

# ZUM ZUVERLÄSSIGKEITS-VERHALTEN MIKROELEKTRONISCHER GERÄTE AN ZWEI BEISPIELEN

J. KURT

VEB Kombinat Robotron, Berlin, DDR

Eingegangen am 15. September 1986

Vorgelegt von Prof. Dr. O. Petrik

## Abstract

A flexible service policy is required for micro-electronic devices due to extremely short developing periods.

The adjustment of a service technology is best interpreted and controlled by quantitative and qualitative supervision of reliability.

The attached paper introduces a simple but efficient reliability service model with examples. It can be transferred to other microelectronically controlled systems.

The examples are a type writer (small system) and a picture processing system (big system).

## Allgemeine Grundlagen

Die Analysen erfolgen aus der Service-Perspektive. Das Ziel ist, ein Gerät im Zuverlässigkeits-Optimum zu betreiben. Optimierungskriterium ist das Kostenminimum. Für den Hersteller/Entwickler (H/E) gilt Abb. 1.

Ist jedoch das Gerät auf dem Markt, so ist  $K_1 = \text{const.}$  und entfällt als Begrenzung. Um wieder ein Optimum bilden zu können, muß aus der Service-Funktion  $K_2$  ein mit den Kosten steigender Zuverlässigkeits-Anteil abgetrennt werden. Dazu geht  $K_2$  in  $K_{2;1}$  für den stochastischen Ausfall über

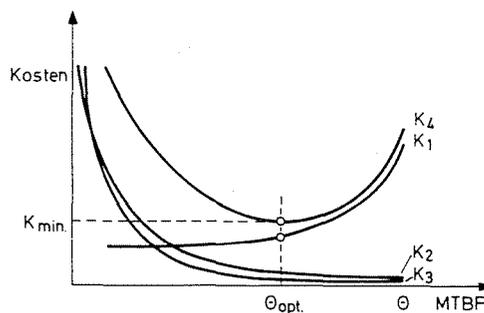


Abb. 1. Zuverlässigkeits-Modell I (nach Kurt); für den Hersteller/Entwickler geeignet

$$K_4 = K_1 + K_2 + K_3$$

$K_1$  – Hersteller-/Entwickler-Kosten;  $K_2$  – Servicekosten;  $K_3$  – Nichtverfügbarkeitskosten (enthalten sind auch Anwenderausfallkosten);  $K_2$  erfährt im Modell II eine Korrektur

und es kommt  $K_{2;2}$  hinzu, als Komponente für prophylaktische Reparaturen. Begründet werden kann das damit, daß die im Gerät potentiell enthaltene Zuverlässigkeit durch Service-Maßnahmen aktiviert wird (Abb. 2).

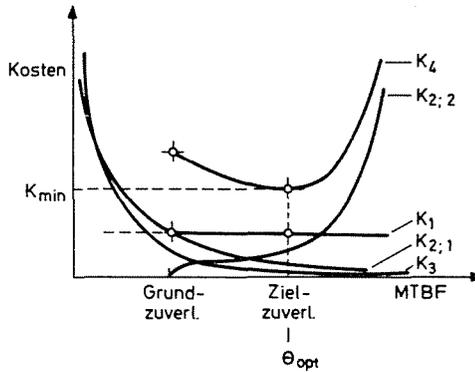


Abb. 2. Zuverlässigkeits-Modell II (nach Kurt); für den Service geeignet. Da das Gerät/System auf dem Markt ist, gilt

$$K_1 = \text{const.}$$

$$K_4 = K_1 + K_{2;1} + K_{2;2} + K_3$$

Die Servicefunktion  $K_2$  setzt sich zusammen aus

$$K_2 = K_{2;1} + K_{2;2}$$

$K_{2;1}$  – stochastischer Service (Reparatur; Havarie);  $K_{2;2}$  – prophylaktischer Service (Instandhaltungsreserve); Je höher der H/E-Aufwand ist, desto servicefreundlicher wird das Gerät und desto länger der Flachteil von  $K_{2;2}$

### Die Badewannenkurve als Arbeitsmodell

Von Interesse ist die Einlaufperiode — Abb. 3 — und hier — die Zeit  $\Delta T_G$ , bis  $\lambda(T) = \lambda_G$  (der Garantiewert mit einem Streubereich  $\cong$  Toleranzfeld) erreicht ist, und

— die Zeit  $\Delta T$ , bis  $\lambda(T) = \lambda_0 = \text{const.}$  (die normale Nutzungszeit) erreicht ist.

Die folgenden Untersuchungen sind als Einheit von Servicemodell (Abb. 2) und Einlaufperiode (Abb. 3) zu sehen.

Ihr Zusammenhang ist durch den Garantiewert  $\lambda_G^{-1} = \Theta_G$  gegeben, der vor der optimalen Zuverlässigkeit  $\Theta_{\text{opt}}$  liegt:

$$\lambda_G^{-1} < \Theta_{\text{opt}},$$

und durch die angestrebte Zuverlässigkeit:

$$\lambda_0^{-1} = \Theta_{\text{opt}} \quad \text{mit} \quad \Theta_{\text{opt}} \equiv \lambda_{\text{opt}}^{-1}.$$

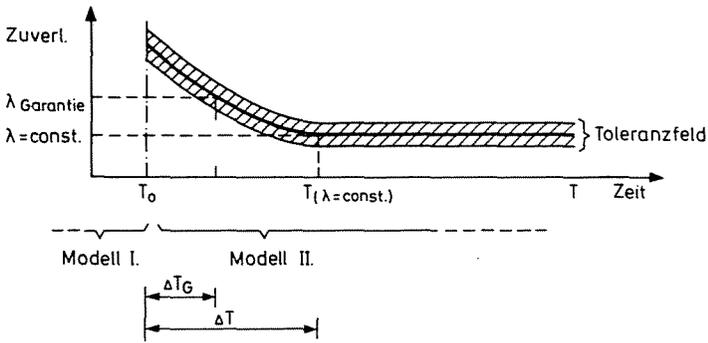


Abb. 3. Für  $T < T_0$  gilt das H/E-Optimierungs-Modell I nach Bild 1. Für  $T \geq T_0$  gilt das Service-Optimierungs-Modell II nach Bild 2. Die Untersuchungen gelten für's Modell II.  
 $\Delta T$ -Zeit, bis zu der des Ziel-Zuverlässigkeitswert  $\lambda = \text{const.}$  erreicht ist;  
 $\Delta T_G$ -Zeit, bis zu der die Garantie-Zuverlässigkeit  $\lambda_G$  erreicht ist

### Eine mikroelektronische Schreibmaschine ( $\mu$ -el. Masch.)

Die hier untersuchte Maschine war ein Novum auf dem Weltmarkt. Sie wurde aufgrund der verbesserten Produktionstechnologien und den in dieser Größenordnung nicht vorhersehbaren Preisverfall für  $\mu$ -el. Bauelemente durch leistungsstärkere aber trotzdem weit billigere Modelle abgelöst. Um aber Schlüsse auf andere Geräte (Drucker, Magnetband-, Plattenspeicher bzw. des optischen Gerätebaues, der Druckereitechnik, Medizintechnik usw.) zu ziehen, lohnt sich eine Analyse dieser eigentlich veralteten Technik einer neuen Generation, weil immer mehr Produzenten oft sehr schnell umrüsten müssen, und dazu Vergleichsquellen suchen, um kritische Situationen bzw. Trends, die sich aus den Ausfallmechanismen ergeben, quantitativ besser einschätzen zu können.

Für die Schreibmaschine werden neben der technischen — und Preis-Entwicklung auch die Vorteile der Weiterentwicklungen angeführt:

Bei den neuen Modellen der  $\mu$ -el. Schreibmaschinen kommt hinzu, daß sie Interfaces für EDVA, Massenspeicher und Datenfernverarbeitung haben, so daß sie auch als Terminal nutzbar sind.

### Fehleranalyse der $\mu$ -el. Schreibmaschine

Tabelle 1 weist die Kostenanteile der arbeitsspezifischen Baugruppen und ihre Fehleranteile nach 0,5 und 3,0 Betriebsjahren aus. Die Stichprobe umfaßt ca. 1000 Maschinen. Die MTBF  $\ominus$  wurde in Arbeitstagen angegeben (1 Jahr  $\cong$  250 Arbeitstage).

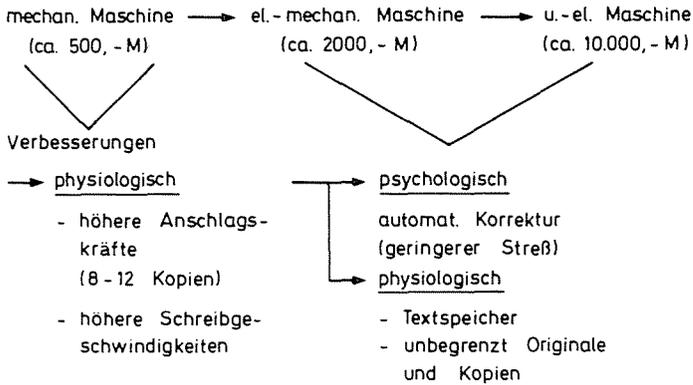


Abb. 4

Tabelle 1

Aufbau	Mech.	El.-mech.	Elektrisch	Elektron.; $\mu$ -el.	
	— Laufschienen — Rahmen — Gehäuse — Seile — Unterwagen	— 4 Schrittmotore — Druckerbaugruppe — Tastatur — Taktrad	— Stromversorgung — Schleppkabel	— Leiterplatten mit Schaltkreisen	
Anteil am Gesamtgerät (Kosten)	5%	20%	10%	65%	
Ausfallanalyse				MTBF	
Fehleranteil zum Prod.-beginn $\varnothing$ 0,5 Jahre (Garantiezeit)	4%	26%	5%	65%	80 Tage (65 bis 140 Tage)
Fehleranteil nach $\varnothing$ 3 Jahren	3%	< 12%	< 5%	> 80%	317 Tage ( $\approx$ 1,3 Jahre)
	Nach 3 Jahren Beginn der Verschleißausfälle				
	— Farbbandgabel ca. 90% aller Ausfälle — Gummifuße	— Taktrad (Beschädigung)			

- Es läßt sich ein Trend ablesen:
- . Die Fehlerzahl sinkt absolut durch Erfahrungszuwachs der Techniker, durch verbessertes Werkzeug und Abklingen der Frühausfälle.
  - . Die Fehler verschieben sich zu den  $\mu$ -el. Baugruppen.

### Zum Zuverlässigkeitstrend

Abbildung 5 zeigt das Betriebsverhalten beim Anwender über 5 Jahre. Nach 3 Quartalen (0,75 Jahre) erfolgte eine Vorhersage, wann die Zielzuverlässigkeit von 250 Arbeitstagen erreicht sein wird. Sie ergab:

1,5 Jahre bei linearer Extrapolation und  
2,5 Jahre bei parabelförmiger Extrapolation.

Interpretation zum Funktions-Verlauf:

Nach starkem Absinken der Frühausfallrate war die Durchschnittszuverlässigkeit von I/2 bis IV/2 relativ konstant. Eine Begründung ist, daß sowohl Hersteller als auch Service mit rentableren Technologien experimentierten, da immer mehr Maschinen auf den Markt kamen und abzusehen war, daß die Zahl der Fachkräfte mit  $\mu$ -el. Kenntnissen nicht ausreichen werden.

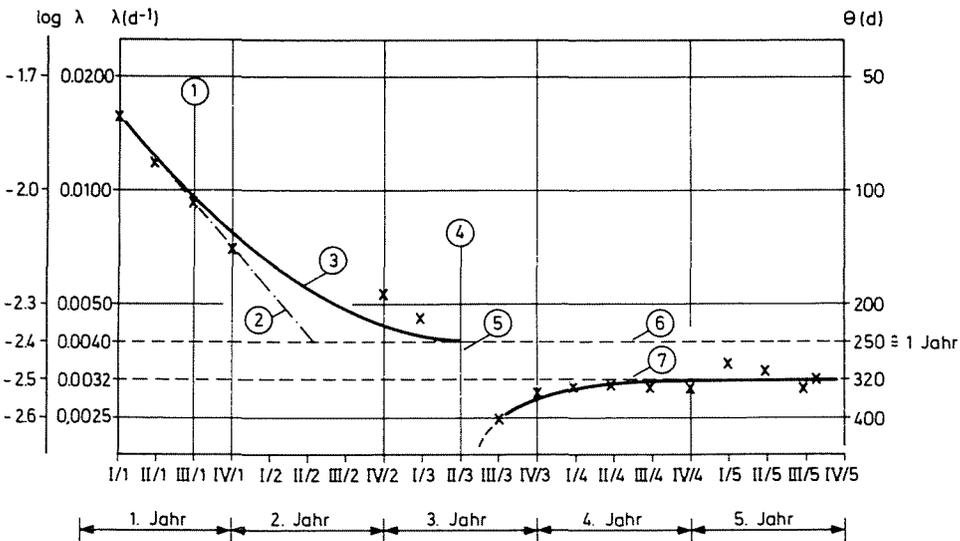


Abb. 5. Einlaufkurve einer  $\mu$ -el. Schreibmaschine. Durch Änderung der Servicetechnologie ergab sich ein Sprung im Zuverlässigkeits-Verlauf der Geräte. Das Modell bildet die Badewannenkurve nach Bild 3.

- ① – Extrapolationszeitpunkt für den Zuverlässigkeits-Verlauf;
- ② – lineare Extrapolation ( $\sim 1,5$  Jahre bis zur Zielzuverl.);
- ③ – parabelförmige Extrapolation ( $\sim 2,5$  Jahre bis zur Zielzuverl.);
- ④ – Vorhersagezeitpunkt, zu dem die Ziel-Zuverlässigkeit erreicht sein sollte;
- ⑤ – Zeitpunkt, zu dem eine neue Technologie eingeführt wurde;
- ⑥ – Zielzuverlässigkeit;
- ⑦ – erreichbare Zuverlässigkeit

Die dann zu erkennende weiter fallende Tendenz entspricht dem Vorhersagewert.

Der Sprung jedoch und die asymptotische Annäherung von unten an einen  $\sim 30\%$  besseren Ziel-Wert ist auf die Einstellung des Außendienstes (Technologie des Field-Service) zurückzuführen; (Limitierung des KFZ-Benzins aufgrund der Ölkrise).

Die asymptotische Näherung erfolgte erst nach Wiederaufnahme des Außendienstes (meist ohne KFZ).

Gründe der nicht erwarteten Zuverlässigkeits-Verbesserung:

- Da die Maschine sehr leistungsfähig ist, pflegt der Anwender die Maschine besser; z. B. gibt es Anwender, bei denen 3 bis 5 Schreibkräfte die Maschine ständig auslasten.
- Der Anwender behebt leichte Eigenfehler bei Fehlbedienung ohne Havariieruf selbst.
- Der Anwender nutzt die optische Fehleranzeige.
- Werkstatt-Techniker mit guten Kenntnissen der Fehlerursachen werden im Außendienst eingesetzt.

Schlußfolgerungen für den Service:

- Der Anwender muß nach Einarbeitung beim Hersteller eventuell nachgeschult werden (Fehlererkennung bei Fehlbedienung).
- Außendienst- und Innendienst-Techniker sind (zumindest kurzzeitig) wechselseitig einzusetzen.

### *Fehleranalyse/Reparatur im Außendienst (Information zum Field-Service)*

Da der Außendienst ohne KFZ abzuwickeln ist, interessiert, welche Fehler ohne Meßgeräte auffindbar und reparabel sind.

a) Arbeiten ohne Oszillograf

- 60% der Fehler beim Anwender bis zum Bauelement auffindbar
- 90% der Fehler beim Anwender bis zur Baugruppe auffindbar

b) Arbeiten mit speziellem Service-Prüfgerät (ohne Oszillograf)

- 80% der Fehler beim Anwender bis zum Bauelement auffindbar
- 99% der Fehler beim Anwender bis zur Baugruppe auffindbar

c) Fehlerreparatur beim Anwender

- 70% der Fehler sind beim Anwender ohne Oszillograf erfolgreich reparierbar (das gilt für Baugruppen, wie Leiterplatten, Druckerbaugruppe u. ä.)

### *Schlußfolgerungen für die Neukonstruktion*

Erfolgt eine Trennung der Speicher vom Grundgerät hat das folgende Vorteile:

- . Vereinfachter Service (Reparatur in Werkstätten; Anwendung industrieller Instandsetzungs-Methoden),
- . Nutzung kalter Redundanz (kein Geräteausfall für den Anwender),
- . Höhere Speicherkapazität,
- . Speichermedien sind archivierbar,
- . Die Maschine ist universell verwendbar (z. B. als Terminal).

Ein wichtiger Vorteil besteht auch darin, daß die störanfälligeren, teuren und großen Orgautomaten in kleinen Schreibbüros abgelöst werden.

### **Ein Bildverarbeitungssystem (BVS) — ein mikroelektronisches Groß-System**

Es wird dargelegt, daß die beiden Gruppen Service und Hersteller/Entwickler (H/E) nur gemeinsam eine optimale Zuverlässigkeit erreichen können.

#### *Allgemeines*

- Groß-Systeme bestehen überwiegend aus klassifizierten Geräten mit
- festen Zuverlässigkeits-Kenndaten und
- festen Service-Strategien

Ein Groß-System wird erst durch neuentwickelte Spezialgeräte zu einer systemspezifischen Klasse.

#### *Spezielle Bedingungen $\mu$ -el. Groß-Systeme*

##### *Kommerzielle Bedingungen*

- kleine Serien
  - räumlich weit verteilt (Europa, Asien, Afrika, Süd-Amerika)
- Daraus ergeben sich kommerzielle Forderungen:
- schnelle Amortisation, d. h.
  - schneller Anwendereinsatz, d. h.
  - extrem kurze Entwicklungszeiten für Hard- und Software.

##### *Besonderheiten/Folgen durch die Software*

- Die Hardware- und Software-Entwicklung erfolgt getrennt (der Hardware-Entwickler erstellt in der Regel nur die PSU = Prüf-System-Unterlagen).

- Der H/E entwickelt nur die Grundsoftware und einige prinzipielle Einsatzfälle (minimale Anwendersoftware).
- Spezielle Software kommt vom Anwender (u. U. entwickelt der H/E parallel mit).
- Hier liegt das größte Konstruktionsrisiko, da erst beim Anwender die realen Einsatzgrenzen erkannt werden.
- Der Erstanwender hat kaum Verluste, weil seine Software vom H/E weiterverkauft werden kann.
- OEM-Baugruppen (*Original Equipment Manufacturing*) besitzen meist eine eigene abgeschlossene Software.

### *Besonderheiten für den Service*

- PSU (als Service-Software) ist Teil des "Service-Werkzeuges".
- PSU ist daher parallel mit der Anwender-Software weiterzuentwickeln.
- Bei Anwendern von Groß-Systemen werden meist zwei Serviceverfahren nebeneinander angewandt, der
  - mobile Service (für Havarie; H/E-Service) und der
  - stationäre Service (für Bagatell-Reparaturen, Redundanz-Reparaturen, Wartung und Nutzung von Fernservice-Verfahren; Anwender-Service); siehe Beispiel Tab. 2.

**Tabelle 2**

Die Trennung des Services erfolgt in	
— Einlaufperiode (0,5—1,0 Jahr)	— Normale Nutzungszeit
60% stationär	35% stationär
40% mobil	65% mobil

- Große Anlagen benötigen voll ausgebildetes Service-Personal; eine Vorlauf-Ausbildung bietet sich durch die Schulung auf OEM-Baugruppen an.
- Der Service-Aufwand selbst ist von der Systemgröße und vom Standort abhängig.
- Der Service erkennt mit als Erster die Einsatzgrenze des Systems, daher kann durch präzise Rückmeldung eine zielgerichtete Folgeentwicklung einsetzen.

### *Ein spezielles BVS*

#### *Aufbau*

- Ein BVS besteht aus 10—40 Einzelgeräten.
- Allgemeine Geräte:

- Computer (max. 5 Stck.)
- Hard-disk (max. 6 Stck.)
- Bedienpult/Display/Tastatur (max. 5 Stck.)
- Magnetbandgerät (max. 2 Stck.)
- Magnetbandsteuergerät (max. 1 Stck.)

Spezielle Geräte:

- Bildspeicher (max. 5 Stck.)
- Grafiksteuerung (max. 4 Stck.)
- Rollkugeleinheit (max. 4 Stck.)

zusätzlich Drucker, Plotter u. ä.

Abbildung 6 zeigt ein Standardsystem (A 6473/4) mit ca. 40 Einzelgeräten.

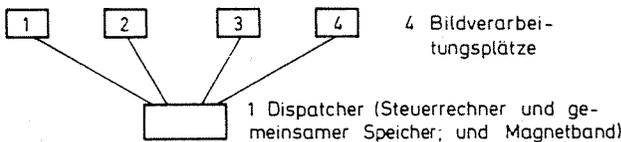


Abb. 6.

### Einsatzgebiete (Auswahl)

- Medizin (Pulmologie — Tbc; Histologie; Hämatologie; Ziel: Auswertung von Computer- und Kernspin-Tomogrammen)
- terrestrische und astronomische Forschung
- Materialforschung (Kristallografie)
- Bewegungsanalysen (Sport, Rehabilitation, z. B. von Spastikern).

### Zum Zuverlässigkeitsverhalten des BVS

Warum der Zuverlässigkeitsanstieg besonders bei umfangreichen Gerätesystemen nicht allein vom Service erbracht werden kann, läßt sich an der Badewannenkurve zeigen (Abb. 7). Abbildung 7 stellt den Einfluß vom Hersteller/Entwickler einerseits und Service andererseits auf das Einlaufverhalten dar. Um die Garantiezufverlässigkeit  $T_G = \lambda_G^{-1}$  in kürzerer Zeit zu erreichen, ist der Service um einen steileren Kurvenast (Fkt. 2;  $T_2$ ) bemüht, während der Hersteller durch ein sinkendes  $\lambda_A$  (es sinkt auf  $\lambda_{AH}$ ; Fkt. 3;  $T_3$ ) seinen Anteil bringt.

Die Zeit bis zum Garantiewert verkürzt sich weiter, wenn Hersteller und Service arbeitsteilig das Einlaufverhalten verbessern. Ausgehend von  $\lambda_{AH}$  erreicht Fkt. 4 die Garantie gerade dann bei  $T_{2,3}$ .

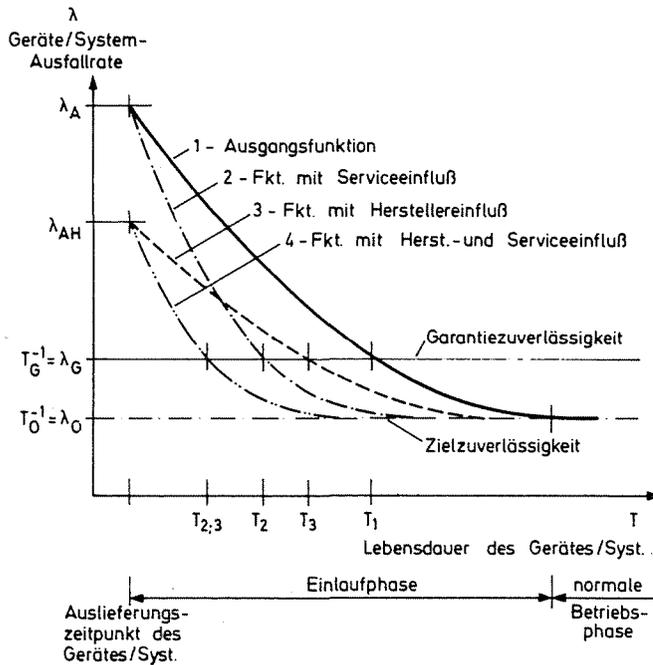


Abb. 7. Einfluß von Hersteller und Service auf die Ausfallrate eines Produktes; dargestellt ist der Anfangsbereich der Badewannenkurve bis zum Beginn der konstanten Ausfallrate.

$\lambda_A$  - Anfangsausfallrate; sie kann durch Herstellermaßnahmen vor Auslieferung auf  $\lambda_{AH}$  gesenkt werden; (Kurve 3)

$T_G = T_0 / \log T_0$  Garantiezuverlässigkeit (TGL 34990—02)

$T_0$  - Zielzuverlässigkeit; MTBF  $\ominus$

Kurve 1 - Ausfallfunktion für den Bereich sinkender Ausfallrate; die Garantiezuverlässigkeit wird zur Zeit  $T_1$  erreicht.

Kurve 2 - Verbesserung durch den Service; die Garantiezuverlässigkeit wird zur Zeit  $T_2$  erreicht.

Kurve 3 - Verbesserung durch den Hersteller; die Garantiezuverlässigkeit wird zur Zeit  $T_3$  erreicht.

Kurve 4 - Gemeinsamer Einfluß von Hersteller und Service; die Garantiezuverlässigkeit wird bereits zur Zeit  $T_{2,3}$  erreicht.

(Ztschr.: Nachrichtentechnik Elektronik Berlin, 36 (1986) 343)

### Zuverlässigkeitserhöhende Maßnahmen durch Redundanz

Es werden die wichtigsten Redundanzmaßnahmen aufgeführt, die genutzt werden, um eine hohe System-Verfügbarkeit zu gewährleisten.

#### — Struktur-

##### Redundanz:

- . 3/4 (3 von 4) Bildverarbeitungsplätze müssen intakt sein (Arbeitsplatzredundanz)
- . 4/6 (4 von 6) Plattenspeicher müssen intakt sein (Baugruppenredundanz)
- . 1/2 (1 von 2) Magnetbandgeräte müssen intakt sein

- Funktions-Redundanz:
  - . Möglichkeit der Umschaltung auf andere Speichersysteme (wechselseitig Magnetband ↔ Plattenspeicher), wenn die Informationen eines Untersystems nicht verarbeitet werden können.
- Belastungs-Redundanz:
  - . Bearbeitung verschiedener Aufgaben (z. B. im time shering), weil unterschiedliche Hardware-Wege benutzt werden.
- Informations-Redundanz:
  - . Ein Bild hat im allgemeinen eine hohe Informations-Redundanz (Farbe; viel Bildpunkte zu einem Detail); der Ausfall einzelner Speicherstellen eines ROM z. B. zieht daher keinen Totalausfall des Speichers nach sich (er wird jedoch mit Service-Software registriert, um die Aufgabenzuverlässigkeit zu überwachen).

### *Zur Service-Strategie*

Wie Abb. 2 zeigt, bildet der Service die Grundlage der Zuverlässigkeits-Sicherung.

- Groß-Systeme mit kleinen Serien verlangen meist
  - . direkten Zugriff zum Produktionsbereich (Hardware) und auch
  - . direkten Zugriff zur Softwareentwicklung
- Die Trennung des Services erfolgt nach Tab. 2.
- Aufgaben des stationären Services:
  - . prophylaktische Instandsetzung
  - . Wartung/Inspektion
  - . Kleinreparaturen (auf 1 Systemausfall entfallen zusätzlich 5 bis 10 Kleinreparaturen)
  - . Fehlereinkreisung (mit Soft- und Hardwaremitteln), Reparaturvorbereitungen für den mobilen Service und gezielter Havarieruf mit vermutlicher Fehlerursache
  - . Bearbeitung von Ferndiagnose-Problemen.

Wegen der vielfältigen Aufgaben sollte die in Abb. 2 eingeführte Funktion  $K_{2,2}$  mit „Instandhaltungsreserve“ bezeichnet werden.

### *Zu den Zuverlässigkeits-Tests*

Die vorgeschriebenen Klassifizierungs-Tests (> 500 h) sind sehr aufwendig, spiegeln aber die Softwarequalität nicht ausreichend wider. Es ist daher besser

- konfigurationsbezogene Tests zu fahren ( $\leq 72$  h) und zusätzlich
- anwenderbezogene Software-Tests.

Spezielle Bauformen, Spezialgeräte und Kopplungen können parallel als sequentielle Informationen verarbeitet und ausgewertet werden.

### *Neue Begriffe bei der Qualitätseinstufung*

Gesucht werden quantifizierbare Zwischenzustände für  
„intakt — ausgefallen“.

In der Literatur werden dazu folgende Begriffe angeboten:

Funktionsgüte, Funktionseffektivität, prozentuale Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit, Servicefreundlichkeit.

### **Schlußfolgerungen**

- Es ist Tatsache, daß der Anwender industrieller Geräte zusätzlich 30% (bei reinen  $\mu$ -el. Erzeugnissen) bis 200% (bei mech. mit el. und elektron. Arbeitsprinzipien) vom Verkaufswert für Serviceleistungen aufzubringen hat (über die volle Amortisationszeit gerechnet).  
Das verlangt daher nichtvernachlässigbare F/E-Leistungen für Serviceprobleme.
- Der Service hat bei eigenen Forschungs-/Entwicklungs-Leistungen
  - . industrielle Instandhaltungsmethoden anzustreben und
  - . Anwenderbedingungen (Einsatzfälle) zu berücksichtigen.
- Ein allgemeines Problem ist, daß dem Service
  - . verbesserte/tragbare Meß- und Prüfgeräte zur Verfügung zu stellen sind (z. B. Logikanalysatoren, Speicheroszillografen), und daß
  - . ausreichende Service-Software zur Verfügung steht. (1)
- Die Leistungsfähigkeit  $\mu$ -el. Systeme demonstriert am besten die  $\mu$ -el. Schreibmaschine; sie wurde von den Anwendern angenommen und erreichte trotz ungünstigerer Service-Technologie erhöhte Zuverlässigkeitswerte.  
D. h., daß Aufklärungsarbeit mit dem Anwender notwendig ist.
- Das BVS — als Großsystem besteht eigentlich nur aus gekoppelten Kleingeräten der Größenordnung  $\mu$ -el. Schreibmaschinen. Beiden gemeinsam sind Schnittstellen, über die man Zugriff zur Gerätelektronik hat. Nur über sie ist eine rentable Fehlersuche möglich.  
D. h., daß der H/E gemeinsam mit dem Service und Anwender rentablere Service-Technologien erarbeiten muß.

## **Zusammenfassung**

Die extrem kurzen Entwicklungszeiten für mikroelektronische Geräte verlangen eine flexible Service-Politik.

Die Anpassung der Service-Technologie ist aus besten durch Quantitative und Qualitative Zuverlässigkeits-Überwachung interpretierbar und steuerbar.

In diesen Unterlage wird ein einfaches aber wirksames Zuverlässigkeits-Service-Modell (-Konzept/an Beispielen vorgestellt). Es ist auf andere mikroelektronisch gesteuerte Systeme service-technologisch übertragbar

Dr. Jürgen KURT    Robotron Vertrieb Berlin  
DDR-1086 Mohren str. 82