

8464403

# ISW 48

Berichte aus dem Institut für Steuerungstechnik  
der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen  
der Universität Stuttgart

---

J. SCHWAGER

## Diagnose steuerungsexterner Fehler an Fertigungseinrichtungen



Springer-Verlag  
Berlin · Heidelberg · New York · Tokyo

# Berichte aus dem Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. G. Stute †

## Erschienen:

- ISW 1:** D. Schmid, Numerische Bahnsteuerung, 89 S., 1972
- ISW 2:** H. Schwegler, Fräsbearbeitung gekrümmter Flächen, 111 S., 1972
- ISW 3:** J. Eisinger, Numerisch gesteuerte Mehrachsenfräsmaschinen, 90 S., 1972
- ISW 4:** R. Nann, Rechnersteuerung von Fertigungseinrichtungen, 125 S., 1972
- ISW 5:** G. Augsten, Zweiachsige Nachformeinrichtungen, 140 S., 1972
- ISW 6:** B. Karl, Die Automatisierung der Fertigungsvorbereitung durch NC-Programmierung, 121 S., 1972
- ISW 7:** H. Eitel, NC-Programmiersystem, 117 S., 1973
- ISW 8:** E. Knorr, Numerische Bahnsteuerung zur Erzeugung von Raumkurven auf rotationssymmetrischen Körpern, 131 S., 1973
- ISW 9:** S. Bumiller, Viskohydraulischer Vorschubantrieb, 123 S., 1974
- ISW 10:** K. Maier, Grenzregelung an Werkzeugmaschinen, 139 S., 1974
- ISW 11:** J. Waelkens, NC-Programmierung, 159 S., 1974
- ISW 12:** E. Bauer, Rechnerdirektsteuerung von Fertigungseinrichtungen, 138 S., 1975
- IWS 13:** H. König, Entwurf und Strukturtheorie von Steuerungen für Fertigungseinrichtungen, 206 S., 1976
- ISW 14:** H. Damshon, Fünfachsiges NC-Fräsen, 143 S., 1976
- ISW 15:** H. Jetter, Programmierbare Steuerungen, 141 S., 1976
- ISW 16:** H. Henning, Fünfachsiges NC-Fräsen gekrümmter Flächen, 179 S., 1976
- ISW 17:** K. Boelke, Analyse und Beurteilung von Lagesteuerungen für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, 106 S., 1977
- ISW 18:** F.-R. Götz, Regelsystem mit Modellrückkopplung für variable Streckenverstärkung, 116 S., 1977
- ISW 19:** H. Tränkle, Auswirkungen der Fehler in den Positionen der Maschinenachsen beim fünfachsiges Fräsen, 103 S., 1977
- ISW 20:** P. Stof, Untersuchungen über die Reduzierung dynamischer Bahnabweichungen bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, 118 S., 1978
- ISW 21:** R. Wilhelm, Planung und Auslegung des Materialflusses flexibler Fertigungssysteme, 158 S., 1978
- ISW 22:** N. Kappen, Entwicklung und Einsatz einer direkten digitalen Grenzregelung für eine Fräsmaschine mit CNC, 123 S., 1979
- ISW 23:** H. G. Klug, Integration automatisierter technischer Betriebsbereiche, 124 S., 1978
- ISW 24:** D. Binder, Interpolation in numerischen Bahnsteuerungen, 132 S., 1979
- ISW 25:** O. Klingler, Steuerung spanender Werkzeugmaschinen mit Hilfe von Grenzregelvorrichtungen (ACC), 124 S., 1979

- ISW 26:** L. Schenke, Auslegung einer technologisch-geometrischen Grenzregelung für die Fräsbearbeitung, 113 S., 1979
- ISW 27:** H. Wörn, Numerische Steuersysteme-Aufbau und Schnittstellen eines Mehrprozessorsteuersystems, 141 S., 1979
- ISW 28:** P. B. Osofisan, Verbesserung des Datenflusses beim fünfachsigem NC-Fräsen, 104 S., 1979
- ISW 29:** J. Berner, Verknüpfung fertigungstechnischer NC-Programmiersysteme, 101 S., 1979
- ISW 30:** K.-H. Böbel, Rechnerunterstützte Auslegung von Vorschubantrieben, 113 S., 1979
- ISW 31:** W. Dreher, NC-gerechte Beschreibung von Werkstücken in fertigungstechnisch orientierten Programmsystemen, 105 S., 1980
- ISW 32:** R. Schurr, Rechnerunterstützte Projektierung hydrostatischer Anlagen, 115 S., 1981
- ISW 33:** W. Sielaff, Fünfachsiges NC-Umfangsfräsen verwundener Regelflächen. Beitrag zur Technologie und Teileprogrammierung, 97 S., 1981
- ISW 34:** J. Hesselbach, Digitale Lageregelung an numerisch gesteuerten Fertigungseinrichtungen, 111 S., 1981
- ISW 35:** P. Fischer, Rechnerunterstützte Erstellung von Schaltplänen am Beispiel der automatischen Hydraulikplanzeichnung, 111 S., 1981
- ISW 36:** U. Ackermann, Rechnerunterstützte Auswahl elektrischer Antriebe für spanende Werkzeugmaschinen, 118 S., 1981
- ISW 37:** W. Döttling, Flexible Fertigungssysteme – Steuerung und Überwachung des Fertigungsablaufs, 105 S., 1981
- ISW 38:** J. Firnau, Flexible Fertigungssysteme – Entwicklung und Erprobung eines zentralen Steuersystems, 112 S., 1982
- ISW 39:** A. Herrscher, Flexible Fertigungssysteme – Entwurf und Realisierung prozebnaher Steuerungsfunktionen, 103 S., 1982
- ISW 40:** U. Spieth, Numerische Steuersysteme – Hardwareaufbau und Ablaufsteuerung eines Mehrprozessorsteuersystems, 115 S., 1982.
- ISW 41:** A. Schimmele, Rechnerunterstützter Entwurf von Funktionssteuerungen für Fertigungseinrichtungen, 106 S., 1982
- ISW 42:** M. Sanzenbacher, NC-gerechte Beschreibung von Werkstücken mit gekrümmten Flächen, 105 S., 1982.
- ISW 43:** W. Walter, Interaktive NC-Programmierung von Werkstücken mit gekrümmten Flächen, 112 S., 1982.
- ISW 44:** J. Huan, Bahnregelung zur Bahnerzeugung an numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, 95 S., 1982.
- ISW 45:** H. Erne, Taktile Sensorführung für Handhabungseinrichtungen – Systematik und Auslegung der Steuerungen, 111 S., 1982.
- ISW 46:** D. Plasch, Numerische Steuersysteme – Standardisierte Softwareschnittstellen in Mehrprozessor-Steuersystemen, 112 S., 1983
- ISW 47:** Z. L. Wang, NC-Programmierung – Maschinennaher Einsatz von fertigungstechnisch orientierten Programmiersystemen, 103 S., 1983
- ISW 48:** J. Schwager, Diagnose steuerungsexterner Fehler an Fertigungseinrichtungen, 121 S., 1983



Springer-Verlag  
Berlin · Heidelberg · New York · Tokyo

TP 277  
S 398

8464403

**ISW 48**

Berichte aus dem Institut für Steuerungstechnik  
der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen  
der Universität Stuttgart

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. G. Stute †



**J. SCHWAGER**

# Diagnose steuerungsexterner Fehler an Fertigungseinrichtungen



Springer-Verlag  
Berlin · Heidelberg · New York · Tokyo 1983

D 93

Mit 45 Abbildungen

ISBN 3-540-12938-3 Springer-Verlag Berlin · Heidelberg · New York · Tokyo  
ISBN 0-387-12938-3 Springer-Verlag New York · Heidelberg · Berlin · Tokyo

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

Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2 UrhG werden durch die „Verwertungsgesellschaft Wort“, München, wahrgenommen.

© Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1983  
Printed in Germany.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

2362/3020-543210

## **Geleitwort des Herausgebers**

Das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart befaßt sich mit den neuen Entwicklungen der Werkzeugmaschinen und anderen Fertigungseinrichtungen, die insbesondere durch den erhöhten Anteil der Steuerungstechnik an den Gesamtanlagen gekennzeichnet sind. Dabei stehen die numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in Programmierung, Steuerung, Konstruktion und Arbeitseinsatz sowie die vermehrte Verwendung des Digitalrechners in Konstruktion und Fertigung im Vordergrund des Interesses.

Im Rahmen dieser Buchreihe sollen in zwangloser Folge drei bis fünf Berichte pro Jahr erscheinen, in welchen über einzelne Forschungsarbeiten berichtet wird. Vorzugsweise kommen hierbei Forschungsergebnisse, Dissertationen, Vorlesungsmanuskripte und Seminararbeiten zur Veröffentlichung.

Diese Berichte sollen dem in der Praxis stehenden Ingenieur zur Weiterbildung dienen und helfen, Aufgaben auf diesem Gebiet der Steuerungstechnik zu lösen. Der Studierende kann mit diesen Berichten sein Wissen vertiefen.

Unter dem Gesichtspunkt einer schnellen und kostengünstigen Drucklegung wird auf besondere Ausstattung verzichtet und die Buchreihe im Fotodruck hergestellt.

Der Herausgeber dankt dem Springer-Verlag für Hinweise zur äußeren Gestaltung und Übernahme des Buchvertriebs.

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart.

Dem verstorbenen Institutsleiter, Herrn Professor Dr.-Ing. G. Stute, gilt mein Dank für seine wohlwollende Unterstützung, die in hohem Maße zu der Arbeit beigetragen hat. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. A. Storr, unter dessen kommissarischer Institutsleitung ich die Promotion vollenden konnte und dessen eingehende Durchsicht der Arbeit wertvolle Anregungen lieferte.

Herrn Prof. Dr.-Ing. H. J. Warnecke danke ich für seine Bereitschaft, den Mitbericht zu übernehmen.

Darüber hinaus möchte ich allen Mitarbeitern des Instituts danken, die durch Diskussionen und anregende Kritik zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Dieser Dank gilt insbesondere den Herren Dipl.-Ing. J. Fleckenstein und Dipl.-Ing. W. Renn.

Jürgen Schwager

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abkürzungsverzeichnis, Formelzeichen	8
1 <u>Einleitung</u>	10
2 <u>Analyse bestehender Verfahren zur Fehlerdiagnose</u>	12
2.1 Definitionen	12
2.2 Fehlerdiagnose an Fertigungseinrichtungen	15
2.2.1 Betrachtete Einrichtungen	15
2.2.2 Diagnose steuerungsinterner Fehler	17
2.2.3 Diagnose steuerungsexterner Fehler	19
2.3 Bewertung der bestehenden Verfahren und Zielsetzung der Arbeit	26
3 <u>Klassifizierung der Fehlerfälle</u>	29
3.1 Voraussetzungen	29
3.1.1 Abgrenzung der betrachteten Fertigungseinrichtungen	29
3.1.2 Fehlerabgrenzung	30
3.2 Steuerungsexterne Fehler bei der Abarbeitung von Schaltfunktionen	31
4 <u>Verfahren zum Aufbau von Diagnosesystemen</u>	35
4.1 Grundlagen	35
4.1.1 Anforderungen an Diagnosesysteme	35
4.1.2 Generelle Methode zum Aufbau von Diagnosesystemen	36
4.1.3 Darstellung der Steuerung von Schaltfunktionen mit Zustandsgraphen	38
4.1.4 Diagnoseaufgaben an einem Bewegungselement	42
4.2 Methoden zur Fehlererkennung und -lokalisierung	47
4.2.1 Fehlererkennung mittels Zeitüberwachung	47

4.2.1.1	Grundsätzliche Arbeitsweise	47
4.2.1.2	Mit Zeitüberwachung erkennbare Fehlerarten	49
4.2.1.3	Realisierung der Zeitüberwachung	54
4.2.2	Fehlerdiagnose mittels Erkennung unzulässiger Wertekombinationen von Gebern	55
4.2.2.1	Grundlagen	55
4.2.2.2	Darstellung der Methode anhand von Beispielen	58
4.2.2.3	Realisierung	63
4.2.3	Vergleich des Steuerungszustands mit Fehlermustern	65
4.2.3.1	Problemstellung und Lösungsprinzip	65
4.2.3.2	Bestimmung des für den Fehlerfall spezifischen Steuerungszustands	67
4.2.3.3	Fehlerlokalisierung mit Fehlerauswirkungsmatrizen	70
4.2.4	Fehlerdiagnose bei verketteten Funktionseinheiten	73
4.2.4.1	Diagnosefreundliche Steuerungsbeschreibung	73
4.2.4.2	Abgrenzung der betrachteten Fälle von Fehlerfortpflanzung	77
4.2.4.3	Diagnose mittels Zeitüberwachung und Fehlerauswirkungsmatrizen	79
4.2.5	Bewertung der verschiedenen Methoden	85
4.3	Gerätetägige Zuordnung der Diagnoseaufgaben	86
4.3.1	Gerätetechnische Anforderungen der Diagnosemethoden	86
4.3.2	Lösungsalternativen und Bewertung	87
5	<u>Generieren von Diagnoseprogrammen</u>	90
5.1	Problemstellung und Lösungsansatz	90
5.2	Algorithmen zur Generierung von Diagnoseprogrammen	92
6	<u>Realisierte Diagnosesysteme</u>	96
6.1	Diagnose an verketteten Bearbeitungszentren	96

6.1.1	Aufgabenstellung	96
6.1.2	Gerätetechnischer Aufbau des Diagnosesystems	98
6.1.3	Programmaufbau und Wirkungsweise des Diagnosesystems	102
6.1.4	Erläuterung der Leistungen und Grenzen des Diagnosesystems anhand von Fehlerbeispielen	106
6.1.5	Verwendung des Diagnoserechners zur Unterstützung der manuellen Fehlersuche	108
6.2	Untersuchungen an Maschinen in Produktionsbetrieben	111
6.2.1	Fehlerdiagnose an einer Rundtischmaschine	111
6.2.2	Integration von Diagnoseprogrammen in eine Meßwerterfassungs- und -auswerteeinheit (MEA) an einem Bearbeitungszentrum	113
7	<u>Zusammenfassung</u>	114
	Schrifttum	116

Abkürzungen

BE	Bewegungselement
CNC	numerische Steuerung auf Rechnerbasis (computerized numerical control)
d-f	dynamisch falsch
DP	Diagnoseprogramm
DR	Diagnoserechner
DVR	Datenverteilerrechner
E/A/M	Eingaben/Ausgaben/Merker
FAM	Fehlerauswirkungsmatrix
FE	Funktionseinheit
FG	Funktionsgruppe
GR	Geometrierechner
M	Maschine
n-a	nicht auslösbar
n-b	nicht beendbar
NC	numerische Steuerung (numerical control)
R	Rücksetzeingang
S	Setzeingang
s-a-0	ständig auf "0"
s-a-1	ständig auf "1"
SP	Steuerprogramm
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
TR	Technologierechner

Formelzeichen

A	Verfügbarkeit (availability)
$A_j$	Startbedingung für Bewegung in Richtung Geber $S_j$
$B_{ij}$	Bewegung von Geber $S_i$ zum Geber $S_j$
F	Fehler
g	Zahl der gerichteten Kanten in einem Istwertgraphen
$i, j, k$	Zählvariablen
$K_{ij}$	Stellglied bzw. Ausgangssignal
MTBF	mittlerer Ausfallabstand (Mean Time Between Failures)
MTRR	mittlere Reparaturdauer (Mean Time To Repair)
n	Zählvariable
$n_A$	Anzahl der Prozeßausgaben
$n_E$	Anzahl der Prozeßeingaben
$n_F$	Anzahl der betrachteten Fehler
$n_{FE}$	Anzahl der Funktionseinheiten
R	Zuverlässigkeit (reliability)
$R_i$	Zuverlässigkeit des Elements i
$R_S$	Zuverlässigkeit des Gesamtsystems
$S_i$	Geber bzw. Gebersignal
$T_1$	maximale Zeitdauer für das Verlassen der Ausgangslage
$T_2$	Zeitgrenze, Beginn des fehlerfreien Intervalls
$T_3$	Zeitgrenze, Ende des fehlerfreien Intervalls
$T_4$	oberer Grenzwert der Überwachung
$T_A$	Ausführungszeit
$O_i$	Obergangsbedingung
$v(t)$	Geschwindigkeit
v	Zahl der Verbindungslinien in einem n-Eck
$x_i$	Lage-Istwert
$x_s$	Lage-Sollwert
$Z_a$	aktueller Zustand
$Z_i$	Zustandsvariable
$\alpha, \beta, \gamma$	Fehlerfamilien
$\Delta s$	Positionungenauigkeit
$\Delta x$	Schleppabstand
$\lambda(t)$	Ausfallrate

## 1 Einleitung

Der Fehlerdiagnose wird bei der Frage nach Verbesserungen auf dem Gebiet der Fertigungstechnik in den letzten Jahren eine zunehmende Bedeutung beigemessen. Der Grund hierfür liegt in den verstärkten Anstrengungen, eine hohe Ausnutzung der kapitalintensiven Fertigungseinrichtungen zu erreichen. Eine wesentliche Voraussetzung dafür stellt die hohe Verfügbarkeit der Anlagen dar. Sie ist von den Mittelwerten der Ausfallhäufigkeit und der Ausfalldauer abhängig /1/.

Die Ausfallhäufigkeit steht in direktem Zusammenhang mit der Zuverlässigkeit, die wiederum durch Verwendung hochwertiger Materialien und eine geringe Zahl von Elementen verbessert werden kann. Im Bereich der Elektronik wurden in dieser Richtung mit dem zunehmenden Leistungsumfang eines einzelnen Bauelements Erfolge erzielt. Dagegen kann man die Zuverlässigkeit mechanischer Komponenten von Fertigungseinrichtungen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nur begrenzt steigern. Durch den im jeweiligen technologischen Prozeß gegebenen Verschleiß lassen sich Fehler nicht vollständig vermeiden. Daher hat die Verringerung der Ausfalldauer als zweite Einflußgröße auf die Verfügbarkeit einen hohen Stellenwert.

Die Ausfalldauer wird im wesentlichen von den Zeiten für die Fehlersuche und die Fehlerbehebung bestimmt. Während letztere maßgeblich durch die Wartungsfreundlichkeit der Konstruktion beeinflußt wird, ist die Fehlersuchzeit von der Sachkenntnis und Erfahrung des Servicepersonals sowie von den zur Fehlerdiagnose vorhandenen Hilfsmitteln abhängig.

Die zunehmende Komplexität der Fertigungseinrichtungen, die unter anderem durch Automatisierung der Werkzeug- und Werkstückhandhabung gekennzeichnet ist, erschwert die manuelle Fehlerdiagnose. Entsprechend ausgebildetes Personal steht nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung. Es werden daher Hilfsmittel gefordert, die auch weniger qualifiziertem Per-

sonal, z.B. dem Maschinenbediener, ein rasches Auffinden der Fehlerursachen bei Störungen ermöglichen. Angesichts der erweiterten Möglichkeiten der Rechnertechnik bei fallenden Hardwarekosten liegt es nahe, diese Hilfsmittel unter Verwendung von Rechnern zu erstellen.

Damit ergibt sich die Notwendigkeit, die Vorgehensweise bei der Fehlerdiagnose zu systematisieren und daraus Algorithmen für die Programmierung dieser Rechner abzuleiten. Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zu dieser Problemstellung liefern. Bevor die Zielsetzung genauer erläutert wird, sind zunächst die bestehenden Verfahren zur Fehlerdiagnose zu analysieren.

## 2 Analyse bestehender Verfahren zur Fehlerdiagnose

### 2.1 Definitionen

Zunächst sollen einige grundlegende Begriffe definiert werden. Außerdem wird der Bezug zu den häufig in Zusammenhang mit Fehlerdiagnose genannten Begriffen Zuverlässigkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit hergestellt.

#### Fehlerdiagnose

Dieser Oberbegriff umfaßt die Maßnahmen zur

- a) Fehlererkennung, d.h. das Überwachen auf Eintreten eines Fehlers,
- b) Fehlerlokalisierung, d.h. das Auffinden der Fehlerursache, und zur
- c) Fehleranzeige, d.h. das Mitteilen der Fehlerursache an den Bediener.

In der Literatur wird dieser Begriff nicht einheitlich verwendet. Häufig sind nur die Aufgaben a) und b) genannt /2/, teilweise bezeichnet man nur die Bestimmung der Fehlerursache als Fehlerdiagnose /3/. Auch wenn überwiegend die Anzeige der Fehlerursache nach c) betroffen ist, wird dieser Begriff verwendet /4,5/.

#### Diagnosesystem

Ein Diagnosesystem ist eine aus mehreren Komponenten bestehende Einrichtung, die alle oben genannten Diagnoseaufgaben a)...c) ausführt.

#### Fehler

Ein Fehler ist "die unzulässige Abweichung eines Merkmals" /6/, wobei unter Abweichung die Nichtübereinstimmung des Istzustands mit einem vorgegebenen Zustand verstanden wird. Die in der vorliegenden Arbeit betrachteten Fehler werden in Abschnitt 3.1.2 abgegrenzt.

#### Störung

Die Formulierung in der Norm "Aussetzen bzw. Beeinträchtigung

einer Funktion" /6/ läßt eine klare Abgrenzung zu dem Begriff "Fehler" vermissen. In der Fertigungstechnik ist eine allgemeinere Bedeutung des Begriffs "Störung" üblich (z.B. organisatorische Störung). Für die Belange dieser Arbeit kann der Begriff synonym zu "Fehler" verwendet werden.

### Zuverlässigkeit

Genormt ist eine qualitative Definition /6/ mit folgendem, vereinfacht ausgedrücktem Inhalt: Zuverlässigkeit ist die Fähigkeit einer Betrachtungseinheit, in ihren Eigenschaften den gestellten Anforderungen zu genügen. Für Zuverlässigkeitsberechnungen wird dagegen eine quantitative Definition verwendet /7/: "Ein Maß für die Zuverlässigkeit ist unter anderem die Wahrscheinlichkeit, daß ein System zufriedenstellend unter gegebenen Bedingungen für eine vorgegebene Zeitdauer arbeitet". Charakteristische Kennwerte für diese Wahrscheinlichkeit sind

- der mittlere zeitliche Abstand zwischen zwei Fehlern MTBF (Mean Time Between Failures),
- die Zahl der Fehler pro Zeiteinheit, auch als Ausfallrate  $\lambda(t)$  bezeichnet.

Unter der Voraussetzung zeitlich konstanter Ausfallrate (d.h. ohne Unterscheidung von evtl. häufigeren Frühausfällen und Langzeitausfällen)

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.1)$$

gilt die Beziehung

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad (2.2)$$

Für die Fehlerdiagnose ist noch der folgende Zusammenhang wichtig. Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Element während einer Zeit  $t$  nicht ausfällt, ist mit der Zuverlässigkeitsfunktion  $R(t)$  gegeben, die vom Wert 1 zum Zeitpunkt  $t = 0$  bis zum Wert 0 für  $t \rightarrow \infty$  abfällt. Unter der Voraussetzung (2.1) gilt /7/:

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad (2.3)$$

Ein System aus  $n$  Elementen, bei dem der Ausfall eines Elements zum Ausfall des gesamten Systems führt, kann als Reihenschaltung der Einzelelemente interpretiert werden. Ist  $R_i$  die Zuverlässigkeit des  $i$ -ten Elements, gilt nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung für die Zuverlässigkeit  $R_S$  des Gesamtsystems

$$R_S = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.4)$$

Daraus kann man ableiten, daß ein System umso unzuverlässiger wird, je mehr in Reihe geschaltete Elemente es aufweist. Das Hinzufügen von Elementen zum Zweck der Fehlerdiagnose kann daher die Zuverlässigkeit eines Systems verringern. Dieser Gesichtspunkt ist bei der Konzeption von Diagnosesystemen zu beachten.

### Sicherheit

Sicherheit ist die Eigenschaft eines Systems, die Umgebung, d.h. Menschen und Sachwerte, nicht zu gefährden /8/. Aus dieser Definition geht der Zusammenhang zur Fehlerdiagnose nicht unmittelbar hervor. Wie Bild 2.1 zeigt, ist dieser jedoch dadurch gegeben, daß die automatische Fehlererkennung als Teil der Fehlerdiagnose auch zur Sicherheit eines Systems beiträgt.

### Verfügbarkeit

Als Verfügbarkeit wird die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, ein System zu einem vorgegebenen Zeitpunkt in einem funktionfähigen Zustand anzutreffen. Unter hier nicht näher betrachteten Voraussetzungen gilt als Maß für die Verfügbarkeit  $A$  /7/:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.5)$$

MTTR...mittlere Reparaturdauer  
(Mean Time To Repair)

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wird mit der Fehlerdiagnose das Ziel verfolgt, über einen kleinen Wert von MTTR eine hohe Verfügbarkeit zu erreichen (vgl. Bild 2.1).