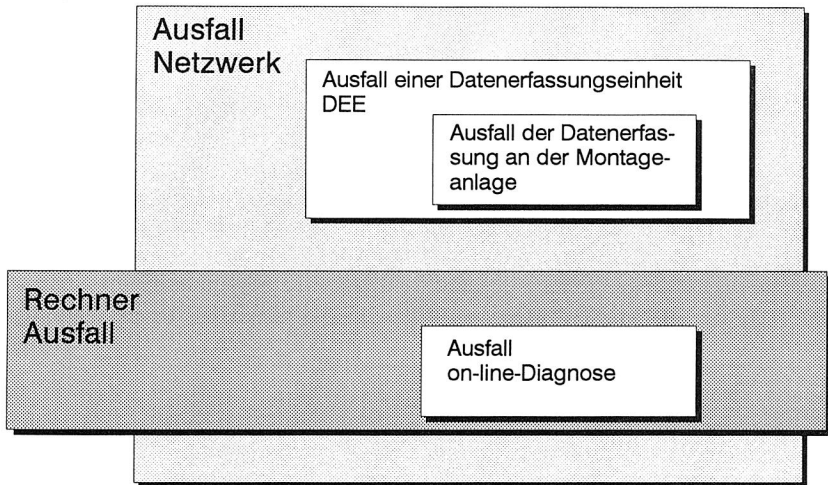
Die Zentraleinheit des *Diagnosemanagers* besteht aus einem IBM-kompatiblen PC mit dem Betriebssystem MS-DOS. Diese ist gleichzeitig der Master der Buskommunikation und koordiniert damit sämtliche Empfangs- und Sendeansforderungen der einzelnen Datenerfassungseinheiten. Voraussetzung für die Kommunikation mit den übrigen Teilnehmern ist das Einfügen einer Erweiterungskarte in den PC-AT-Bus.

## 7.2.3 Sicherungsverfahren für die Datenerfassung und -übertragung

Die Sicherung des gesamten Systems gegenüber Übertragungsfehlern und Ausfällen von einzelnen Komponenten des Kommunikationssystems fällt unter die Eingruppierung der dringend notwendigen Charakteristiken. Diese können entweder von den beteiligten Hardwarekomponenten oder auch beispielsweise von Stromausfällen verursacht werden. Sicherungsmaßnahmen gegenüber eventuellen Beeinträchtigungen, die auch wiederum Auswirkungen auf den Betrieb der Montageanlage haben können, sind deshalb soweit wie möglich einzuführen. Dies bedeutet nicht implizit, daß die Maßnahmen mit hohen Kosten verbunden sind. Zumeist handelt es sich um einfache Mittel und Wirkungsmechanismen, deren Aufwand zur Realisierung im Vergleich zum möglichen erzielbaren Nutzen äußerst gering sind. Berücksichtigt werden müssen dabei auch stets Folgekosten, die beispielsweise ein Ausfall verursachen würde.

Die vollkommene Unabhängigkeit zwischen den Einheiten zur Datenerfassung und der Montageanlage trägt zum erheblichen Teil zum Schutz von Arbeitsabläufen auf der Montageanlage bei. So treten beispielsweise bei Störungen der Erfas-

sungseinheiten keine Rückwirkungen auf die Anlage ein, die zu einer Beeinträchtigung der normalen Prozesse führen könnten. Damit ist gemäß der Definition in Kapitel 3.1.4 (S. 51) eine schwache Kopplung realisiert.



*Bild 7-58: Auswirkungen eines Ausfalls unterschiedlicher Komponenten auf die on-line-Diagnose an Montageanlagen*

Ein weiterer Schritt ist die stufenweise Sicherung des Gesamtsystems gegen Funktionsausfälle, die beispielsweise durch Stromausfälle verursacht werden können. Die Datenerfassungseinheiten sind durch die zentrale Energieversorgung über spezielle Leitungen des Netzkabels unabhängig von dezentralen Einspeisungen, wie beispielsweise von Netzgeräten der Montageanlagensteuerung. Auf diese Weise besteht eine weitere Entkopplung der Datenerfassungseinheiten, so daß diese ungeachtet jeglicher Ereignisse ihre Aufgabe weiterhin wahrnehmen können.

Weitere Berücksichtigung im Sicherungskonzept muß auch der Ausfall der Zentraleinheit finden, auf der das Diagnosesystem betrieben wird. Dieses Ereignis tritt auch ein, wenn das Diagnosesystem momentan nicht eingesetzt wird, jedoch keine Einsatzdaten der Montageanlage verlorengehen sollen. In diesem Falle können zwar keine on-line-Diagnosen mehr durchgeführt werden, aber die Informationen über die Betriebsbedingungen an der Montageanlage werden während des Ausfalls der Zentraleinheit weiterhin aufgezeichnet. Wird die Zentraleinheit wieder in Betrieb gesetzt, so sind die Informationen aus den Datenerfassungseinheiten sofort verfügbar.

Der schwerwiegendste Fehler tritt beim Ausfall der zentralen Energieversorgung ein, der die Datenerfassungseinheiten versorgt. In diesem Falle kann eine redundante Energieversorgung auf dem anderen Ende des Netzkabels vorgesehen werden. Andernfalls werden die Informationen, die bis zum Zeitpunkt des Ausfalls erfaßt wurden, in einem batteriegepufferten, statischen RAM gehalten. Weitere Aufzeichnungen oder die Kommunikation mit der Zentraleinheit sind während des Ausfalls nicht möglich. Der Ausfall der Datenerfassungseinheiten wird dem Bedienerpersonal durch einen Hinweis kenntlich gemacht.

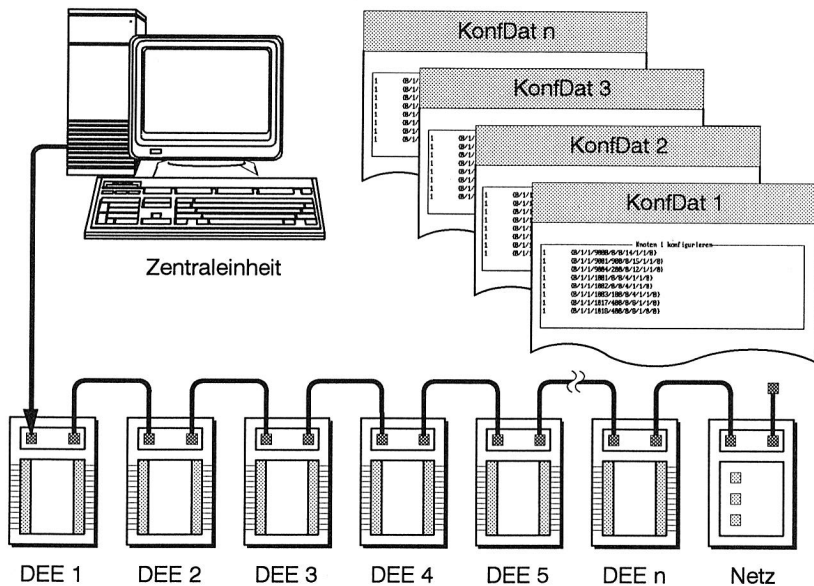
Das Bild 7-58 zeigt die Abhängigkeiten und die Auswirkungen eventueller Ausfälle von Komponenten auf die on-line-Diagnose. Mit dieser ausgeprägten, gestuften Sicherungsstrategie können ein Verlust an Informationen und eine Einschränkung des Diagnosebetriebes auf ein Mindestmaß reduziert werden.

### **7.2.4 Die zentrale Konfigurierung der Datenerfassungseinheiten**

Wie schon im Kapitel 7.2 (S. 121) behandelt, können Funktionalität von Hard- oder Softwaremodulen entweder dringend notwendig oder aber für die Entwicklung einer leistungsfähigeren Anwendung äußerst ratsam sein. Zu der zweiten Gruppe des Anforderungsprofils zählt die automatisierte Übertragung von Konfigurationsdateien für die Datenerfassungseinheiten. In den Konfigurationsdateien wird festgelegt, welche Aufgaben, welches Verfahren zur Datenerfassung und welches Verhalten die Dateneingänge der einzelnen Datenerfassungsmodule besitzen sollen. Diese Konfigurationsdateien werden nach ihrer Generierung von der Zentraleinheit durch einen Download, je nach Anforderung, entweder an einzelne oder an alle Datenerfassungseinheiten geschickt.

Der Download von Konfigurationsdaten, der sich besonders in rechnergestützten CIM-Architekturen bewährt hat, weist vielfältige Vorteile auf [53]. Die Generierung der Konfigurationsdaten wird an der zentralen Rechneinheit vorgenommen, die die Daten zusätzlich in einer gemeinsamen Datenbasis verwaltet. Wird beispielsweise entweder die Neueinrichtung oder die Änderung eines oder mehrerer Erfassungsmodule erforderlich, so muß die Änderung nicht vor Ort an der einzelnen Datenerfassungseinheit vorgenommen werden. Da diese oftmals weit auseinanderliegen und in der Montageanlage teilweise schwer zugänglich sein können, wird auf diese Art, vor allem in der Testphase, ein erheblicher Aufwand und demzufolge auch Zeit gespart.

Die Änderungen können nur von berechtigten Personen nach Passieren einer Zugangsberechtigung eingegeben werden. Damit wird verhindert, daß sich Fehler einschleichen und übertragen können. Die geschützte, zentrale Generierung und Verwaltung der Daten gewährleistet, daß die Datenerfassungseinheiten stets richtig eingerichtet sind und nicht verändert werden können. Die Konfigurationen werden in den Datenerfassungseinheiten permanent in einem batteriegepufferten,



*Bild 7-59: Automatisierte Übergabe von Konfigurationen an die Datenerfassungseinheiten durch Download*

statischen RAM gespeichert und gehen selbst nach Energieausfällen der zentralen Netzwerkversorgung nicht verloren.

### 7.3 Generierung des Diagnosesystemkerns für den Diagnosemanager

Die Quantifizierung und Qualifizierung des gesamten Fehlerspektrums führt im letzten Schritt zur Definition und Generierung des Diagnosesystemkerns. Der Diagnosesystemkern hat die Aufgabe, die Sichtweise auf den umfangreichen Datenbestand einzuschränken und damit den Suchraum für on-line-Diagnosen zu minimieren. Wie der Begriff schon andeutet, werden im Kern nur die extrahierten Fehlerfälle abgebildet und eingehend behandelt. Die übrigen Fehlerbäume werden jedoch nicht aus der Datenstruktur entfernt.

Das Bild 7-60 zeigt die Struktur, mit der die Fehlerbäume aus der Wissensbasis in den Diagnosekern abgebildet werden. Aus dem restriktiven Beschreibungsprozeß

der Fehlerfälle, der während der Wissensakquisition durchlaufen wird, ergeben sich zunächst einstufige, hierarchisch gegliederte Fehlergraphen. Diese bestehen aus der unidirektionalen, netzförmigen Verflechtung von Informationselementen. Die Verflechtung mündet in den Aufbau von Einzelgraphen, die die Relationen zwischen den einzelnen Informationselementen beschreiben. Wird der Beschreibungsprozeß für einen Fehlerfall mehrmals durchlaufen, wobei die Informationselemente entsprechend des Fehlerfalls variieren, so ergeben sich mehrstufige Fehlergraphen, die Fehlerbäume bilden. Die Einzelfehlergraphen können dann in einer beliebigen Weise aufeinander aufbauen. Die Fehlergraphen sind die kleinste Einheit, die im Fehlerbaum aufgelöst werden können, da diese alle als eigenständige Einheit in der Wissensakquisition bewertet werden. Auf die gleiche Weise werden die Fehlergraphen auch in dem FQQS behandelt, wobei sich nach der Bearbei-

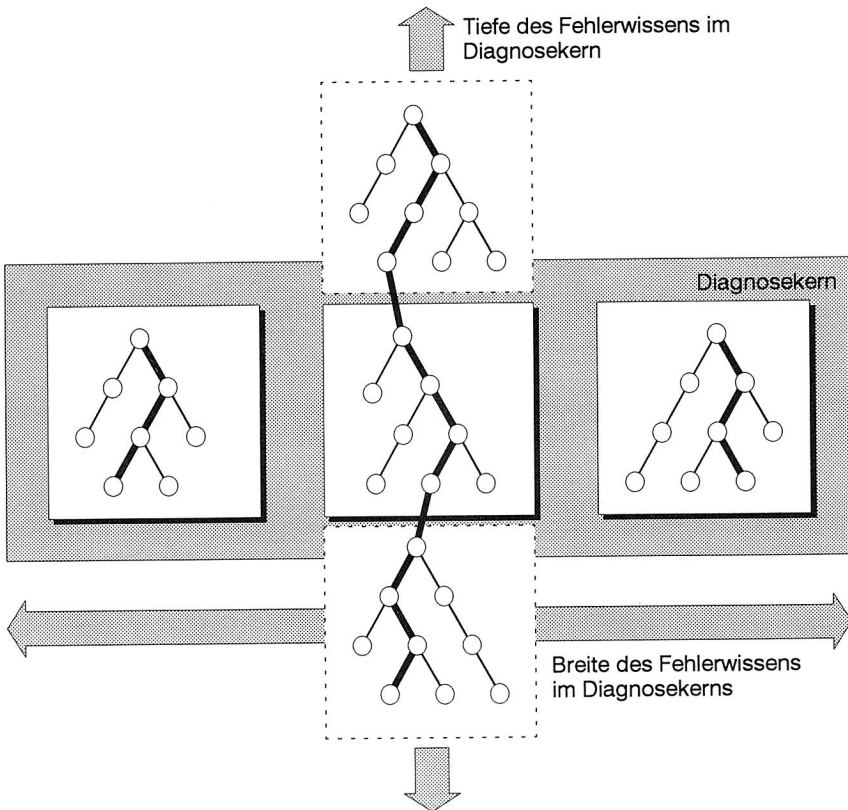
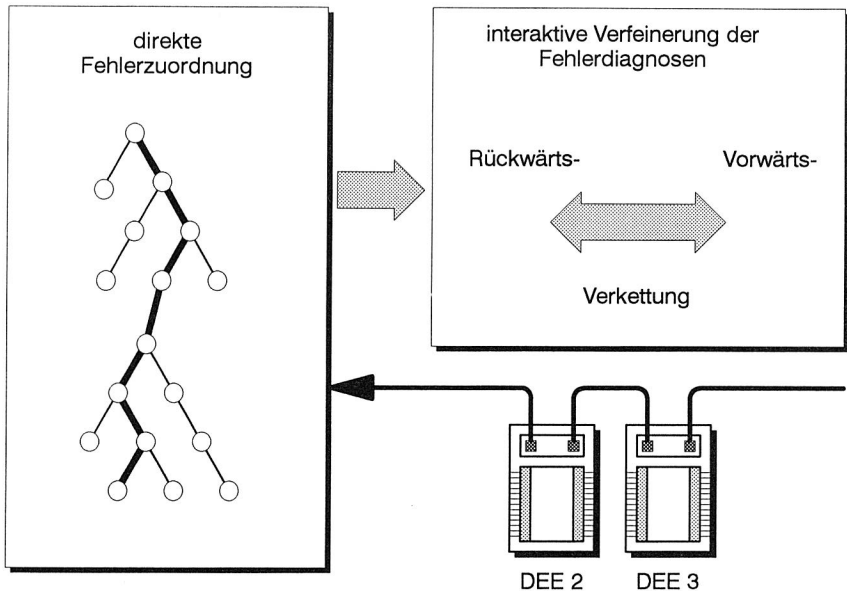


Bild 7-60: Aufbau der Fehlerbäume aus Fehlergraphen, die die Tiefe der Wissensbasis und die Breite des Diagnosekerns bestimmen

tung der extrahierte Kern herauskristallisiert. Damit wird deutlich, daß von den Fehlerbäumen allein Teilmengen der Fehlergraphen im Diagnosekern abgebildet werden. Die Bindung zwischen den Fehlergraphen wird jedoch stets aufrechterhalten.



*Bild 7-61: Die zweigeteilte Lösungsfindung für Fehlerfälle durch die direkte Fehlerzuordnung und die interaktive Problembearbeitung*

Mit dieser Aufteilung der Fehlerbäume kann zunächst aufgrund der on-line-Daten eine direkte Fehlerbestimmung und -zuordnung durchgeführt werden (Bild 7-61). Diese ist immer dann möglich, wenn die verfügbaren Daten für die Fehlerbestimmung eindeutig sind. Wesentliche Voraussetzung dafür ist die Breite und die Konformität der konfigurierten Datenerfassungseinheiten mit dem zu behandelnden Problemfeld. Auf diesen Aufgabenkomplex wird deshalb ein hohes Augenmerk gerichtet, um schon von vornherein ein Optimum zu erreichen.

Zunächst werden die durch die on-line-Diagnose auffindbaren Fehlergraphen behandelt. Kann auf diese Weise keine oder keine befriedigende Lösung für den aufgetretenen Fehler gefunden werden, so sind die bereits erfaßten Daten der interaktiven Fehlerbehandlung zugänglich, die sich an eine on-line-Diagnose anschließen kann. Die interaktive Diagnose ist in der Lage, weitere Symptome in Bearbeitungsprozesse miteinzubeziehen, die von der on-line-Datenerfassung nicht erfaßt werden.



Die Strukturen für den Diagnosesystemkern werden, wie schon angesprochen, aus dem Wissensakquisitionssystem WAKS und aus dem Fehler-Quantifizierungs- und Qualifizierungs-System FQQS abgeleitet (Bild 7-62). Die gesamten Bearbeitungsschritte der Fehlerbehandlung werden entscheidend durch die automatisierte Datenverarbeitung unterstützt. Diese ist wesentlicher Bestandteil der Funktionalität des Diagnosesystems.

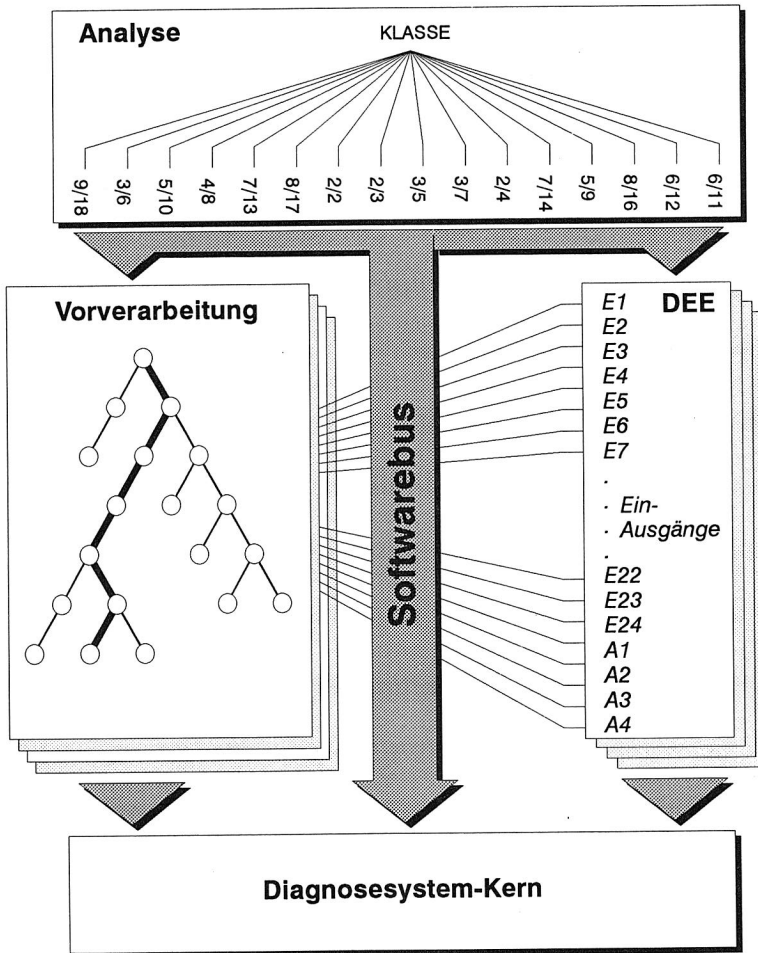


Bild 7-62: Übertragung der abgeleiteten Vorverarbeitungsfunktionen, der Konfiguration für die Datenerfassungseinheiten sowie der Diagnosefunktionen aus der Analyse

Wesentlicher Anspruch der automatisierten Datenverarbeitung ist die redundanzfreie Verarbeitung sowie die direkte und fehlerfreie Vermittlung von Informationen, so daß nicht mehrere ähnliche oder sogar gleiche Arbeitsschritte durchgeführt werden müssen, wie beispielsweise Dateneingaben. Mehrfache Dateneingaben oder die manuelle Übertragung von Informationen führt unweigerlich zu Fehlern. Diese werden in der Regel erst zu einem viel späteren Zeitpunkt entdeckt und können dann schon Multiplikatoren gebildet haben, die sich in weitere Datenbereiche oder -strukturen übertragen haben. Die Revidierung solcher Fehler erfordert in diesem Fall einen hohen Aufwand. Um diesen Umstand im vorhinein zu berücksichtigen und ihm Rechnung zu tragen, wurde dazu ein Softwarebus entwickelt, der die Übernahme der generierten und zum Teil vorverarbeiteten Informationen in die unterschiedlichen Aktionsmodule des Diagnosesystems gestattet. Die unterschiedlichen Softwaremodule stehen in direkter Verbindung und können somit die Informationen ohne Umwege in die beteiligten Teilprogramme übernehmen.

Der Softwarebus wird bis zu den äußeren Schnittstellen des Diagnosesystems weitergeführt, da weitere Daten auch an weitere Rechnersysteme und deren Applikationen weitergegeben oder aus diesen übernommen werden. Die Schnittstellen des Diagnosesystems stehen zu der unterlagerten Ebene mit dem lokalen Datenerfassungsnetzwerk und dessen Datenerfassungseinheiten in Verbindung sowie zu der oberen Ebene mit den Rechnern des Planungsbereiches.

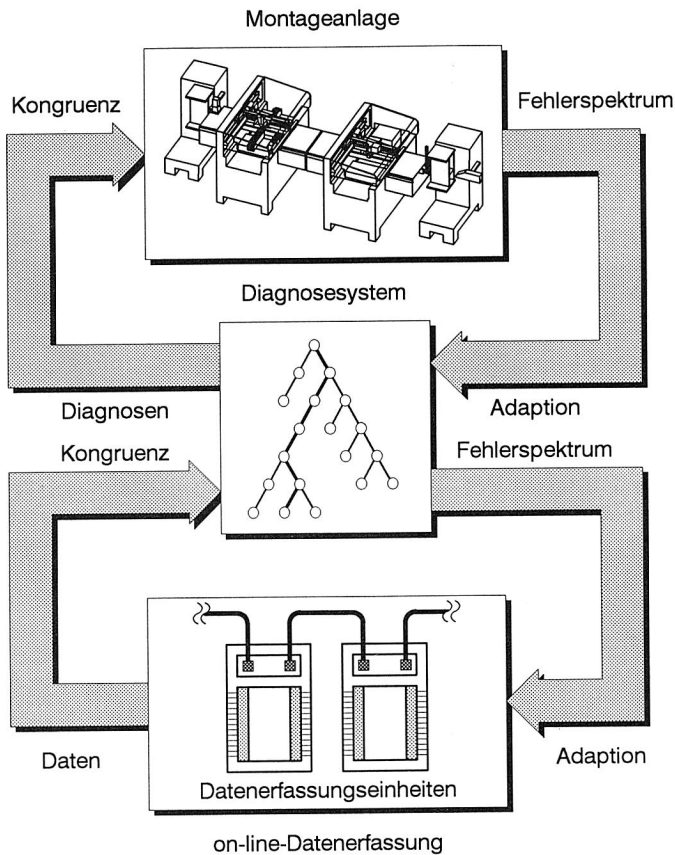
Für die Konfiguration der Datenerfassungseinheiten werden die Informationen über das Datenerfassungsnetzwerk automatisch an die jeweiligen Geräte übertragen. Der Hintergrund ist stets, daß von höheren Hierarchieebenen nur konsistente und fehlerfreie Vorgabedaten an untergeordnete Hierarchieebenen weitergegeben werden, damit Arbeitsschritte, mit denen erneute Überprüfungen von Daten oder Sachverhalten durchgeführt werden müssen, entfallen können [56].

## **7.4 Regelkreismodell zur adaptiven Diagnose**

Ein Diagnosesystem, das sich auf eine on-line-Datenerfassung stützen und schon während der Inbetriebnahmephase einer Montageanlage zum vollen Einsatz kommen soll, muß bezüglich bisheriger Systeme zusätzliche Methoden beinhalten, um einen ständig aktuellen Systemzustand sicherzustellen. Dazu wurde die Methode der Adaptivität des Diagnosesystems entwickelt, die die angemessene Angleichung einer ursprünglich hypothetischen Bewertung an die realen Verhältnisse einer Montageanlage gewährleistet.

Die Betrachtung der gänzlich anders gelagerten Arbeitsweise beispielsweise zwischen on-line- und off-line-Systemen zur Diagnose zeigt deutlich unterschiedliche Problemschwerpunkte. Während off-line-Diagnosesysteme aufgrund der völlig entkoppelten, manuellen Datenaufnahme durch den Anwender flexibel auf sich än-

dernde Randbedingungen reagieren können, sind on-line-Diagnosesysteme durch die Datenerfassung sehr viel stärker an die Montageanlage gekoppelt und in dieser Hinsicht a priori unflexibler. Ändern sich Randbedingungen der Montageanlage, so sind entweder teilweise umfangreiche Änderungen in der Struktur des Diagnosesystems durchzuführen, oder das System wird den gestellten Anforderungen nicht mehr gerecht. Die Folgen sind eine sinkende Akzeptanz des Anwenders und eine rapide Veralterung des Systems.



*Bild 7-63: Adaptation des Diagnosesystems im Bereich des Diagnosesystemkerns und der Datenerfassung ausgehend von der hypothetischen Fehlerbewertung hin zu den realen Einsatzbedingungen*

Die stets nur begrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen zur Datenerfassung und -übertragung, die ein vernünftiges Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen

darstellen müssen, sollen optimal eingesetzt und genutzt werden. Besteht eine nur unzureichende Konformität zwischen den Datenanforderungen des Systems und der Datenpräsenz aus der Datenerfassung, so können die Diagnoseaufgaben nicht mehr auf einem hohen, rechnergestützten Stand erfüllt werden. Für die Erhaltung der Funktionsfähigkeit wäre damit ein erhöhter Beitrag des Anwenders mit der manuellen Eingabe ergänzender Daten notwendig. Um dieser Tendenz schon möglichst frühzeitig entgegenzuwirken, ist die stetige Adaption des Systemverhaltens zwingend notwendig.

Die Aufgliederung der Fehler in die Relationen der einzelnen Informationselemente sind zu Anfang des Systemeinsatzes mit der Auftretenswahrscheinlichkeit bewertet, mit der die realen Zustände an der Montageanlage erwartet werden. Zunächst bestimmt somit eine Expertenbewertung mit Hilfe des FQQSs (vgl. Kap. 4, S. 75) den Umfang und die Reihenfolge zur Abarbeitung der Regeln. Innerhalb des Diagnosekerns werden Aufzeichnungen aufgrund des Dialogs mit dem Anwender über die erfolgreichen Diagnosen und Maßnahmen geführt. Aus diesen Aufzeichnungen heraus werden neue Bewertungen angestoßen, die im stetigen Betrieb nach und nach die tatsächlich diagnostizierten und durch den Anwender bestätigten Fehlerfälle stärker gewichten. Das bedeutet, daß die anfängliche Expertenbewertung entweder bestätigt oder revidiert wird.

Aus den jeweils erneuten Bewertungen leitet sich die sukzessive Adaption an das tatsächliche Fehlerspektrum ab. Diese Bewertung kann in zeitlichen Abständen von dem Montageexperten verifiziert werden. Die Überwachung der Frequentierung von Fehlerfällen im System ist für den effizienten Einsatz eines on-line-Diagnosesystems äußerst wichtig. Treten entgegen der Erwartung einige zuvor hoch bewertete Fehlerfälle nicht oder nur kaum ein, so werden diese durch höher bewertete Fehlerfälle ersetzt, die zuvor nicht im Diagnosekern repräsentiert wurden. Mit der teilweisen Neugliederung der Diagnosen von Fehlerfällen ist ebenfalls eine partielle Adaption der korrespondierenden Datenkanäle aus der on-line-Datenerfassung erforderlich.

### **7.5 Die Informationsverarbeitung auf der Montageanlagenebene mit dem Diagnosemanager**

Die technische Diagnose wird in der Regel in einem eng begrenzten Bereich und informationstechnisch von weiteren Rechnersystemen entkoppelt durchgeführt. Die Soft- und Hardwarekonzepte sind überwiegend als stand-alone-Systeme für die temporäre Problemlösung ausgerichtet. Zudem werden Ergebnisse aus den Diagnosen keinen Postprozessoren zugeführt, die die Informationen für eine längerfristig ausgerichtete Verbesserung des Betriebsverhaltens von Anlagen aufbereiten. Aber gerade die Überwindung dieser Einschränkungen gewährleistet eine bedeutend effizientere Nutzung der verfügbaren Informationen. Dieses Ziel wird zum

einen durch die weiterführende Verarbeitung und Bereitstellung der Diagnosedaten sowie zum anderen durch die absolute informationstechnische Integration des Diagnosesystems in die bestehende, heterogene Rechnerarchitektur erreicht.

Aus den gestellten Anforderungen folgt, daß an den anlagennahen Systemen und Diagnoseapplikationen die Basis für die entweder gekapselte oder offene Datenverarbeitung geschaffen wird. Das Konzept zur Realisierung des Systems *FactoryLinker* verfolgt, wie der Name schon assoziiert, die kompromißlose Rechnerintegration durch eine offene Architektur und die sehr viel weiterführende Verarbeitung der Daten.

Die Zentraleinheit auf der Montageanlagenebene verarbeitet mit dem System *Diagnosemanager* mehrere parallele Aufgaben. Die Aufgaben umfassen die Überwachung der Montageanlagen, die Durchführung von Diagnosen zur Unterstützung des Bedienpersonals bei Fehlerfällen sowie die Protokollierung der Einsatz- und Diagnosedaten. Die Überwachung der Montageanlagen wird von den dezentralen DEEs unterstützt, die jede für sich eine eigene Verarbeitungslogik besitzt und auf diese Weise zur Entlastung der Zentraleinheit beiträgt.

### 7.5.1 Überwachung und Abbildung der Anlagenzustände

Die permanente Überwachung der Montageanlagen ist die Voraussetzung dafür, Fehlerzustände schnell zu detektieren. Die Effizienz der Überwachung hängt entscheidend von der sicheren und möglichst vollständigen Extraktion der aktuellen Zustandsdaten ab. Neben der Fehlererkennung durch Vergleich zwischen Soll- und Ist-Verhalten einer Anlage dient sie im ersten Schritt der Diagnose dafür, den Suchraum durch die Eingrenzung der lokalen Abweichungen einzuschränken. Diese Funktionen werden von den Datenerfassungseinheiten ausgeführt, die online mit den betreffenden Anlagen gekoppelt sind. Der Anschluß der DEEs an die Anlagen ist dabei als eine unabhängige Kopplung ausgeführt.

Die DEEs werden stetig gepollt und die Ergebnisse auf Anforderung zur Zentraleinheit übertragen. Zur Minimierung des Datenübertragungsvolumens werden lediglich Zustandsänderungen der Datenerfassungskanäle registriert. Im folgenden werden die wichtigsten Prozeduren für die Datenübertragung und DEE-Steuerung gezeigt:

- ☐ PROCEDURE Reset\_All\_Sig (Nr: Byte)  
löscht den gesamten Speicherinhalt des adressierten DEE
- ☐ PROCEDURE Get\_All\_Sig (Nr: Byte)  
gibt den gesamten Speicherinhalt des adressierten DEE zurück
- ☐ PROCEDURE Get-Last\_Sig (Nr: Byte)  
gibt die inkrementalen Speicherinhalte des adressierten DEE zurück

- PROCEDURE Get\_Bit\_Grp (Nr: Byte)  
gibt die codierten Speicherinhalte des adressierten DEE zurück, die durch das Triggersignal initiiert wurden

Die übrigen Kanäle werden als temporär statisch hinterlegt. Die Einzelergebnisse werden anschließend zu einem Zustandsdiagramm zusammengefaßt und für die Generierung des Anlagenabbildes einmal für die Montageebene und zusätzlich für die Planungsebene aufbereitet. Für die Generierung der Diagnose stellt die Überwachung die Initialisierungsdaten bereit, die als Einstieg in die Fehlersuche dienen.

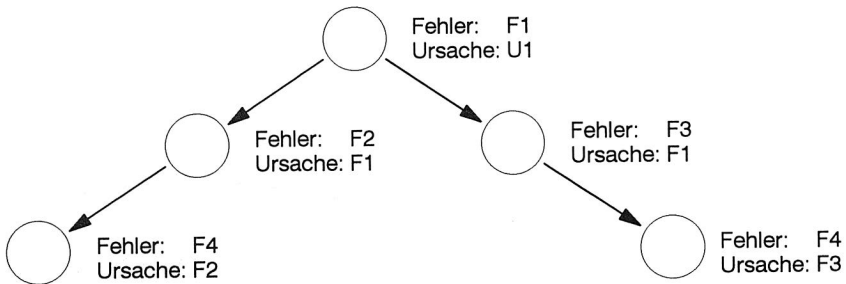
### 7.5.2 On-line-Diagnose an Montageanlagen

Der Anstoß zur Durchführung einer Diagnose wird immer dann veranlaßt, wenn eine nicht zulässige Abweichung von einem vorgegebenen Zustand eintritt. Diese Abweichung initiiert bei der on-line-Diagnose zum eine das Auslöseereignis und dient zum anderen als Eintrittsdatum für den Diagnosestart. Die Konzeption eines Diagnosesystems mit der kombinierten Möglichkeit der automatisch und interaktiv erfaßbaren Symptomdaten hat bedeutende Vorteile gegenüber Lösungen, die nur eine dieser Methoden beinhalten. Aus diesem Grund werden von dem System *Diagnosemanager* beide Verfahren unterstützt. Die automatisch erfaßten Daten dienen als Initialisierungsdaten für eine Diagnose und schränken schon zu einem frühen Zeitpunkt die Diagnosepfade und damit den Suchraum für die Problemlösung ein. Die für die Diagnoseherleitung und die weitere Überprüfung benötigten Informationen können neben automatisch generierten Daten auch interaktiv erfaßt und verarbeitet werden. Diese kombinierte Möglichkeit eröffnet eine sehr flexible Handhabung der Lösungsfindung, was sich beispielsweise auf die Anzahl und die Zeit der Revisionszyklen auswirkt.

Der Aufbau des Diagnosekerns hat gezeigt, daß dieser aus einzelnen, einstufig gegliederten Fehlergraphen besteht, die durch die unidirektionale, netzartige Verflechtung der Informationselemente entstehen. Mit der Abbildung der hierarchischen Beziehungen in einem sematischen Netz sind Vererbungsmechanismen von oberen Stufen auf untere verbunden, die bewirken, daß gleiche Eigenschaften nicht mehrfach geführt werden müssen. Die Anwendung sematischer Netze ist vor allem in Gebieten vorteilhaft, in denen schon eine stabile Klassifikation der begrifflichen Zuordnung existiert. Mit Hilfe der Verkettung können die Einzelgraphen zu größeren Fehlerbäumen kombiniert werden und sind mit dieser Abbildungsmethode in der Lage, das Problem zu berücksichtigen, daß ein Fehler unter Umständen weitere Fehlerfolgen verursachen kann. Das Auftreten von Zyklen sollte dabei jedoch vermieden werden.

Ausgedrückt wird damit der Fall, daß die Ursache eines Folgefehlers dem Fehler der auslösenden Fehlersituation entspricht. Mit dieser Vorgehensweise sind somit

Fehlergraphen abbildbar, anhand derer im Fehlerfall die Möglichkeiten überprüft werden können, ob ein aktuell lokalisierter Fehler nicht nur die Auswirkung eines zuvor eingetretenen Fehlers darstellt. Das Bild 7-64 zeigt einen Fehlergraphen, in dem diese Abhängigkeiten verdeutlicht werden. Hier wird gezeigt, daß ein Fehler, beispielsweise F1, nicht nur die Fehler F2 oder F3 zur Folge haben kann, sondern daß ein Fehler auch durch unterschiedlich vorausgehende Fehler, beispielsweise F4 ist Folgefehler von F2 oder F3, auftreten kann.



**Bild 7-64:** Verkettung von Einzelfehlergraphen zu komplexen Fehlerbäumen zur Fehlerverfolgung bei der Diagnose an Montageanlagen

Die allen Ursache-Wirkungsbeziehungen hinterlegten Konfidenzfaktoren bewirken, daß die Diagnosen im Hinblick auf die Sicherheit ihres Zutreffens beurteilt werden und somit in sinkender Reihenfolge zur Verfügung stehen. Die Konfidenzfaktoren werden beim ersten Systemstart durch hypothetische Bewertungen vobesetzt, die während der Wissensakquisition vorgenommen wurden. Diese anfänglichen Bewertungen werden anschließend während der Einsatzzeiten des Systems sukzessive durch die Etablierung der Diagnose und deren Bestätigung, jeweils relativ zu den übrigen Faktoren, adaptiert.

Zur zügigen und effizienten Problemlösung durch ein Diagnosesystem müssen geeignete Diagnosestrategien zur Anwendung kommen. Methoden, die für technische Applikationen eingesetzt werden, sind das Forward-Reasoning, Backward-Reasoning, Establish-Refine und das Hypothesize-and-Test.

Sowohl das Forward-Reasoning als auch das Backward-Reasoning sind grundlegende Strategien, die eine Suche in der Breite bzw. in der Tiefe unterstützen. Forward-Reasoning wird dann eingesetzt, wenn das Ziel noch nicht bekannt ist und anhand der verfügbaren Daten hergeleitet werden soll. Im Gegensatz dazu wird beim Backward-Reasoning vom Ziel ausgegangen und alle Daten herangezogen, um dieses Ziel zu erreichen. Für streng gegliederte Hierarchien eignet sich besonders das Establish-Refine, weil hierbei ein nur relativ kleiner Extrakt der Diagnosen betrachtet werden muß. Werden mehrere Hierarchien kombiniert, so daß

daraus Heterarchien oder Netzwerke entstehen, so wird die Strategie Hypothesize-and-Test [109] bevorzugt angewendet.

Aufgrund der streng hierarchischen Gliederung der Fehlergraphen in der Datenbasis sind die Diagnosemethoden besonders für die Lösung der vorliegenden, technischen Problemstellungen geeignet. Das vorausgeschaltete Verfahren der semantischen Vereinheitlichung trägt in diesem Zusammenhang wesentlich dazu bei, die Bandbreite gleicher oder ähnlicher Begriffe einzuschränken und damit die Problemlösung effizienter zu gestalten. Die Dialoge, die in eigens vorgesehenen Dialogfenstern durchgeführt werden, lassen sich somit sehr viel prägnanter gestalten. Der Diagnosedialog gliedert sich in zwei Phasen der Hypothesengenerierung und der Ursachenermittlung.

**Datum:** Mo, 07.03.94 **Uhrzeit:** 13:13:08 **FAPS**

**Fehlersuche**

<b>Knoten</b> :	3	<b>K</b> [ ]
<b>Maschine</b> :	Bestücker HS 180	<b>S</b> [ ]
<b>LosNr</b> :	838394LP004	<b>R</b> [ ] <b>U</b> [ ]
<b>Komponente</b>	Z-Achse	<b>L</b> [ ]
<b>Funktion</b>	BE-Handling	
<b>Fehler</b>	Motorstrom zu hoch	
<b>Auswirkung</b>	Maschinenstillstand	
<b>Ursache</b>	Kollision	
<b>Maßnahme</b>	We [ = ]	

**Maßnahmen:**

- Bauelement zu hoch
- LP-Dicke falsch programmiert
- LP Prozeßfläche auf f. Höhenniveau
- BE-Höhe falsch prog.

**Kn 6**

Esc Zurück Alt-X Programmende F1 Hilfe

*Bild 7-65: Das teilweise schon durch die on-line-Datenerfassung vorbesetzte Dialogfenster zur Fehlersuche an einer Montageanlage*

Der Mechanismus zur Verdachtsgenerierung kann während der Laufzeit noch durch interaktive Benutzereingriffe beeinflusst werden. Diese Möglichkeit dient dazu, mit intuitiven Eingaben den Diagnosegenerierungsprozeß zu verkürzen. Dazu steht die Auswahl der unterschiedlichen Beurteilungskenngrößen aus der Wissensakquisition zur Verfügung. Zunächst werden die automatisch erfaßten



Fehlerdaten in den Fenstern hinterlegt, die vom Anwender eingesehen werden können (Bild 7-65). Die Anzahl der bereits vorbesetzten Fenster richtet sich danach, in wieweit die Überwachung schon detaillierte Daten erfassen konnte. Wählt der Anwender eine der Dialogzeilen an, so werden die korrespondierenden Daten aus der Datenbasis abgerufen und zur Verfügung gestellt, die den bisherigen interaktiven oder automatisch generierten Einträgen entsprechen. Darauf folgend werden im interaktiven Dialog weitere Daten erfaßt und dem System mitgeteilt. Diese werden anhand der hierarchisch gegliederten Fehlergraphen und deren Konfidenzfaktoren verarbeitet, wobei unterschiedliche Suchstrategien angewendet werden können.

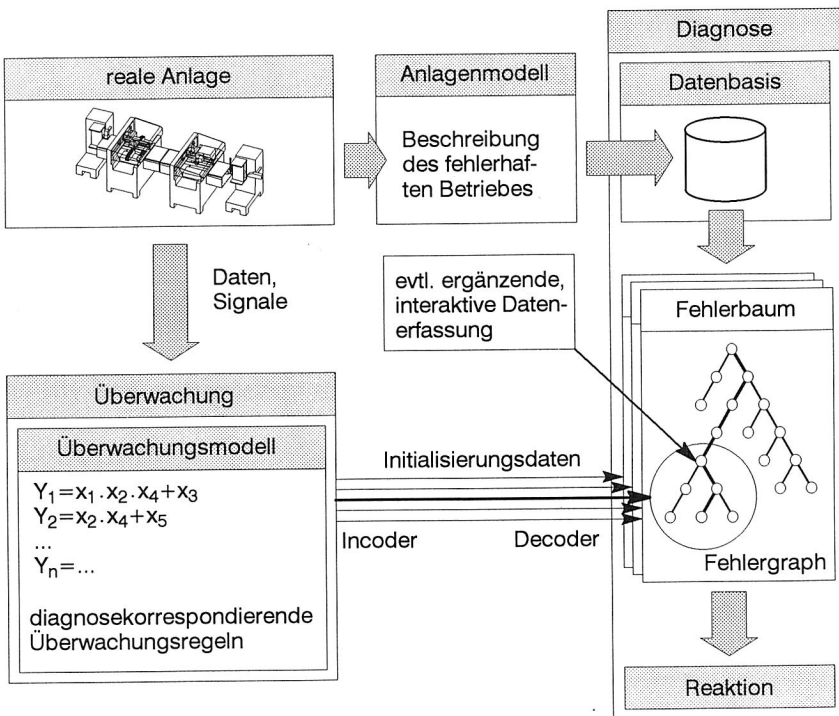


Bild 7-66: Die Arbeitsweise des Diagnosesystems auf der Basis der korrespondierenden Einheiten zur Regelverarbeitung

Werden zunächst Fenster auf höheren Ebenen bearbeitet, so wird damit eine systematische Vorwärtssuche verfolgt. Ausgehend von den automatisch generierten Einträgen wird so sukzessive durch interaktive Verfeinerung die Fehlerursache ermittelt. Die durch das System automatisch durchgeführten Teilsuchvorgänge erfolgen im Zuge der Ermittlung der Eingabemöglichkeiten für die einzelnen Zeilen.

Die Suchvorgänge werden nach dem Forward-Reasoning vorgenommen, da hier sämtliche Fehlermöglichkeiten ermittelt werden, die unter den aktuell gegebenen Daten denkbar sind.

Hingegen führt die anfängliche Bearbeitung von Fenstereinträgen auf unteren Ebenen zunächst zu Fehlerursachen, die anschließend zu verifizieren sind. Durch die Exklusion paralleler Möglichkeiten wird auf diese Weise nach Zwischendiagnosen die Enddiagnose generiert. Die Dialogmöglichkeiten in den unterschiedlichen Fenstern hängen demnach jeweils von den bisher erfolgten Datenselektionen auf den unterschiedlichen Hierarchiestufen ab.

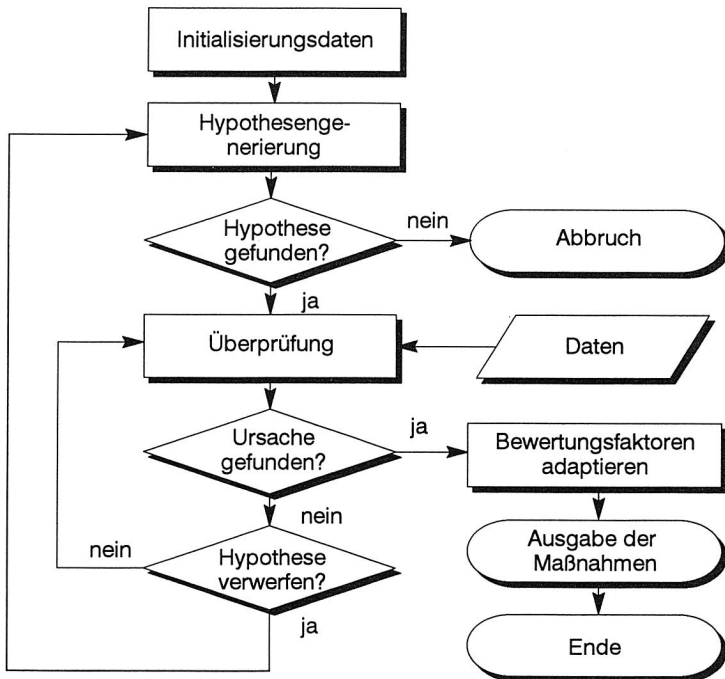


Bild 7-67: Inferenzmechanismus zur Generierung der Hypothesen für den Diagnose-prozeß

Die fest integrierte und durch den Anwender sofort anwählbare Suchstrategie, die den Einzeldialog in den entsprechenden Dialogzeilen verkürzt, unterstützt die Hypothesize-and-Test-Strategie. Wird diese Option angewählt, so wird nach dem derzeitigen Erkenntnisstand eine Verdachtsgenerierung angestoßen und die vollständige, korrespondierende Fehlerbeschreibung angezeigt. Sie wird durch die

statistische Beurteilung der bisherigen Fehlerhäufigkeit und der Auftretenswahrscheinlichkeit gebildet. Die nochmalige Aktivierung der Suchen-Option bewirkt, daß daraufhin jeweils eine weitere Hypothese generiert und ausgegeben wird. Die Hypothesen müssen anschließend bestätigt oder verworfen werden, bis die Enddiagnose gefunden ist. Der Inferenzmechanismus ist in Bild 7-67 dargestellt.

### **7.5.3 Protokollierung der Einsatz- und Diagnosedaten**

Die Protokollierung der Einsatzdaten schließt den Regelkreis zu längerfristigen Entscheidungen. Sämtliche erfaßten Daten werden mit ihrem spezifischen Bezug zur Schicht, zum gefertigten Los sowie zur Montageanlage gehalten. Die Daten werden im fehlerfreien Betrieb aus der Überwachung und im Falle eines Fehlers mit Informationen aus der Diagnose über Fehlerart und -ursache ergänzt. Damit stehen nicht nur Störungshäufigkeiten sowie deren Zeitanteile, wie sie von üblichen BDE/MDE-Systemen generiert werden, zur Verfügung, sondern gerade die wichtigen Informationen über die Störungsursachen.

Die Basisinformationen erstrecken sich damit durchgängig von der ersten Expertenbewertung während der Konstruktionsphase bis zum realen Einsatz und werden erst hier entsprechend des Störungsaufkommens bestätigt oder revidiert. Aufgrund derselben Basisdaten, die während der Anlagenlaufzeit mit realen Einsatzdaten verknüpft werden, sind die erforderlichen Maßnahmen zur Optimierung einer Anlage ableitbar. Die semantisch einheitliche Grundlage bietet dazu eine wichtige Hilfestellung, da der Kontext von Anfang an klar definiert ist.

## **7.6 On-line Datenaustausch zwischen der Montageleitebene und der Planungsebene**

Die Transparenz in einem fertigenden Betrieb wird zum einen durch den Umfang und zum anderen durch die zeitliche Verzögerung geprägt, mit der Einsatzdaten von der Datenquelle zu den spezifizierten Empfängern gelangen. Dieser Zusammenhang wird entscheidend von der Lebensdauer der Informationen beeinflusst. Die Lebensdauer einer Information charakterisiert ihre zeitliche Gültigkeit, mit der sie für den Empfänger relevant ist. Die optimale Nutzung von Informationen ist folglich nur dann gewährleistet, wenn ihre Lebensdauer hierarchisch gestuft und in engen Grenzen determiniert wird.

Durch Kumulierung und Verdichtung von Daten werden quasi neue Informationen generiert, die wiederum an Empfänger weitergegeben werden und ihrerseits über eine Lebensdauer verfügen. Nachdem eine Diagnose auf der Montageebene abgeschlossen ist, verlieren beispielsweise die sensorischen Daten ihre Gültigkeit bzw. ihre Relevanz. Die verdichteten Informationen bestehen anschließend aus Fehler-

art, -ort, -ursache sowie aus Zeitanteilen, die der Fehler als Verlust verursacht hat. Der Informationsgehalt verdichteter Daten besitzt eine vermehrte Wichtigkeit für die Optimierung, die auf einer höheren Hierarchiestufe angesiedelt ist. Während die on-line-Diagnose vor Ort für eine kurzfristige Behebung von Fehlerzuständen der Anlagen dient, werden die Informationen auf der Planungs- und Dispositionsebene für die mittel- und längerfristige Umsetzung von Planungs- und Verbesserungsmaßnahmen verwendet.

Die vorherrschende Heterogenität von Rechnersystemen und Betriebssystemen, die jeweils für ihren Anwendungsbereich ihre sachliche Begründung besitzen, erfordern die offene Gestaltung für Systemlösungen und Datenaustausch. Während die on-line-Diagnose, die vom *Diagnosemanager* ausgeführt wird, auf einem PC implementiert ist, werden die Planungssysteme auf HP-Unix-Workstations betrieben. Die Rechnersysteme sind autonom, so daß sie unabhängig voneinander arbeiten können und über ein LAN miteinander verbunden sind. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen, die an die Rechnerarchitektur und deren Software zur Lösung der spezifischen Probleme gestellt werden, ist es praxisfern, eine einheitliche Systemumgebung zu fordern, die letztendlich nicht oder nur mit einem hohen Aufwand und Einschränkungen realisiert werden kann.

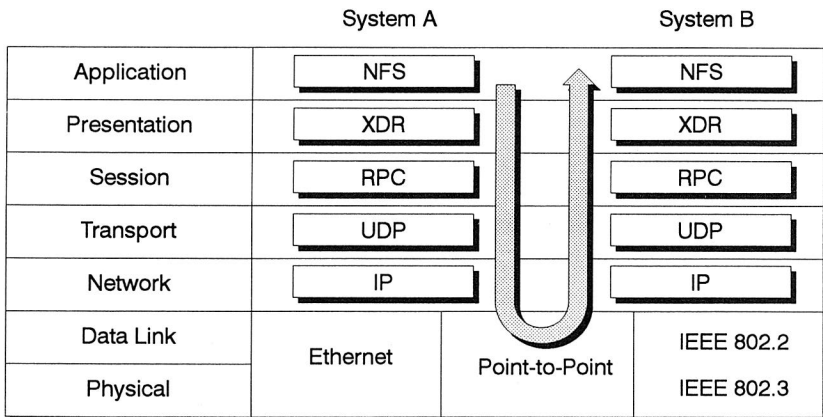
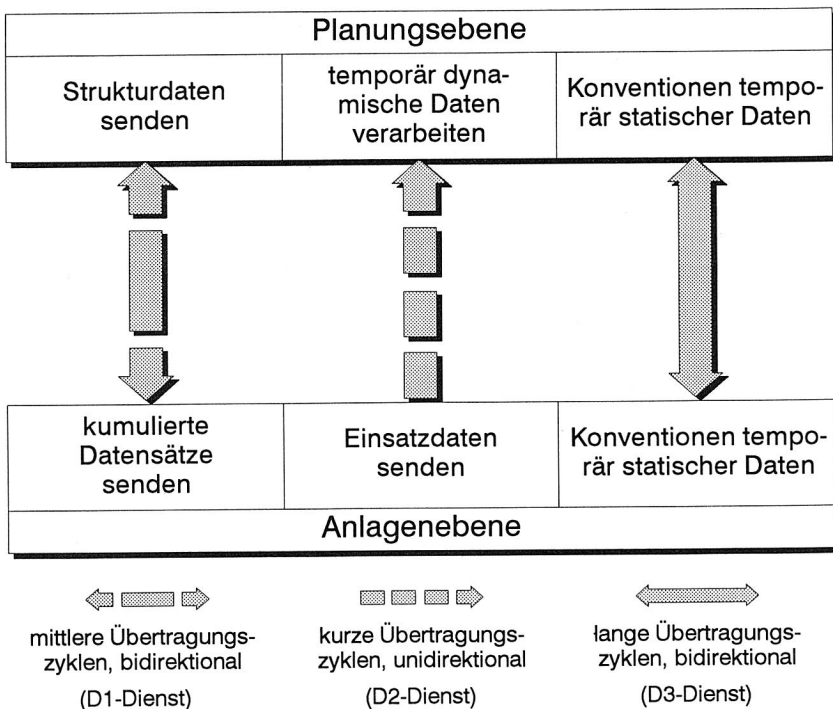


Bild 7-68: Charakterisierung von NFS im ISO-Referenzmodell [nach 62, 114]

Aus diesen Gründen werden unterschiedliche Hardwareplattformen benötigt, auf denen die on-line-Diagnose- und Planungswerkzeuge ablauffähig sind. Für die Übertragung der Daten wird ein verteiltes Filesystem angelegt, das einen gemeinsamen Zugriff auf den Datenbestand erlaubt. Realisiert wird das Filesystem zwischen PC und HP-Unix-Workstations mit Hilfe von NFS (Network File System),

das speziell für Netzwerke mit einem hohen Datendurchsatz, sehr kurzen Delay-Zeiten und niedriger Fehlerrate entwickelt wurde. Zur Codierung der Daten stützt sich NFS auf XDR (External Data Representation) der Schicht 6 des ISO-Referenzmodelles. Das Bild 7-68 zeigt die unterschiedlichen Dienste, die NFS im ISO-Referenzmodell nutzt. [114]

NFS wird von vielen Betriebssystemen unterstützt und stellt das wichtigste Dateisystem unter UNIX dar. Es bietet die Möglichkeit, Dateisysteme zweier voneinander autonom arbeitender Rechner logisch wechselseitig in das jeweilig andere Dateisystem einzufügen. Der Zugriff auf die entfernt liegenden Daten erfolgt auf die gleiche Art wie auf die lokal gespeicherten Dateien. Der Datenschutz wird durch eine gesonderte Datei geregelt, in der sämtliche Unterverzeichnisse aufgeführt sind, auf die von außen durch andere Rechnern zugegriffen werden darf. [62]



*Bild 7-69: Datenaustausch zwischen den unterschiedlichen Rechnersystemen der Montage- und Planungsebene*

Die Dateiverwaltung wird vom Unix-Betriebssystem übernommen und koordiniert damit die Lese- und Schreibzugriffe der Benutzer. Diese erlaubt zwar mehrere

gleichzeitige Lesezugriffe, aber einen Schreibzugriff erst, wenn alle Lesezugriffe abgeschlossen sind. Aufgrund der Koordination durch das Betriebssystem müssen für die gemeinsame Nutzung des Filesystems keine zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen in den einzelnen Applikationen implementiert werden.

Um die Datenübermittlung effizient zu gestalten, sind unterschiedliche Übertragungsdienste realisiert, die die zu übertragenden Datensätze in mehrere Blöcke aufteilen. Die Übertragungsdienste sind in den D1-, D2- und den D3-Dienst unterteilt und richten sich danach, wie häufig Daten übertragen werden. Während der eine Block aus einem statischen Teil der Daten besteht, umfaßt der andere den dynamischen Teil der Datensätze. Der statische Datenteil wird beim Start der Applikationen eingelesen und bleibt bis zu deren Beendigung gültig. Hierin sind Konventionen über die Datenübermittlung vereinbart, die für alle beteiligten Applikationen auf den unterschiedlichen Systemen bindend sind.

Der Datenfluß aus der Anlagenebene zur Planungsebene wird mit Hilfe des dynamischen Datenteils realisiert. Dieser wird in der vereinbarten Zykluszeit, die beispielsweise auch im statischen Teil hinterlegt ist, neu generiert.

### **7.6.1 Konventionen temporär statischer Daten**

Die Vereinbarung temporär statischer Daten dient dazu, daß diese bei der schnellen Übertragung nicht redundant übergeben werden müssen. Damit wird ein großer Teil des ansonsten anfallenden Datenvolumens eingespart. Die Datensätze werden deshalb mit eindeutig referenzierbaren Bezeichnungen belegt. Für die Übertragung wird der D3-Dienst benutzt.

Der erste Teil der statischen Daten umfaßt die Anlagendefinitionen. Diese werden durch eine Überschrift eingeleitet, die von der entsprechenden Anzahl von Einträgen begleitet wird. Die Einträge bestehen aus den referenzierbaren Knotennummern, die in Übereinstimmung der Netzwerkbelegung auf der Anlagenebene übernommen werden. Die Nummer wird gefolgt von der Anlagenbeschreibung.

Der zweite Teil beinhaltet die Konventionen der Statusinformationen. Die Einträge werden gleichfalls von einer Überschrift eingeleitet und bestehen aus einer Referenzzahl sowie aus der Darstellungs- und Zustandsdefinition. Beide Datenteile sind für eine beliebige Erweiterung ausgelegt. Damit kann der Anwender selbst, unabhängig vom Systementwickler, über Art und Umfang seiner Datenübertragung entscheiden.

### **7.6.2 Rückführung kumulierter Datensätze**

Während der gesamten Laufzeit der Anlagen werden neben der Zustandsüberwachung zur on-line-Diagnose die spezifischen Abhängigkeiten eines Fehlers sowie die verursachten Fehlzeiteile protokolliert. Zur Unterstützung der Transparenz

in der Montageebene werden parallel zur Übertragung der kurzzeitigen Informationen über das aktuelle Betriebsverhalten der Anlagen und der Losbearbeitung auch die kumulierten Daten von der Anlagenebene in die Planungsebene übermittelt.

Die Übertragung erfolgt in der gleichen Weise wie die der temporär statischen und temporär dynamischen Daten und wird aufgrund definierter Ereignisse angestoßen. Die Zeitpunkte werden entweder durch einen Schicht- oder einen Loswechsel an den Montageanlagen bestimmt.

### **7.6.3 Rückführung temporär dynamischer Daten**

Der Inhalt der dynamischen Daten umfaßt zum einen die kurzen Referenzinformationen und zum anderen zusätzliche Informationen, die sich im Laufe des Betrachtungszeitraumes ändern können.

Die Einträge enthalten in der Reihefolge die Informationen der referenzierten Knotennummer, die referenzierte Statusnummer, die gefertigte Stückzahl und die Bezeichnung des aktuell bearbeiteten Loses. Knotennummern und Statusnummern bestehen aus ganzen Zahlen und müssen den Angaben der statischen Datei entsprechen. Enthält die dynamische Datei eine nicht vereinbarte Knotennummer oder Statusnummer, so erfolgt eine Fehlermeldung, die den Anwender auf die Fehlbelegung hinweist. Wurden dagegen mehr Einträge über Anlagen vereinbart als durch die dynamische Datei aktualisiert werden, erfahren nur die in der dynamischen Datei referenzierten eine Aktualisierung ihrer Werte. Damit kann in zeitkritischen Situationen die Aktualisierung des Anlagenabbildes prioritätsgesteuert erfolgen.

### **7.6.4 Übertragung von Strukturdaten an den Diagnosemanager**

Die Datenübertragung zwischen den unterschiedlichen Ebenen erfolgt auf bidirektionalem Weg. Neben der Rückführung der Einsatzdaten aus der Montageebene zu den unterschiedlichen Applikationsmodulen der Planungsebene werden die Übertragungsdienste im Gegenzug dazu ebenfalls zur Übermittlung von Strukturdaten in entgegengesetzter Richtung genutzt. Die Strukturdaten umfassen zum einen Steuerinformationen zur Ausführung von Anweisungen durch den *Diagnosemanager* und zum anderen Basisdaten für die Diagnose.

Die Steuerinformationen dienen beispielsweise zur Anforderung von Zwischenergebnissen oder zur Aktivierungsanzeige der on-line-Überwachung in der Planungsebene. Die Basisdaten umfassen die in der Planungsebene entwickelten Ursache-Wirkungsrelationen, die als Grundlage für die on-line-Diagnose genutzt werden.

## 7.7 Die Informationsverarbeitung auf der Planungsebene

Das System *FactoryLinker* umfaßt die gesamte Funktionalität des Diagnosesystems, das in mehrere Modulen gegliedert ist, die auf unterschiedlichen Rechnerhardwareplattformen betrieben werden. Der Aufbau der Vernetzung zwischen den heterogenen Rechnersystemen und deren Applikationen ist die Basis für die reibungslose Durchgängigkeit für Einsatz- und Diagnosedaten aus dem Montagebereich.

Auf der Planungsebene werden die Informationen, die auf der Montageebene in der on-line-Diagnose generiert wurden, in den korrespondierenden Modulen weiterverarbeitet. Diese Module sind *ProVi*, *DiView* sowie Preprozessoren zur Konvertierung der Diagnose- und Einsatzdaten für weitere Planungsapplikationen. Die Verwaltung der Module wird von der adaptierbaren Mensch-System-Schnittstelle übernommen. Die Module sind entsprechend des Informationsbedarfs gegliedert und nutzen die unterschiedlichen Dienste der Datenübertragung aus der Montageanlagenleitebene (vgl. Kap. 7.6, S 139). Bei der Realisierung wurden durchgängig die Standards X.11, OSF/Motif für Grafiken und Bedienoberflächen, SQL für Datenbankabfragen und ISO/OSI für den Kommunikationsdienst eingesetzt.

### 7.7.1 Adaptierbare Mensch-System-Schnittstelle

Die umfangreichen Tätigkeiten, die von Anwendern von Rechnersystemen ausgeführt werden, erfordern wohlstrukturierte Mensch-System-Schnittstellen [70]. Diese können in die beiden Gruppen der statischen und der flexiblen Schnittstellen unterteilt werden. Während statische Schnittstellen für Anpassungen an neue Aufgaben stets im Quellcode geändert und neu übersetzt werden müssen, lassen sich flexible Schnittstellen durch einen eigenen Editor leicht anpassen, ohne weitere softwaretechnische Systeme, wie beispielsweise Compiler und Linker, einsetzen zu müssen.

Für die gesamte Bedienung des *FactoryLinkers* wurde eine flexible Benutzerschnittstelle entwickelt. Diese basiert auf dem Entwicklungssystem Architect [105] und C-Routinen. Die Schnittstelle gewährleistet zum einen eine einheitliche Bedienung der Softwarewerkzeuge und kann entsprechend der individuellen Anforderungen konfiguriert werden. Das Bild 7-70 zeigt beispielhafte Möglichkeiten, die Konfiguration des Systems durch Erzeugen, Bearbeiten, Laden und Löschen an die Bedürfnisse des Anwenders anzupassen. Werden für die zukünftige Anwendung weitere Applikationen erforderlich, so sind diese mit äußerst geringem Aufwand in die schon bestehende Umgebung einzubinden. Damit ist zum einen eine Richtlinie für die Erstellung weiterer Softwaremodule vorgegeben und zum anderen die Lebensdauer des Systems auf einen sehr viel längeren Zeitraum ausgelegt.

Die stetige Entwicklung zeigt, daß Software-Produkte zwar langlebige Erzeugnisse sind, aber nur relativ kurzzeitig auf dem aktuellen technischen Stand stehen. Um



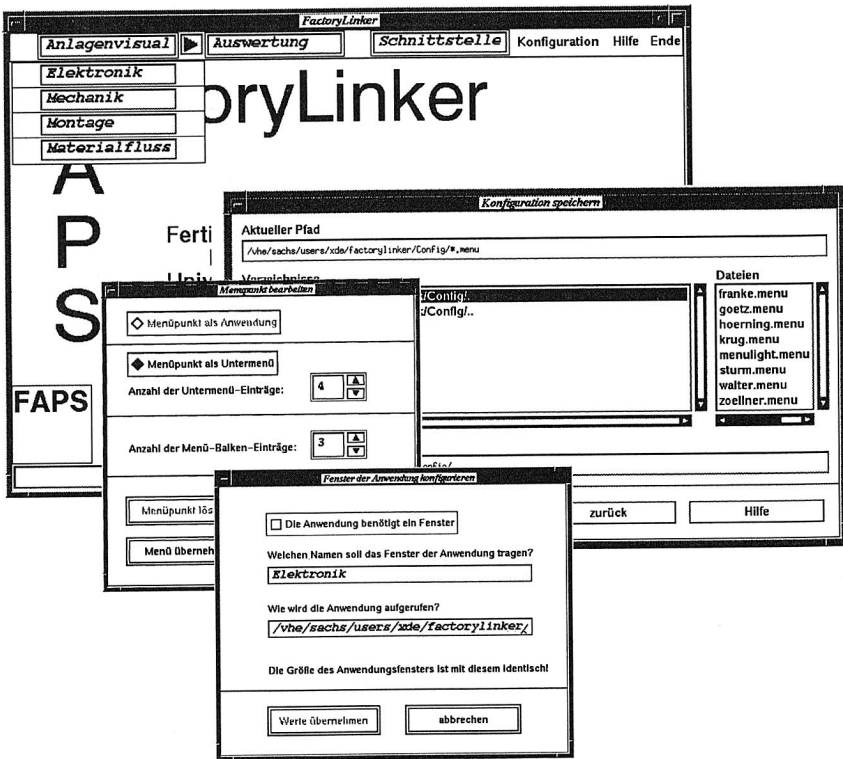


Bild 7-70: Anpassung der Systemkonfiguration des FactoryLinkers entsprechend den individuellen Anforderungen des Anwenders

den Änderungsprozeß zu überwinden, ist an Programmen kontinuierliche Wartung erforderlich. Der Wartungsvorgang umschließt die Tätigkeiten von der Fehlerkorrektur bis zur vollständigen Erzeugung einer neuen Version. Forderungen nach wartungsfreundlicher Software sind berechtigt, da im Vergleich zur Software-Entwicklung etwa das Vierfache an Zeit in die Software-Wartung investiert wird. [20] Die entwickelte, flexible Benutzerschnittstelle ist schnell und einfach den erforderlichen Bedürfnissen anzupassen. Die Vorteile, die sich ergeben sind zusammengefaßt:

- Durch den Editor werden Fehleingaben verhindert.
- Quellcode muß nicht in den Programmtext eingefügt werden. Damit entfällt das Auffinden der passenden Stelle im Quellcode. Folgeänderungen werden vermieden.

- Eine erneute Compilierung des Quellcodes in Maschinencode wird überflüssig.

Der Lebenszyklus von Software besteht aus ihrer Entwicklung, ihrer Anwendung und ihrer Wartung. Zwischen zwei Softwareversionen ist die Entwicklung ein einmaliger Vorgang. Die beiden Phasen der Softwarenutzung und ihre Wartung wechseln sich dagegen zyklisch ab. Die Wartung kann in drei Bereiche gegliedert werden:

- Korrektur
- Perfektion
- Adaption

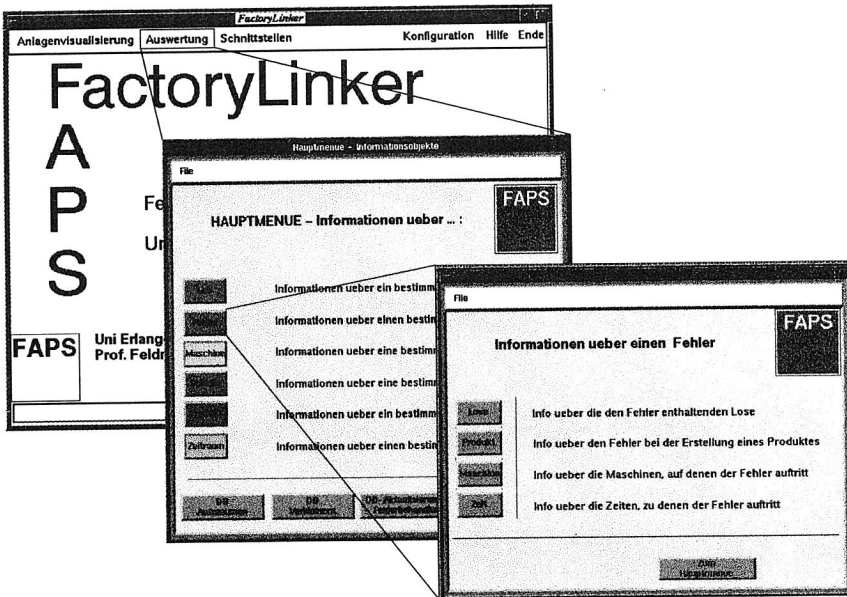
Die Aufgabe der korrektiven Wartung ist die Fehlerbeseitigung auf syntaktischer Ebene. Zudem dient sie zum Beheben von Programmier-, Design- und Spezifikationsfehlern. Ebenfalls in diese Kategorie fällt die Beseitigung Softwareeigenschaften, die den Anwender irreleiten, wie beispielsweise die Verwendung der Farbe Rot für die Statusanzeige einer laufenden Anlage. [19] Bei der perfektiven Wartung ist die einwandfreie Funktion der Software gegeben. Der Anwender benötigt jedoch einen erweiterten Funktionsumfang für seine Aufgaben. Durch die adaptive Wartung erfolgt die Anpassung an langsam veränderliche, quasi statische Daten.

### 7.7.2 System zur Analyse von Diagnose- und Einsatzdaten

Auf der Planungsebene werden reale Diagnose- und Einsatzdaten für die weitere Bearbeitung von der Montageanlagenleitebene übernommen und gespeichert. Aus diesen Daten können aus vergangenen Arbeitsperioden wertvolle Erkenntnisse für die zukünftige Arbeitsweise und den Einsatz der Montageanlagen abgeleitet werden.

Für eine gesicherte und konsistente Datenverwaltung wird das Modul *DiView* eingesetzt, das auf der relationalen Datenbank Ingres mit der Entwicklungsumgebung Windows 4GL realisiert ist. *DiView* nutzt für den Datenimport die Übertragungsdienste D1 und D3 (vgl. Kap. 7.6, S. 139). Zeitgleich wird zum Importprozess eine Umwandlung vom DOS- zum Unix-Format vorgenommen.

Sämtliche Diagnose- und Einsatzdaten werden mit Hilfe des D1-Dienstes vom online-Diagnosemodul *Diagnosemanager* übernommen. Der D3-Dienst dagegen wird zur Vermittlung der Daten bezüglich temporär statischer Konventionen genutzt. Während die Diagnose- und Einsatzdaten zyklisch von der Montageleitebene nach einem Schicht- oder Loswechsel übertragen werden, sind die Daten über Konventionen bis zu ihrer Neudefinition, beispielsweise durch eine Umkonfiguration einer Montageanlage, statisch hinterlegt. Bei einer Umkonfiguration werden im *Diagnosemanager* neue Beziehungen vereinbart, die im *DiView* bei zukünftigen Analysen



*Bild 7-71: Einsatz des Moduls DiView zur Analyse von Diagnose- und Einsatzdaten zur Auslastungsoptimierung und technischen Optimierung von Montageanlagen*

berücksichtigt werden müssen. Auf diese Art wird erreicht, daß eine stetige, automatische Adaption an geänderte Randbedingungen erfolgt.

Das Bild 7-71 zeigt die Hauptauswahlmenüs, die die Beziehungen zwischen Los, Fehler, Maschine (Anlage), Schicht, Produkt und Zeitraum abbilden und korrelieren.

Die Entwicklungsumgebung Ingres-Windows 4GL dient zur Erstellung von fensterorientierten Datenbank-Applikationen, die auf das Ingres-Datenbanksystem (DBS) zugreifen. Sie unterteilt eine Applikation in mehrere Komponenten, z.B. Frames oder 4GL-Prozeduren und stellt zu deren Erzeugung und Editierung adäquate Werkzeuge zur Verfügung. Ihr wichtigstes Merkmal ist die Möglichkeit, sowohl Windows 4GL-Befehle als auch Ingres-SQL-Befehle miteinander zu kombinieren.

Ein wichtiger Punkt bei der Entwicklung eines Analysesystems ist, daß Redundanzen der Informationsdarstellung aus den Abfrageaktionen möglichst ausgeschlossen werden. Im folgenden werden die implementierten Abfrageaktionen gezeigt. Auf den eigentlichen Entwurfsprozeß der Datenbank soll nicht näher eingegangen werden [vgl. 46, 60, 72, 81, 139, 156]. Die Abfrageaktionen betreffen:

## (a) Losbezogene Informationen

- ☐ Anfangs- und Endzeitpunkt eines Loses,
- ☐ Zustände eines Loses,
- ☐ aufgetretene Fehler

## (b) Produktbezogene Informationen

- ☐ aufgetretene Zustände,
- ☐ aufgetretene Fehler,
- ☐ eingesetzte Anlagen,
- ☐ Produkt-Los-Beziehungen

## (c) Anlagenbezogene Informationen

- ☐ gefertigte Lose,
- ☐ Anlagenzustände,
- ☐ aufgetretene Fehler,
- ☐ gefertigte Produkte

## (d) Anlagen-Fehlerbezogene Informationen

- ☐ Lose, bei denen der Fehler auftrat,
- ☐ Produkte, bei deren Herstellung der Fehler auftrat,
- ☐ Anlagen, auf denen der Fehler auftrat,
- ☐ Zeiten, zu denen der Fehler auftrat

## (e) Schichtbezogene Anfragen

- ☐ Sämtliche Entities der Datenbank können analysiert werden bezüglich: Produkte, Lose, aufgetretener Fehler, Zustände, Anlagen und sonstiger Informationen einer Schicht.

## (f) Zeitraumbezogene Anfragen

- ☐ Da ein Zeitraum eine Verallgemeinerung des Schichtbegriffs ist, gelten hier die gleichen Zugriffsmöglichkeiten.

Aufgrund der umfangreichen Möglichkeiten der Sichten auf die Diagnose- und Einsatzdaten aus der Montageanlagenebene werden Anforderungen bezüglich der Unterstützung der Auslastungsoptimierung sowie der technischen Optimierung flexibler Montagesysteme erfüllt. Die Tabelle 7-3 zeigt die Tätigkeitssegmente der einzelnen *FactoryLinker*-Systemmodule sowie im besonderen die Beziehungen der Module auf der Planungsebene im Gesamtzusammenhang.

	Informations- quelle	Aktion	Informati- onssenke	Nutzung	Modul
1	Entwicklungs- prozeß der Montage- anlage	Abbildung der Abhängigkeiten	Entwicklung	Sicherung des Entwicklungs- prozesses mit der FMEA	WAKS
2		Abbildung der Abhängigkeiten	Entwicklung	Entwicklung der Ursache- Wirkungsbe- ziehungen	WAKS
3	Ursache-Wir- kungsbe- ziehungen	Beurteilungs- prozeß	Diagnose- kern	Bestimmung der Rangfolgen	FQQS
4	Diagnosekern	on-line-Diagnose	Bedienperso- nal	Hilfe zur schnel- len Fehlerbe- hebung	Diagnose- manager
5	Montagean- lagenebene	Übertragung der on-line-Einsatz- daten	Planungs- ebene	Unterstützung der Arbeitsfort- schrittsüber- wachung	Diagnose- manager, Dienst D2 und D3
6	Montagean- lagenebene	Übertragung der kumulierten Protokolle von Diagnose- und Einsatzdaten	Planungs- ebene	gesicherte Basis- daten für Auslas- tungsoptimie- rung, PPS und Simulation	Diagnose- manager, Dienst D1 und D3
7	Montagean- lagenebene	Übertragung der kumulierten Protokolle von Diagnose- und Einsatzdaten	Planungs- ebene	Basisdaten zur Unterstützung der Auslastungs- optimierung	Diagnose- manager, Dienst D1 und D3
8	on-line-Ein- satzdaten	on-line-Visua- lisierung	Feinplanung (Leitstand)	Überwachung des Arbeitsfort- schrittes	ProVi
9	Protokolle der Diagnose- und Einsatzdaten	Analyse der Dia- gnose- und Ein- satzdaten	Planung (PPS)	Unterstützung der Auslastungs- optimierung	DiView
10	Protokolle der Diagnose- und Einsatzdaten	Analyse der Dia- gnose- und Ein- satzdaten	Entwicklung	technische Opti- mierung	DiView

*Tabelle 7-3: Die Integration der Systemmodule aus der Montage- und Planungsebene für einen geschlossenen Informationsfluß zur Steigerung der Transparenz und der Verfügbarkeit*

### 7.7.3 Unterstützung der Auslastungsoptimierung flexibler Montagesysteme

Neben der Sicherung der Verfügbarkeit durch schnelle Maßnahmen zur Behebung von Störungen an den Montageanlagen tragen die on-line-Daten aus den Diagnose- und Einsatzdatenprotokollen zur Problemlösung von Planungsaufgaben bei. Zu diesem Zweck werden die unterschiedlichen Dienste der on-line-Datenübertragung genutzt. Diese sind für die Übertragung von kurzfristig zyklischen und längerfristig kumulierten Daten zuständig (vgl. Bild 7-69, S. 141). Bei der Aufnahme der Daten in der Montageebene besitzen diese stets eine Beziehung zur Anlage, zum Produkt und zum Los. Weitere Beziehungen bestehen zur Schicht oder zu bestimmten Zeitintervallen.

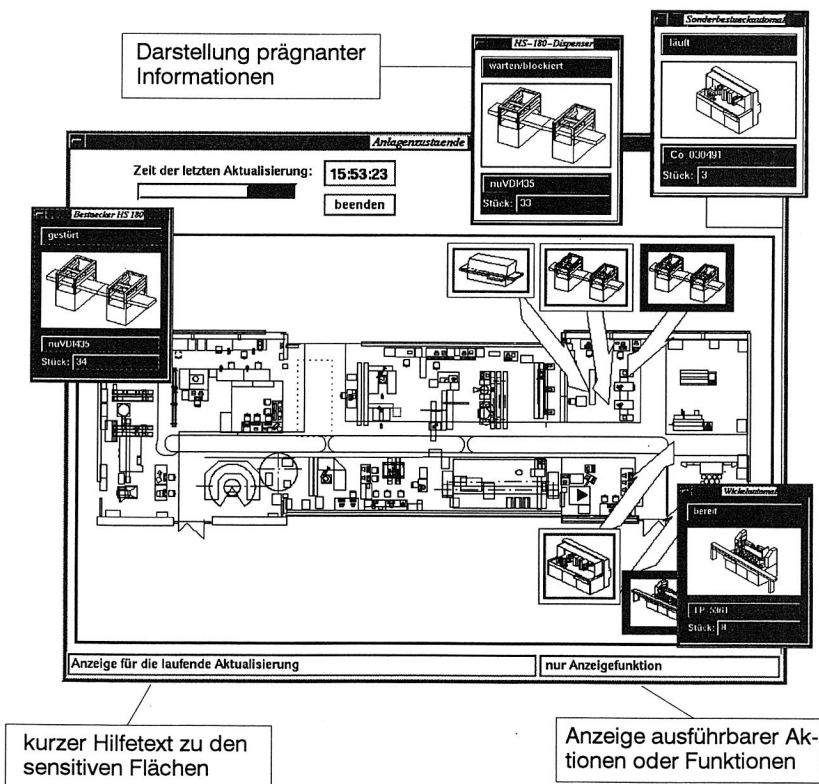


Bild 7-72: Die Übertragung aktueller Informationen vom Modul ProVi zur Überwachung des Arbeitsfortschrittes

Zur Auslastungsoptimierung werden als Grundlage detaillierte Informationen über das Einsatzverhalten der Montageanlagen verlangt. Durch die Protokollierung der Beziehungen können beliebige Datensichten realisiert werden. Die Auswertung einer angestoßenen Datensicht führt zu Aussagen, die zum einen die Überwachung des Auftragsfortschrittes und zum anderen die Einplanung zukünftiger Aufträge unterstützt.

Der Auftragsfortschritt kann anhand weniger Informationen beurteilt werden. Diese werden dem Benutzer mit einer Zykluszeit von ca. drei Sekunden aus der Montageanlagenleitebene übermittelt. Die wesentlichen Informationen, die hier enthalten sind, sind Losbezeichnungen, Stückzahlen und aktuelle Anlagenzustände.

Anhand der Losbezeichnung kann der Benutzer das aktuell gefertigte Los identifizieren und sich schnell einen Überblick über Anfang bzw. Ende der Bearbeitung verschaffen. Die Stückzahlen dienen dazu, den Arbeitsfortschritt zu beurteilen. Aufgrund der bekannten Sollvorgaben können so Restlaufzeiten abgeschätzt werden. Additive Informationen werden mit der Anzeige der aktuellen Betriebszustände der Anlagen übermittelt. Das Bild 7-72 stellt das Modul *ProVi* dar, das die gerade aktuellen Informationen der Montageebene zeigt.

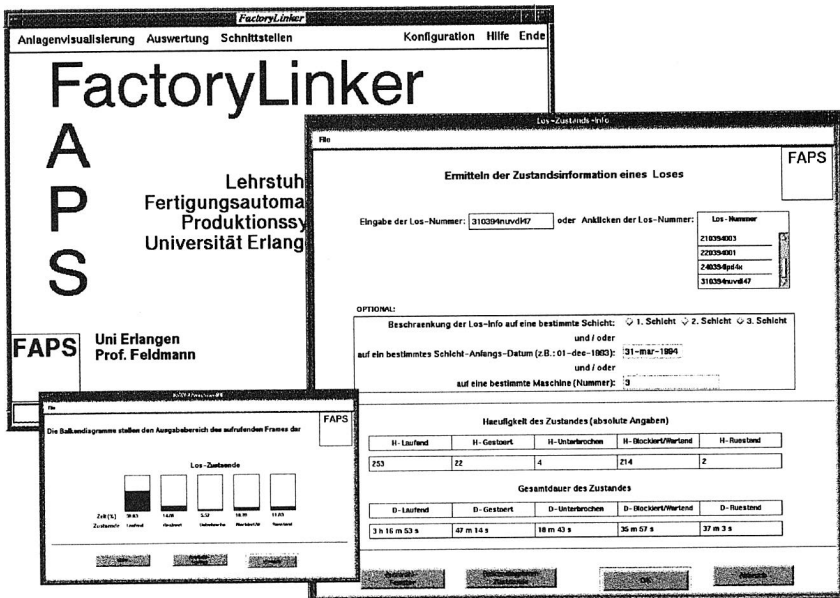


Bild 7-73: Darstellung der Korrelation zwischen Losen und der Bearbeitungszeiträume

Als weitere Information wird im Fehlerfall einer Anlage ebenfalls die Fehlerbezeichnung aus der on-line-Diagnose vor Ort an das Modul gesendet. Anhand dieser können eventuelle längere Stillstandszeiten identifiziert werden. *ProVi* kann permanent im Hintergrund betrieben werden. Bei Bedarf stehen somit immer unverzüglich die erforderlichen Informationen durch einfaches Anwählen und Öffnen der Anlagenikonen bereit.

Um längerfristige Entscheidungen treffen zu können, die vor allem die Prognose von Laufzeiten zukünftiger Aufträge oder die Ableitung von Basisdaten für ein PPS-System betreffen, wird das Modul *DiView* eingesetzt.

Für die Betrachtungsweise der optimalen Auslastung von Montageanlagen sind vorrangig solche Informationen wichtig, die die Laufzeiten, die Störungszeiten und deren Ursachen in Korrelation mit bestimmten Produkten (Losen) betreffen. Diese sind im folgenden in Punkt (a) und (b) auf der Seite 148 aufgelistet. Mit Hilfe unterschiedlicher Datensichten können Abhängigkeiten dargestellt werden. Die Datensichten spiegeln sich in den entwickelten Abfrageaktionen wider. Das Bild 7-73 zeigt das Ergebnis der Abfrageaktion, in dem die Beziehungen zwischen einem Los und den Bearbeitungszeiträumen korreliert dargestellt werden.

Die Preprozessoren zur Exzerption der Informationen für den Leitstand, das PPS-System und die Simulation greifen auf den Datenbestand der Datenbank zu und konvertieren diesen in die erforderlichen Formate der Empfängerapplikation. Mit Hilfe dieser Vorgehensweise stehen in dem Modul stetig aktuelle Datenbestände bereit, die für die Planungsaufgaben einen wichtigen Beitrag liefern und eine wesentliche Erleichterung bedeuten.

#### **7.7.4 Technische Optimierung flexibler Montagesysteme durch gesicherte Basisinformationen**

Die zuverlässige Ausführung der Prozesse einer Montageanlage ist die Grundvoraussetzung für eine hohe Verfügbarkeit (vgl. Bild 5-49, S. 97). Das bedeutet, daß in dieser Beziehung zunächst eine sichere Basis geschaffen werden muß. Aufgrund der vielfältigen Abhängigkeiten sind vorrangig Informationen über die unterschiedlichen Fehlerzustände der Anlage von Interesse, die mit Los- bzw. Produktdaten korrelieren (vgl. Kap. 5.2, S. 90).

Die erforderlichen Informationen für die Unterstützung bei der Lösung technischer Optimierungsprobleme werden ebenfalls durch Aktionen von *DiView* bereitgestellt. Die Ergebnisdarstellung ist so aufbereitet, daß technische Fehlerschwerpunkte an Montageanlagen sowie deren Abhängigkeiten gleich ersichtlich sind. Dazu werden vorrangig die Abfragen genutzt, die in den Punkten (c) und (d) auf der Seite 148 aufgelistet sind.

Die genauen Protokolle der aufgetretenen Fehler und die Informationen über die Ursachen, die während des on-line-Diagnoseprozesses an der Montageanlage auf-



genommen wurden, stehen damit anschließend auf der Planungsebene in einem angemessenen Detaillierungsgrad für weiterführende, verfügbarkeitssteigernde Maßnahmen bereit. Hierbei muß besonders berücksichtigt werden, daß die Informationssenkke der Rückmeldedaten (Planungsebene, Entwicklung) vormals die Informationsquelle für die Generierung der Ursache-Wirkungsrelationen der on-line-Diagnose war (vgl. Tabelle 7-3). Durch die enge Verknüpfung der Rückmeldedaten mit den Relationen der Fehlerbäume ist die Ableitung von Maßnahmen für eine technische Optimierung der Montageanlage durch die Synergien relativ einfach zu realisieren. Da sich die ursprünglich determinierte Semantik für die Beschreibung der Anlagenteile und der Ursache-Wirkungsrelationen von der Entwicklung über den Einsatz der on-line-Diagnose bis zur Rückmeldung der Einsatzdaten zieht, können die Informationen effizienter als bisher in allen Bereichen der Montage genutzt werden.

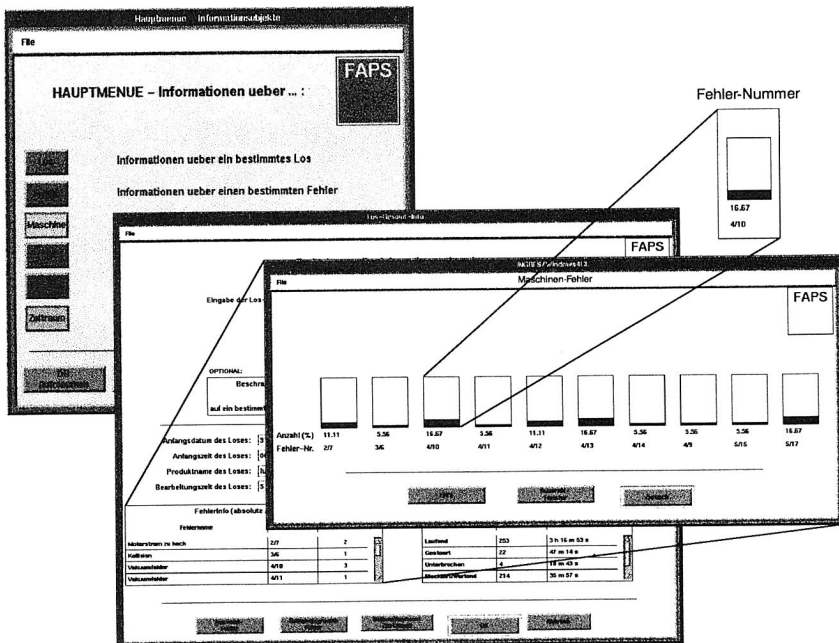


Bild 7-74: Ergebnisdarstellung des Moduls DiView zur Detektion von Fehlerschwerpunkten für die technische Optimierung von Montageanlagen

Das Bild 7-74 zeigt eine beispielhafte Abfrageaktion, bei der eine Anlage dargestellt wird, die mit unterschiedlichen Einflußfaktoren korreliert. Die Abfrageaktionen sind in *DiView* sehr benutzerfreundlich gestaltet, da alle Beziehungen durch ein Auswahlménü im Auswahlfenster erweitert oder eingeschränkt werden können. Damit kann sich der Anwender einen einfachen und schnellen Überblick verschaffen, der für die Entscheidung von Maßnahmen eine hilfreiche Unterstützung bietet.

## 8 Zusammenfassung

Forderungen des Marktes und die Technologieentwicklung haben zu gegenläufigen Tendenzen geführt. Die Folgen drücken sich in der Weise aus, daß die Anforderungen an die Lieferbereitschaft und Qualität stetig steigen und die Produktlebenszeiten sinken. Zur Erfüllung der Forderungen werden Montageanlagen eingesetzt, die aufgrund der Flexibilität ebenfalls in der Komplexität zunehmen. Die daraus resultierenden Fehlerraten führen zur Minderung der Verfügbarkeit, der mit dem Einsatz von Diagnosesystemen wirksam begegnet werden kann.

Bisherige Entwicklungen von on-line-Diagnosesystemen zeigen sich äußerst unflexibel in bezug auf die Adaption an sich ändernde Betriebsbedingungen. Unter Berücksichtigung der Halbwertszeit der implementierten Wissensbasis entscheidet aber gerade diese Funktionalität maßgeblich über die Lebensdauer des Diagnosesystems und die Akzeptanz durch den Anwender. In gleicher Weise muß jedoch auch die Adaptierbarkeit der gesamten Datenerfassung gewährleistet sein.

Die Unterstützung des Bedienpersonals ist während der Inbetriebnahme und in der frühen Phase des normalen Anlagenbetriebes sehr wichtig. In diesem Zeitabschnitt kann die Diagnose helfen, zum einen die Verfügbarkeit zu sichern und zum anderen aktive Hilfestellung zu geben, um das Anlagenverhalten schneller zu erfassen. Aufgrund des Umstandes, daß Diagnosesysteme vorrangig erst nach der Realisierung einer Montageanlage entwickelt werden, sind in dieser Beziehung noch weite Potentiale zu erschließen.

In diesem Zusammenhang wurde das Modul entwickelt, schon während der Entwicklungsphase einer Montageanlage auf einfache Weise die Ursache-Wirkungsrelationen abzubilden. Durch die schnittstellenfreie Aufnahme des Expertenwissens, das mit der Methode der semantischen Vereinheitlichung hinterlegt wird, stehen dem Diagnoseanwender hypothetische, originäre Informationen über auftretende Fehlerfälle zur Verfügung.

In der Konzeption des Systems *FactoryLinker* wurden die Defizite bisheriger Systeme spezifiziert, in Anforderungen konkretisiert und anschließend in ein lauffähiges Diagnosesystem überführt. Die Teilung der Gesamtfunktionalität in mehrere, weitestgehend eigenständige Module unterstützt die Möglichkeit, Informationen zwischen mehreren Rechnersystemen und Applikationen auszutauschen.

Die Bereitstellung von Informationen über Fehlerart, -ort und -ursache unterstützt das Bedienpersonal bei der schnellen Fehlerbehebung. Damit kann kurzfristig auf Fehler reagiert werden, um die Verfügbarkeit einer Montageanlage zu sichern. Um jedoch permanente Fehlereinflüsse erkennen zu können sowie gesicherte Informationen über das Einsatzverhalten einer Anlage zu gewinnen, werden darüber hinaus Protokolle der Einsatz- und Diagnosedaten geführt. Diese Daten werden mit Hilfe des Kommunikationsmoduls in einer heterogenen Rech-

nerarchitektur auf eine höhere Rechnerebene übertragen, wo sie effizient in Planungsapplikationen, wie beispielsweise Simulation, PPS und Leitstand, genutzt werden können. Diese Informationen dienen als Grunddaten für die Auftragsplanung oder als Ansatzpunkt für technische Optimierungsmaßnahmen an der Montageanlage. Die hierarchisch gestufte Aufteilung führt zu einem Datenfluß aus der Montageebene zur Planungsebene, die die Transparenz in einem fertigenden Betrieb wesentlich unterstützt. Auf dem umgekehrten Wege werden beispielsweise Konfigurationsdaten an die unterlagerte Rechnerebene gegeben, damit redundante Arbeiten, wie die Überprüfung auf Richtigkeit, entfallen können. Die Reduzierung der Schnittstellen trägt hier zu einer effizienteren Arbeitsweise bei.

Mit der Umsetzung der Anforderungen in das System *FactoryLinker* wurden somit sowohl kleine, anlagennahe als auch große, anlagenferne Regelkreise realisiert, die die praxisnahen Bedürfnisse besser als bisher erfüllen.

**Literaturverzeichnis**

1. Abels, S.:  
Modellierung und Optimierung von Montageanlagen in einem integrierten Simulationssystem. Dissertation an der Universität Erlangen-Nürnberg, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1993
2. Adam, W.; Fredrich, H.; Linnemann, H.:  
Modellbasiertes Multimedia-Ferndiagnosesystem. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung ZwF 87 (1992) 12, Carl Hanser Verlag, München, 1992, S. 659-663
3. Aggteleky, B.; Bajna, N.:  
Projektplanung. Carl Hanser Verlag, München Wien, 1992
4. Achtstätter, J.; Bartl, R.:  
Ein Diagnosesystem für die Leiterplattenfertigung. Automatisierungstechnische Praxis atp 32 (1990) 2, Oldenbourg Verlag, München, 1990, S. 203-210
5. Althoff, K.-D.:  
Eine fallbasierte Lernkomponente als integrierter Bestandteil der MOLTKE-Werkbank zur Diagnose technischer Systeme. Dissertation an der Universität Kaiserslautern, 1992
6. Andreasen, M. M.; Kähler, S.; Lund, T.:  
Montagegerechtes Konstruieren. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1985
7. Bärnreuther, B.:  
Ein Beitrag zur Bewertung des Kommunikationsverhaltens von Automatisierungsgeräten in flexiblen Produktionszellen. Dissertation an der Universität Erlangen-Nürnberg, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1992
8. Barschdorff D.:  
Adaptive Echtzeitverfahren als Hilfsmittel der Fehlerdiagnose. In Diagnoseverfahren in der Automatisierungstechnik, VDI-Berichte 854, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990, S. 1-20
9. Bartl, R.:  
Datenmodellgestützte Wissensverarbeitung zur Diagnose- und Informationsunterstützung in technischen Systemen. Dissertation an der Universität Karlsruhe, 1990
10. Becker-Biskaborn, G.-U.; Siegmann, A.:  
CIM Produktionsleitsysteme. Hrsg.: Geitner, U.W., Friedr. Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 1991
11. Berens, N.:  
Anwendung der FMEA in Entwicklung und Produktion. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1989

12. Biebinger, H.:  
Zustandsabhängige Instandhaltung von CNC-Maschinen durch Selbstdiagnose – Ein wissensbasierter Ansatz am Beispiel von Koordinatenmeßgeräten. Dissertation an der Universität Kaiserslautern, 1991
13. Biemans, F.:  
Reference Model of Production Control Systems. IECON 86, Milwaukee, Sep-29 – Oct-3, 1986
14. Birkel, G.:  
Ein Wissenserwerbssystem für die Diagnose in komplexen Produktionsanlagen. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung ZwF 88 (1993) 6, Carl Hanser Verlag, München, 1993, S. 276-278
15. Bollmann, O.:  
Modifikationsfreundliches wissensbasiertes Diagnosesystem für die Montage. Dissertation an der TU Berlin, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1993
16. Brink, J.; Zeitz, M.:  
Extended Luenberger Observer for Non-Linear Multivariable Systems. International Journal of Control, Vol. 47, No. 6, 1988
17. Bullinger, H.-J.:  
Neue Produktionsparadigmen als betriebliche Herausforderung. IAO-Forum "Innovative Unternehmensstruktur", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1992
18. Bullinger, H.-J.; Huthmann, A.:  
Werkstattsteuerung und Simulation. In: Breitenecker u.a. (Hrsg.). Fortschritte in der Simulationstechnik. Bd. 1, Vieweg-Verlag, Braunschweig, 1990
19. Coenen, F.; Bench Capon, T.:  
Maintenance of knowledge-based systems. Academic Press, London, 1993
20. Curth, M.:  
Management der Software-Wartung. Teubner-Verlag, Stuttgart, 1989
21. Dahl, B.:  
Entwicklung eines Konstruktionssystems zur Unterstützung der montagegerechten Produktgestaltung. Dissertation an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 1990
22. Demmelmeier, F.:  
Fehlertolerante Multimikrorechnersysteme für die Prozeßautomatisierung. Oldenbourg Verlag, München, 1988
23. Diehl, G.:  
Steuerungsperipheres Diagnosesystem für Fertigungseinrichtungen auf der

- Basis überwachungsgerechter Komponenten. Dissertation an der Universität Stuttgart, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona Budapest, 1992
24. Ding, X.; Frank, P.M.:  
Komponentenfehlerdetektion mittels Fourier-Analyse im Zustandsraum. *Automatisierungstechnik* 38 (1990) 4, Oldenbourg Verlag, München, 1990, S. 134-143
  25. Ding, X.; Frank, P.M.:  
Komponentenfehlerdetektion mittels auf Empfindlichkeitsanalyse basierender robuster Detektionsfilter. *Automatisierungstechnik* 38 (1990) 8, Oldenbourg Verlag, München, 1990, S. 299-306
  26. Dubois, D.; Lang, J.; Prade, H.:  
Automated Reasoning Using Possibilistic Logic: Semantics, Belief Revision, and Variable Certainty Weights. *IEEE Transactions on Knowledge and Engineering*, Vol. 6, No. 1, 1994, S. 64-71
  27. Edenhofer, B.; Köster, A.:  
Die Lösung, FMEA optimal zu nutzen. *Qualität und Zuverlässigkeit QZ* 36 (1991) 12, Carl Hanser Verlag, München, 1991, S. 699-704
  28. Enderle, W.:  
Verfügbarkeitssteigerung automatisierter Montagesysteme durch selbsttätige Behebung prozeßbedingter Störungen. Dissertation an der Universität Karlsruhe, 1989
  29. Ehrlenspiel, K.:  
Auf dem Weg zur integrierten Produktentwicklung. VDI-Bericht 812, VDI-Verlag Düsseldorf, 1991
  30. Faupel, B.:  
Ein modellbasiertes Akquisitionssystem für technische Diagnosesysteme. Dissertation an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 1992
  31. Feldmann, K.:  
Verfügbarkeit von Montageanlagen steigt. *Schweizer Maschinenmarkt*, Nr. 33, 1990, S. 36-39
  32. Feldmann, K.; Abels, S.; Thim, C.:  
Simulation komplexer Montagesysteme. In: *ASIM Simulationstechnik: Fortschritte in der Simulationstechnik*. Bd. 1, Vieweg-Verlag, Braunschweig, 1990, S. 430-434
  33. Feldmann, K.; Zöllner, B.:  
Verfügbarkeit durch Diagnose. *Produktionsautomatisierung* 2 (1993) 2, Oldenbourg-Verlag, München, 1993, S. 29-32

34. Feldmann, K.; Sturm, J.; Zöllner, B.:  
Diagnosekonzept zur Qualitätssicherung an SMD-Bestückautomaten. Mikroelektronik, me Band 4 (1990) Heft 4, VDE-Verlag Berlin, Offenbach, 1990, S. 152-155
35. Feldmann, K.; Franke, J.; Zöllner, B.:  
Optimization of SMT-Systems by Computer Aided Planing, Simulation and Monitoring. Tagungsband zum IEMT 1990 – 8th International Electronic Manufacturing Technology Symposium, Stresa/Italy, 1990
36. Feldmann, K.; Koch, M.; Zöllner, B.:  
Maschinenauslegung und Prozeßoptimierung. Tagungsbericht zur Leiterplatte '92, VDI-Bericht 966, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992, S. 13-25
37. Feldmann, K.; Zöllner, B.:  
Einsatzverhalten von Bestückungsautomaten. VDI-Bildungswerk, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1993
38. Freund, E.; Siedler, T.:  
Expertenunterstützungssystem für die Roboterdiagnose. Robotersysteme 7 (1991), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1991, S. 123-132
39. Frehr, H.-U.:  
Unternehmensweite Qualitätsverbesserung. In: Masing, W.: Handbuch der Qualitätssicherung. Carl Hanser Verlag, München, 1989
40. Freymuth, B.:  
Modellgestützte Fehlerdiagnose von Industrierobotern mittels Parameterschätzung. Robotersysteme 6 (1990), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1990, S. 202-210
41. Graupner, J.:  
FMEA in der Konstruktion. In Bläsing, J. P. (fachl. Leiter): QLF Quality Management, Teil 2, gmft – Gesellschaft für Management und Technologie, Huda, München, 1989
42. Gryter, W. de (Hrsg.):  
Automatisierung und Wandel der betrieblichen Arbeitswelt. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Forschungsbericht 6, Berlin New York, 1993
43. Hansen, L. K.; Salomon, P.:  
Neural Network Ensembles. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 12, 1990
44. Härdtnr, G. M.:  
Wissensstrukturierung in Diagnoseexpertensystemen für Fertigungseinrichtungen. Dissertation an der Universität Stuttgart, Springer-Verlag, Berlin



- Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona Budapest, 1992
45. Hake, F. O.:  
Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems für automatisierte Montagezellen. Dissertation an der Universität Erlangen-Nürnberg, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1991
  46. Hawryszkiewicz, I.T.:  
Database Analysis And Design. Science Research Associates, Inc., 1984
  47. Heger, G.:  
Fehlerursachenermittlung zur Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungssystemen. VDI-Z 133 (1991) Nr. 2, VDI-Verlag Düsseldorf, 1991, S. 72-76
  48. Held, H.-J.:  
Verfügbarkeitssteigerung von Produktionseinrichtungen durch wissenschaftliche Fehleranalyse. Automatisierungstechnische Praxis atp 32 (1990) 5, Oldenbourg Verlag, München, 1990, S. 248-257
  49. Helml, H. J.:  
Ein Verfahren zur on-line Fehlererkennung und Diagnose. Dissertation an der Technischen Universität München, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona Budapest, 1992
  50. Hering, E.; Triemel, J.; Blank, H.-P. (Hrsg.):  
Qualitätssicherung für Ingenieure. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1993
  51. Herrscher, A.:  
Flexible Fertigungssysteme – Entwurf und Realisierung prozeßnaher Steuerungsfunktionen. Dissertation an der Universität Stuttgart, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1982
  52. Hessian, R.; Salter, B.; Goodwin, E.:  
Fault Tree Analysis for System Design, Development, Modification and Verification. IEEE Transactions on Reliability, Vol. 39, No. 1, 1990
  53. Hidde, A.R.; Zöllner, B.:  
Der rechnergestützte Arbeitsplatz in der flexiblen Fabrik: Zwei Beispiele aus dem Gerätebau. Feinwerktechnik und Meßtechnik F&M 98 (1990) 5, Sonderteil CAD CAM CIM, S. CA125–CA130, 1990
  54. Hidde, A.R.; Zöllner, B.:  
Rechnergestützter manueller Arbeitsplatz als Erweiterung des produkt-unabhängigen flexiblen Fabrikautomatisierungskonzepts. PKI Technische Mitteilung 2/1990, S. 103-110
  55. Hidde, A.R.; Zöllner, B.:  
Computer-aided manual work station as an extension of the product-indepen-

- dent flexible factory automation concept. Computers in Industry 16 (1991), Elsevier Science Publishers B.V., 1991, S. 225-237
56. Hidde, A.R.; Zöllner, B.:  
Computer-Aided Manual Work Station as an Extension of the Product-Independent Flexible Factory Automation Concept. Advanced Manufacturing Technologie (1992) 7, Springer-Verlag London, 1992, S. 135-143
57. Horvath, P.(Hrsg.):  
Qualitätscontrolling. Pöschel-Verlag, Stuttgart, 1991
58. Isermann, R.; Reiß, T. Wanke, P.:  
Modellgestützte Früherkennung in der spanenden Fertigung. In: Diagnoseverfahren in der Automatisierungstechnik, VDI-Berichte 854, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990, S. 57-76
59. Isermann, R.:  
Fehlerdiagnose an Werkzeugmaschinen mittels Parameterschätzmethoden. Werkstattstechnik wt, Vol. 81, 1991, S. 264-268
60. Jackson, G.A.:  
Entwurf relationaler Datenbanken. Carl Hanser Verlag, München Wien, 1989
61. Juran, J.M.:  
Planning for Quality. Verlag moderne Industrie, Landsberg, 1989
62. Kauffels, F.-J.:  
Rechnernetzwerk-Systemarchitekturen und Datenkommunikation. Reihe Informatik Band 54, Hrsg.: Böhling, K.H.; Kulisch, U.; Maurer, H., Wissenschaftsverlag, Mannheim Wien Zürich, 1991
63. Kernler, H.:  
PPS der 3. Generation. Grundlagen, Methoden, Anregungen. Hürthig Buch Verlag GmbH, Heidelberg, 1993
64. Kiratli, G.:  
Konzept und Realisierung eines wissensbasierten Systems zur Diagnose und Bedienunterstützung bei komplexen Fertigungseinrichtungen. Dissertation an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 1989
65. Koslow, B. A.; Uschakow, I. A.:  
Handbuch zur Berechnung der Zuverlässigkeit für Ingenieure. München, Wien, Carl Hanser-Verlag, 1979
66. Knolmayer, G.:  
Materialflußorientierung statt Materialbestandsoptimierung. Ein Paradig-

- mawechsel in der Theroie des Produktionsmanagements, in Baetge, J.; von Lilienstein, H. R.; Schäfer, H. (Hrsg.), Logistik - Eine Aufgabe der Unternehmenspolitik, Dunker & Humblot, Berlin, 1987, S 53ff.
67. Kolerus, J.:  
Merkmalsgewinnung zur Interpretation von Schwingungen. Diagnoseverfahren in der Automatisierungstechnik, GMA-Aussprachetag Baden-Baden, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990, S. 93-105
68. Lamszus, H.; Sanmann, H. (Hrsg.):  
Neue Technologien, Arbeitsmarkt und Berufsqualifikation, Haupt-Verlag, Bern Stuttgart, 1987
69. Lang, C.:  
Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung. Dissertation an der Technischen Universität München, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona Budapest, 1992
70. Lang, R.:  
Einsatz von Standards in der Prozeßvisualisierung. Automatisierungstechnische Praxis atp 36 (1994) 3, Oldenbourg Verlag, München, 1994, S. 20-27
71. Lattka, A.:  
Maschinenwartung und Diagnose durch Schwingungsanalyse. Qualität und Zuverlässigkeit QZ 35 (1990) 5, Carl Hanser Verlag, München, 1990, S. 295-300
72. Lockemann, P.C.; Schmidt, J. W.:  
Datenbank-Handbuch. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1987
73. Lücke, H. D.:  
Signalübertragung. Grundlagen der digitalen und analogen Nachrichtenübertragungssysteme. 5. verbesserte und überarbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1992
74. Lutz, P.:  
Leitsysteme für die rechnerintegrierte Auftragsabwicklung. iwv-Forschungsbericht Nr. 16, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1988
75. Maßberg, W.; Seifert, H.-J.:  
Fehlersuche in komplexen Produktionsanlagen. VDI-Z 133 (1991), Nr. 12, VDI-Verlag Düsseldorf, 1991
76. Maßberg, W.; Seifert, H.-J.:  
A Petrinet-based System for Monitoring, Diagnosis and Therapy of Complex Manufacturing Systems. In: Proceedings of IFAC/IMACS-Symposium on Fault Detection, Supervision and Savety for Technical Processes, Vol. 1, Baden-Baden, 1991, S. 365-370

77. Marburger, H.:  
Wissenserwerb für technische Diagnosesysteme. Qualität und Zuverlässigkeit QZ 36 (1991) 9, Carl Hanser Verlag, München, 1991, S. 553-556
78. Marchand, H.:  
Aus der Praxis der Wissensakquisition. Künstliche Intelligenz KI 4 (1990) 2, Oldenbourg Verlag, München, 1990
79. Männel, W.:  
Zum Problem der Erfassung der Ausfallkosten von Anlagen. In KRP 3 (1981) Fachgruppe 1, 1981, S. 107-116
80. Männel, W.:  
Anlagencontrolling. 2. Auflage, Verlag GAB, Lauf, 1990
81. Mayr, H.C.; Dittrich, K. R.; Lockemann, P.C.: Datenbankentwurf. in: [72], S. 481-557
82. Mertens, P.:  
Grundzüge der Wirtschaftsinformatik. 2. verbesserte Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1992
83. Metzger, P.; Hänel, U.; Luft, M.:  
Maschinen- und Anlagendiagnose – eine Aufgabe der Prozeßleittechnik. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung ZwF 86 (1991) 1, Carl Hanser Verlag, München, 1991, S. 29-32
84. Meunier, R.; Scheiterer, R.:  
Lernen von Regeln zur Fehlerdiagnose in Stromversorgungsnetzen. Künstliche Intelligenz KI 5 (1991) 1, FBO-Verlag, Baden-Baden, 1991
85. Milberg, J.; Koepfer, T.:  
Aufgaben- und Rechnerintegration – ein Gegensatz zur Schlanken Produktion? In: VDI-Bericht 990, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992, S. 1-22
86. Miller, N.:  
Untersuchung und Nachweis der Durchgängigkeit von Kommunikationssystemen für den Fertigungsbereich – Ein Beitrag zur Integration offener Bussysteme in ein hierarchieübergreifendes Kommunikationskonzept. Dissertation an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 1990
87. N.N.:  
Reference Model of Production Systems. CFT-Report 1/89, Nederlandse Philips Bedrijven, Eindhoven, 1989
88. N.N.:  
Wissensbasierte Systeme. atp-Supplement, Automatisierungstechnische Praxis atp 32 (1990) 2, Oldenbourg Verlag, München, 1990, S. WS 3 – WS 21

89. N.N.:  
Ifo – Institut für Wirtschaftsforschung, imu-Informationen, 23.3.1991
90. N.N.:  
Instandhaltung – Begriffe und Maßnahmen. DIN 31051, Hrsg. Deutscher Normenausschuß, Beuth Verlag, Berlin, 1985
91. N.N.:  
Zuverlässigkeit. DIN 40041, Hrsg. Deutscher Normenausschuß, Beuth Verlag, Berlin, 1990
92. N.N.:  
Zuverlässigkeit elektrischer Geräte. DIN 40042, Hrsg. Deutscher Normenausschuß, Beuth Verlag, Berlin, 1984
93. N.N.:  
Schnittstellen und Steuerungsverfahren für die serielle Meßdatenübermittlung. DIN 66348, Hrsg. Deutscher Normenausschuß, Beuth Verlag, Berlin, 1989
94. N.N.:  
Verfügbarkeitsgrößen. VDI-Richtlinie 4004, Blatt 4, Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1989
95. N.N.:  
Studie zum Thema Verfügbarkeit von Werkzeugmaschinen, Teil 1. VDW, Hrsg. Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V., November 1991
96. N.N.:  
Studie zum Thema Verfügbarkeit von Werkzeugmaschinen, Teil 2. VDW, Hrsg. Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V., November 1991
97. N. N.:  
Ausfalleffektanalyse. DIN 25448, Hrsg. Deutscher Normenausschuß, Beuth Verlag, Berlin, 1990
98. N. N.:  
Prozeßelemente, Systemunterlagen. Siemens AG Automatisierungstechnik, München, 1993
99. N.N.:  
Umfassende Diagnose mit Fehlerbaumsystem auf Zellenrechnerebene. VDW-Forschungsbericht 0810, Hrsg.: Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V., 1990
100. N.N.:  
Systemtechnik und systemtechnische Anwendungen. Fakultäten für Maschinenwesen, Elektrotechnik und Physik, Universität München, 1992

101. N.N.:  
Qualität systematisch sichern. productronic 10-93, Hüthig Verlag, Heidelberg, 1993, S. 48-50
102. N.N.:  
Anwendung der Simulationstechnik zur Materialflußplanung. VDI-Richtlinie 3633, Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992
103. N. N.:  
SICALIS QME, Qualitätsdaten-Management in der Elektronikfertigung. Techn. Beschreibung 8/93, Siemens AG, Produktions-Automatisierung und Logistiksysteme Elektronikindustrie, AUT 412, 8/1993
104. N. N.:  
Factory Tower. Systembeschreibung, mbp Industrie Software Gesellschaft mbH, Dortmund, 1992
105. N.N.:  
HP Interface Architect Developer's Guide. 1. Auflage, Hewlett Packard, 1990
106. Nold, S.; Isermann, R.:  
Identifiability of Process Coeffizients for Technical Failure Diagnosis. 25th IEEE Conference on Decision and Control, Athens, 1986
107. Pfeifer, T.; Faupel, B.; Chiang, K.:  
Modellbasierte Diagnoseverfahren für die Produktionstechnik. Automatisierungstechnische Praxis atp 39 (1991) 12, Oldenbourg Verlag, München, 1991, S. 439-448
108. Pfeifer, T.; Zenner, T.:  
Rechnergestützte, wissensbasierte Durchführung von Fehler-Möglichkeits- und Einflußanalysen (FMEA). Qualität und Zuverlässigkeit QZ 38 (1993) 2, Carl Hanser Verlag, München, 1993, S. 80
109. Puppe, F.:  
Diagnostik-Expertensysteme. Informatik-Spektrum (1987) 10, Springer-Verlag, Berlin, 1987, S. 293-308
110. Remmele, W.:  
Systematischer Wissenserwerb bei Expertensystemen. Siemens-Zeitschrift, Forschung und Entwicklung, Siemens AG, München Berlin, 1991
111. Renninghof, R.:  
Kurze Durchlaufzeiten oder hohe Maschinenauslastung. Fortschrittliche Betriebsführung, Industrial Engineering 36 (1987) 6, 1987, S. 266ff.
112. Richter, M. M. u.a.:  
Das MOLTKE-Buch. Springer-Verlag, Berlin, 1992

113. Rose, H.:  
Computergestützte Störungsbewältigung beim Durchlauf von Produktionsaufträgen unter besonderer Berücksichtigung wissensbasierter Elemente. Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, 1989
114. Rose, M. T.:  
The Open Book. A Practical Perspective on OSI. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990
115. Rudensteiner, E.A.; Bic, L.; Gilbert, J.P.; Yin, M.-L.:  
Set Restrictions for Semantic Groupings. IEEE Transactions on Knowledge and Engineering, Vol. 6, No. 2, 1994, S. 193-204
116. Sauer, W.:  
Ein optimaler Qualitätsregelkreis für die SMD-Bestückung. VDI Berichte 1133, VDI Verlag, Düsseldorf, 1994, S. 139-148
117. Sauer, W.; Wolter, K.-J.; Keil, M.:  
Experimentelle Bestimmung der Maschinenfähigkeit von Bestückautomaten während ihres Einsatzes. In: Flexible Produktionssysteme für innovative Elektronik, Münchner Messe- und Ausstellungsgesellschaft (Hrsg.), Productronica, München, 1993, S. 69-77
118. Scharf, P.; Spies, W.:  
Fabriksimulation – Ergebnisse einer Befragung von Anwendern. VDI-Z 132 (1990) Nr. 11, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990
119. Scheer, A. W.:  
Wirtschaftsinformatik – Informationssysteme im Industriebetrieb. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1990
120. Scheer, A. W.:  
CIM im Mittelstand. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1990
121. Scheer, A. W. (Hrsg.):  
Fertigungssteuerung. Oldenbourg Verlag, München Wien, 1991
122. Schneider, H.-J. (Hrsg.):  
Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung. 3. aktualisierte und wesentlich erweiterte Auflage, Oldenbourg Verlag, München Wien, 1991
123. Schneider, H.-J.:  
Erhöhung der Verfügbarkeit von hochautomatisierten Produktionseinrichtungen mit Hilfe der Fertigungsleittechnik. Dissertation an der Universität Karlsruhe, 1988
124. Schneider, R.; Umlauf, R.:  
Rechnerunterstützung im Instandhaltungsmanagement. Fertigungstechnik und Betrieb 40 (1990) 12, Berlin, 1990, S. 729-732

125. Schneider, H.-J.:  
Vermeidung von Systemausfällen und Sicherung der Produktqualität durch Fehlerfrühd Diagnose. *Automatisierungstechnik* at 38 (1990) 10, Oldenbourg Verlag, München, 1990, S. 377-383
126. Schnieder, E.:  
Prozeßinformatik. Einführung mit Petrinetzen. Verlag Friedr. Vieweg&Sohn, Braunschweig Wiesbaden, 1986
127. Schönherr, H.:  
Modellgestützte Verschleißdiagnose des Zerspanprozesses Drehen. Dissertation an der Universität Darmstadt, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1992
128. Schönecker, W.:  
Integrierte Diagnose in Produktionszellen. iwv-Forschungsbericht Nr. 45, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York u. a., 1992
129. Scholz, C.H.:  
Konzeption und Realisierung von Diagnosewerkzeugen auf der Basis konnektionistischer Modelle. Dissertation an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 1991
130. Schröder, J.:  
Ein modular verteiltes Diagnose-Expertensystem für die Fehlerdiagnose in lokalen Netzen. *Automatisierungstechnische Praxis* atp 32 (1990) 11, Oldenbourg Verlag, München, 1990, S. 557-565
131. Seifert, H.-J.:  
Modellgestützte Diagnose komplexer Produktionssysteme – Ein Beitrag zur Erhöhung der Verfügbarkeit kapitalintensiver Fertigungsanlagen. Dissertation an der Ruhr Universität Bochum, 1992
132. Specht, D.; Wenning, V.:  
Einsatz eines wissensbasierten Systems zur Fehlerdiagnose. *Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung Zwf* 86 (1991) 11, Carl Hanser Verlag, München, 1991, S. 536-540
133. Spur, G.:  
Rationalisierung zeitbestimmender Arbeitsprozesse. In: Milberg, J. (Hrsg.): Wettbewerbsfaktor Zeit in Produktionsunternehmen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1991
134. Spur, G.:  
Integrierte Produktentwicklung. CAD CAM CIM, Sonderteil, Carl Hanser Verlag, München, 1991
135. Storr, A.; Härtner, M.; Wiedmann, H.:  
An Expert System for Technical Diagnosis. *Industrial Applications of Artificial Intelligence*, Elsevier Science Publisher B.V., Amsterdam, 1991, S. 267-275



136. Thim, C.:  
Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflußstrukturen in der Elektronikmontage durch Simulation. Dissertation an der Universität Erlangen-Nürnberg, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1991
137. Tönshoff, H. K.; Büttner, J.:  
Wissensbasierte Diagnose in der Montage. Qualität und Zuverlässigkeit QZ 37 (1992) 3, Carl Hanser Verlag, München, 1992, S. 165-168
138. Tönshoff, H. K.; Kalender, T.; Livotov, P.:  
Statistische Modellierung des nichtlinearen Getriebeflusses auf das statistische und dynamische Roboterverhalten. VDI/VDE-Fachtagung, Intelligente Steuerung und Regelung von Robotern, 1993
139. Trautloft, R.; Lindner, U.:  
Datenbank Entwurf und Anwendung. Verlag Technik GmbH, Berlin, 1991
140. Vossloh, M.:  
Modellgestützte Früherkennung und wissenschaftlich gestützte Diagnose von Fehlern an Werkzeugmaschinen beispielhaft dargestellt an Drehmaschinen. Dissertation, Universität Darmstadt, Carl Hanser Verlag, München, 1988
141. Warnecke, H.-J.; Engeln, W.; Lehmann, H.:  
Diagnose an Robotern. Robotersysteme 6 (1990), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1990, S. 65-75
142. Warnecke, H.-J.; Hüser, M.:  
Lean Production – eine kritische Würdigung. Arbeitswissenschaften, Nr. 31, Verlag Die Wirtschaft, Berlin, 1992, S. 1-26
143. Weber, H.; Meyer, W.:  
Prozeßdiagnose durch Analyse von Schallemissionen. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung ZwF 85 (1990) 9, Carl Hanser Verlag, München, 1990, S. 473-476
144. Weck, M.; Eversheim, W.; König, W.; Pfeifer, T. (Hrsg):  
Wege zur Verkürzung der Inbetriebnahme- und Stillstandszeiten komplexer Produktionsanlagen. In: Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik. Aachener Werkzeugmaschinen Kolloquium, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990, S. 393-435
145. Weck, M.; Reuschenbach, W.; Boge, C.; Hummels, M. Mengen, D.:  
Diagnosesysteme für Maschinen und Anlagen. In Diagnoseverfahren in der Automatisierungstechnik, VDI-Berichte 854, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990, S. 21-41
146. Weck, M.; Reuschenbach, W.:  
Konzept und Realisierung eines flexiblen, modularen Überwachungs- und

- Diagnosesystems. Messen und Überwachen, Mai 1990, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990, S 48-57
147. Wendt, A.:  
Verbesserte Produkt- und Prozeßgestaltung durch Rückführung von Qualitätsdaten. VDI-Z, 135 (1993) Nr. 7, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1993, S. 42-45
148. Westkämper, E. (Hrsg.):  
Integrationspfad Qualität. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona Budapest, 1991
149. Wiedmann, H.:  
Objektorientierte Wissensrepräsentation für die modellbasierte Diagnose an Fertigungseinrichtungen. Dissertation an der Universität Stuttgart, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona Budapest, 1993
150. Wiendahl, H.-P.; Walenda, H.:  
Beurteilung des Einsatzes wissensbasierter Methoden zur Diagnose des Betriebs automatisierter Montagesysteme. Werkstatt und Betrieb 124 (1991) 8, Carl Hanser Verlag, München, 1991, S. 631-634
151. Wildemann, H.:  
Logistische Ketten - durch neue Steuerungsprinzipien optimiert. IBM Nachrichten 37 (1987) 291, 1987, S. 17ff
152. Wildemann, H.:  
Zeit als Wettbewerbsfaktor durch Just-in-Time in F&E, Produktion und Zulieferung. In: Kundennahe Produktion und Zulieferung durch Just-in-Time. 9. Just-in-Time Tagungsbericht, Sindelfingen, 1990
153. Wolter, K.-J.:  
Integrierte Qualitätssicherung in der Oberflächenmontage (SMT) der Elektronik. Tagungsband zum SMT-Kolloquium, TU Dresden, 1992
154. Wünneberg, J.; Frank, P.M.:  
Fehlerfrüherkennung für Roboter unter Verwendung dynamischer Prozeßmodelle. In: Diagnoseverfahren in der Automatisierungstechnik, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990, S. 117-130
155. Ye, N.; Zhao, B.; Salveny, G.:  
Neuronal-Networks-Aided Fault Diagnosis in Supervisory Control of Advanced Manufacturing Systems. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, No. 8, 1993, S. 200-209
156. Zehnder, C.A.:  
Informationssysteme und Datenbanken. Teubner Verlag, Stuttgart, 1987

- 
157. Zöllner, B.:  
Entwicklung eines rechnergestützten Arbeitsplatzes zum universellen Einsatz in einer teilautomatisierten Fertigung. Unveröffentlichte Studie, Universität-Gesamthochschule Siegen, 1989
158. Zöllner, B.:  
Diagnose an SMD-Bestückungslinien zur Optimierung der Auslastung. SMD-Hybrid, Dresden, 24. September 1991
159. Zöllner, B.:  
Prozeß- und Maschinendiagnose zur Optimierung der Auslastung. SMT/ASIC/HYBRID, Tutorial, 2. Juni 1992

**Abkürzungsverzeichnis**

A	Availability (Verfügbarkeit)
A	Auftretenswahrscheinlichkeit
→ A	Gewichtungsvektor
a	Gewichtsfaktor
AT	Advanced Technology
b	Gewichtsfaktor
BDE	Betriebsdatenerfassung
BEV	Bauelementeverlust
BL	Bestückleistung
Bv	Bestückversuch
c	Gewichtsfaktor
cm	Maschinenfähigkeit (capability machine)
cp	Prozeßfähigkeit (capability process)
CASE	Computer Aided Software Engineering
CCD	Charge Coupled Device
CIM	Computer Integrated Manufacturing
DB	Datenbank
DBS	Datenbanksystem
DE	Datenerfassung
DEC	Digital Equipment Corporation
DEE	Datenerfassungseinheit
DESYS	Diagnose-Expertensystemshell des ISW
DFÜ	Datenfernübertragung
DGQ	Deutsche Gesellschaft für Qualität
DIN	Deutsches Institut für Normung
DiView	Systemmodul zur Analyse von Diagnose- und Einsatzdatenprotokollen

---

DNC	Direct Numeric Control
DOE	Design of Experiments
DOS	Disk Operating System
E	Entdeckungsunwahrscheinlichkeit
F	Folgen (Auswirkung)
FAPS	Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, Universität Erlangen-Nürnberg
FBG	Flachbaugruppe
FFS	Flexibles Fertigungssystem
FFZ	Flexibles Fertigungszentrum
FIFO	First In First Out
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FQQS	Fehler-Quantifizierungs- und Qualifizierungs-System (Systemmodul)
HP	Hewlett Packard
IBM	International Business Maschine
OSF	Open Software Foundation
ISO	International Organisation for Standardization
ISW	Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Universität Stuttgart
JIT	Just in Time
KEE	Knowledge Engineering Environment
KI	Künstliche Intelligenz
LAN	Local Area Network
Lg	Losgröße
MDE	Maschinendatenerfassung
MFU	Maschinenfähigkeitsuntersuchung
MTBF	Mean Time Between Failure
MRDA	Mean Related Administrative Downtime
MRDP	Mean Related Downtime for Preventive Maintenance

---

MS	Microsoft
MTTR	Mean Time To Repair
N	Nutzungsgrad
n	Anzahl, Laufindex
NC	Numeric Control
NFS	Network File System
OSI	Open System Interconnection
OGW	Oberer Grenzwert
PC	Personal Computer
PFU	Prozeßfähigkeitsuntersuchung
PLC	Programable Logical Control
PLCC	Plastic Lead Chip Carrier
PPS	Produktions-Planungs-und Steuerungssystem
ProVi	Systemmodul zur Prozeß- und Anlagenzustandsvisualisierung
QFD	Quality Function Deployment
QFP	Quad Flat Pack
QS	Qualitätssicherung
RAM	Random Access Memory
RP	Risikopriorität
RPC	Remote Procedur Call
RPZ	Risikoprioritätszahl
s	Standardabweichung (für kleine Werte von n)
SPC	Statistic Process Control
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SQL	Structured Query Language
t	Zeit
$t_x$	Zeitpunkt
T	Toleranz
$T_A$	Ausfallzeit durch technische Fehler

---

$T_B$	Belegungszeit
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
$T_N$	Nutzungszeit
$T_O$	Ausfallzeit organisatorische Störungen
TR	Terminating Resistor
$T_W$	Ausfallzeit durch Wartung
UDP/IP	User Datagram Protocol / Internet Protocol
UGW	Unterer Grenzwert
VAX	Virtual Address Extension
$\overrightarrow{V}$	Distanzvektor
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VMS	Virtual Memory System
WAKS	Wissensakquisitionssystem (Systemmodul)
WS	Workstation
XDR	External Data Representation
XPS	Expertensystem
ZE	Zentraleinheit
$\sigma$	Standardabweichung (für große Werte von n)

## **Lebenslauf**

### **Persönliches**

Bernd Zöllner

geb. am 04. Juli 1960 in Kirchen/Sieg  
verheiratet, 2 Kinder

### **Schul Ausbildung**

1966-1970	Grundschule Sassenroth
1970-1976	Staatliche Realschule Betzdorf
1980-1981	Fachoberschule Siegen, Fachrichtung Elektrotechnik

### **Berufsausbildung**

1976-1978	Berufsausbildung zum Elektroanlageninstallateur bei der Siemens AG, Siegen
1978-1979	Berufsausbildung zum Energieanlagenelektroniker bei der Siemens AG, Siegen

### **Wehrdienst**

1981-1982	Frankenberg und Koblenz, Instandsetzung von Funk- und Fernmeldegeräten
-----------	--

### **Studium**

1982-1989	Studium der Elektrotechnik an der Universität-Gesamthochschule Siegen mit dem Schwerpunkt Automatisierungstechnik,
09/1989	Abschluß: Dipl.-Ing.

### **Berufstätigkeiten**

01/80-08/80	Facharbeiter bei der Siemens AG Köln für Fernmeldeinstallationen der Deutschen Bundespost
1984, 1986	Tätigkeiten im Bereich Steuerungstechnik bei der Baumgarten GmbH, Neunkirchen und der Klöckner-Möller GmbH, Werk Siegen-Eiserfeld



- 01/88-12/88      Werkstudent für Entwicklungsarbeiten für Produktionsprozesse und Automatisierung bei der Philips Kommunikations Industrie, Werk Siegen-Eiserfeld
- 01/89-12/89      Anstellung als Ingenieur für Produktionsprozeßentwicklung bei der Philips Kommunikations Industrie, Werk Siegen-Eiserfeld
- 01/90-06/90      Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen-Nürnberg
- 06/90-1995      Wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen-Nürnberg



# 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 Montage-systeme durch Sensorintegration und erweiterte Steuerungskonzepte**

194 Seiten, 70 Bilder. 1988. Kartoniert.

#### Band 3

Friedrich-Wilhelm Nolting

**Projektionierung 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**  
216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990. Kartoniert.

Band 11  
Herbert Fischer  
**Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitätssteigerung der rechnerintegrierten Teilefertigung**  
201 Seiten, 82 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 12  
Gerhard Kleineidam  
**CAD/CAP : Rechnergestützte Montagefeinplanung**  
203 Seiten, 107 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 13  
Frank Vollertsen  
**Pulvermetallurgische Verarbeitung eines übereutektoiden verschleißfesten Stahls**  
XIII + 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990. Kartoniert.

Band 14  
Stephan Biermann  
**Untersuchungen zur Anlagen- und Prozeßdiagnostik für das Schneiden mit CO<sub>2</sub>- Hochleistungslasern**  
VIII + 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 15  
Uwe Geißler  
**Material- und Datenfluß in einer flexiblen Blechbearbeitungszelle**  
124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 16  
Frank Oswald Hake  
**Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems für automatisierte Montagezellen**  
XIV + 166 Seiten, 77 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 17  
Herbert Reichel  
**Optimierung der Werkzeugbereitstellung durch rechnergestützte Arbeitsfolgenbestimmung**  
198 Seiten, 73 Bilder, 2 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 18  
Josef Scheller  
**Modellierung und Einsatz von Softwaresystemen für rechnergeführte Montagezellen**  
198 Seiten, 65 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 19  
Arnold vom Ende  
**Untersuchungen zum Biegeumformen mit elastischer Matrize**  
166 Seiten, 55 Bilder, 13 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 20  
Joachim Schmid  
**Beitrag zum automatisierten Bearbeiten von Keramikguß mit Industrierobotern**  
XIV + 176 Seiten, 111 Bilder, 6 Tabellen. 1991. Kartoniert.

- Band 21  
Egon Sommer  
**Multiprozessorsteuerung für kooperierende Industrieroboter in Montagezellen**  
188 Seiten, 102 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 22  
Georg Geyer  
**Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten in der Montage**  
192 Seiten, 112 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 23  
Rainer Flohr  
**Beitrag zur optimalen Verbindungstechnik in der Oberflächenmontage (SMT)**  
186 Seiten, 79 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 24  
Alfons Rief  
**Untersuchungen zur Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und -schweißen in der Rohkarosseriefertigung**  
VI + 145 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 25  
Christoph Thim  
**Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflußstrukturen in der Elektronikmontage durch Simulation**  
188 Seiten, 74 Bilder. 1992. Kartoniert.
- Band 26  
Roland Müller  
**CO<sub>2</sub> – Laserstrahlschneiden von kurzglasverstärkten Verbundwerkstoffen**  
141 Seiten, 107 Bilder, 4 Tabellen. 1992. Kartoniert.
- Band 27  
Günther Schäfer  
**Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung**  
195 Seiten, 76 Bilder. 1992. Kartoniert.
- Band 28  
Martin Hoffmann  
**Entwicklung einer CAD/CAM – Prozeßkette für die Herstellung von Blechbiegeteilen**  
149 Seiten, 89 Bilder. 1992. Kartoniert.
- Band 29  
Peter Hoffmann  
**Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und -schweißen : Prozeßführung und Systemtechnik in der 3D – Laserstrahlbearbeitung von Blechformteilen**  
186 Seiten, 92 Bilder, 10 Tabellen. 1992. Kartoniert.
- Band 30  
Olaf Schrödel  
**Flexible Werkstattsteuerung mit objektorientierten Softwarestrukturen**  
180 Seiten, 84 Bilder. 1992. Kartoniert.
- Band 31  
Hubert Reinisch  
**Planungs- und Steuerungswerkzeuge zur impliziten Geräteprogrammierung in Roboterzellen**  
XI + 212 Seiten, 112 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 32

Brigitte Bärnreuther

**Ein Beitrag zur Bewertung des Kommunikationsverhaltens  
von Automatisierungsgeräten in flexiblen Produktionszellen**

XI + 179 Seiten, 71 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 33

Joachim Hutfless

**Laserstrahlregelung und Optikdiagnostik in der Strahlführung  
einer CO<sub>2</sub>-Hochleistungslaseranlage**

175 Seiten, 70 Bilder, 17 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 34

Uwe Günzel

**Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative  
und strategische Probleme der Produktionsplanung und -steuerung**

XIV + 170 Seiten, 66 Bilder, 5 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 35

Bertram Ehmann

**Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener  
Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung**

XV + 167 Seiten, 114 Bilder. 1993. Kartoniert.

Band 36

Harald Kolléra

**Entwicklung eines benutzerorientierten Werkstattprogrammiersystems  
für das Laserstrahlschneiden**

129 Seiten, 66 Bilder, 1 Tabelle. 1993. Kartoniert.

Band 37

Stephanie Abels

**Modellierung und Optimierung von Montageanlagen  
in einem integrierten Simulationssystem**

188 Seiten, 88 Bilder. 1993. Kartoniert.

Band 38

Robert Schmidt-Hebbel

**Laserstrahlbohren durchflußbestimmender  
Durchgangslöcher**

145 Seiten, 63 Bilder, 11 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 39

Norbert Lutz

**Oberflächenfeinbearbeitung keramischer Werkstoffe mit  
XeCl-Excimerlaserstrahlung**

187 Seiten, 98 Bilder, 29 Tabellen. 1994. Kartoniert.

Band 40

Konrad Grampp

**Rechnerunterstützung bei Test und Schulung an  
Steuerungssoftware von SMD-Bestücklinien**

178 Seiten, 88 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 41

Martin Koch

**Wissensbasierte Unterstützung der Angebotsbearbeitung  
in der Investitionsgüterindustrie**

169 Seiten, 68 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 42

Armin Gropp

**Anlagen- und Prozeßdiagnostik beim Schneiden mit einem  
gepulsten Nd:YAG-Laser**

160 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 43

Werner Heckel

**Optische 3D-Konturerfassung und on-line Biege winkelmessung  
mit dem Lichtschnittverfahren**

149 Seiten, 43 Bilder, 11 Tabellen. 1995. Kartoni ert.

Band 44

Armin Rothhaupt

**Modulares Planungssystem zur Optimierung  
der Elektronikfertigung**

180 Seiten, 101 Bilder. 1995. Kartoni ert.

Band 45

Bernd Zöllner

**Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion**

195 Seiten, 74 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoni ert.