

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	77 (1986)
<b>Heft:</b>	7
<b>Artikel:</b>	Zuverlässigkeitssicherung technischer Systeme : Teil 2 : Methoden
<b>Autor:</b>	Birolini, A.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-904183">https://doi.org/10.5169/seals-904183</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 26.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Zuverlässigkeitssicherung technischer Systeme

## Teil 2: Methoden

A. Birolini

**Zu den Aktivitäten, die zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit technischer Systeme nötig sind, gehören die Festlegung der Ziele, die Durchführung von Analysen und Prüfungen, das Berücksichtigen von Entwicklungs- und Konstruktionsrichtlinien, die Durchführung von Entwurfsüberprüfungen und die Hebung der Zuverlässigkeit in der Fertigungs- und Nutzungsphase. Dieser Aufsatz zeigt die Möglichkeiten und Grenzen der verwendeten Methoden und berücksichtigt den Stand in der Industrie sowie die Forschungsschwerpunkte auf diesem Gebiet.**

**Aux activités liées à l’assurance de la fiabilité d’un système technique appartiennent la définition des buts ainsi que la réalisation d’analyses, d’essais, de règles de construction, de revues de la configuration et de moyens d’amélioration de la fiabilité. Cet article montre les possibilités et les limites des méthodes utilisées. La situation dans l’industrie ainsi que les axes de recherche dans ce domaine sont discutés.**

### Adresse des Autors

Prof. Dr. A. Birolini, Institut für Elektronik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

## 1. Zuverlässigkeitsanalysen

Zuverlässigkeitsanalysen dienen in erster Linie der rechtzeitigen Erkennung und Beseitigung von Schwachstellen sowie der Durchführung von Vergleichsstudien. Sie liefern den Wert der vorausgesagten Zuverlässigkeit, das heißt jener Zuverlässigkeit, die anhand der Struktur der Betrachtungseinheit und der Zuverlässigkeit ihrer Elemente rechnerisch bestimmt werden kann [1; 2]. Wegen der Vereinfachungen beim Erstellen der Modelle und der Unsicherheit der verwendeten Daten (Ausfallrate der Bauteile) kann die vorausgesagte Zuverlässigkeit lediglich eine Schätzung der wahren Zuverlässigkeit darstellen; die letztere kann nur mit Hilfe von Zuverlässigkeitsprüfungen ermittelt werden. Bezogen auf die Ausfallrate eines komplexen Gerätes können mit der nötigen Erfahrung kleine Abweichungen zwischen der vorausgesagten und der wahren Zuverlässigkeit erreicht werden (etwa Faktor 2). Im Rahmen von Vergleichsstudien spielt die absolute Genauigkeit keine so grosse Rolle, weil man an relativen Werten verschiedener Konzepte interessiert ist.

Die Berechnung der vorausgesagten Zuverlässigkeit erfolgt nach folgender Prozedur:

1. Definition der geforderten Funktion und der dazugehörigen Umweltbedingungen,
2. Aufstellung des Zuverlässigkeitsblockdiagrammes (ZBD),
3. Bestimmung der Arbeitsbedingungen jedes Elementes im ZBD,
4. Ermittlung der Ausfallrate jedes Elementes im ZBD,
5. Berechnung der Zuverlässigkeitsfunktion jedes Elementes im ZBD,
6. Berechnung der Zuverlässigkeitsfunktion der Betrachtungseinheit,
7. Behebung der Schwachstellen und Wiederholung der vorangehenden Punkte, falls die Zuverlässigkeitsziele nicht erreicht worden sind.

Bevor diese Prozedur auf ein einfaches Beispiel angewendet wird, sollen einige allgemeine Betrachtungen zum Zuverlässigkeitsblockdiagramm und zur Bestimmung der Ausfallrate elektronischer Bauteile angestellt werden.

Das Zuverlässigkeitsblockdiagramm gibt Antwort auf die Frage, welche Elemente zur Erfüllung der geforderten Funktion funktionieren müssen und welche ausfallen dürfen (Redundanz). Für die Gestaltung des Zuverlässigkeitsblockdiagramms wird die Betrachtungseinheit in Elemente unterteilt, die eine klar beschriebene Aufgabe erfüllen. Die Elemente werden dann derart zu einem Blockdiagramm zusammengefügt, dass notwendige funktionserfüllende Elemente in Serie, redundante Elemente in Parallelschaltung erscheinen. Für die Aufstellung des Zuverlässigkeitsblockdiagramms müssen für jedes Element nur zwei Zustände (gut/ausgefallen) und nur eine Ausfallart (zum Beispiel Kurzschluss oder Unterbrechung) angenommen werden. Die Tabelle I fasst die typischen Strukturen von Zuverlässigkeitsblockdiagrammen zusammen [2]. Sie enthält auch die Formeln zur Berechnung der entsprechenden Zuverlässigkeiten für den Fall einer nichtreparierbaren Betrachtungseinheit mit heißer Redundanz<sup>1</sup> und unabhängigen Elementen.

Die Ausfallrate eines neuen Bauteils kann nur experimentell ermittelt werden. Für etablierte Bauteile liegen entsprechende Werte in speziellen Ausfallratenkatalogen vor. Zwei der wichtigsten Kataloge für elektronische und

<sup>1</sup> In den Anwendungen wird zwischen heißer (aktiver, paralleler), warmer (leicht belasteter) und kalter (stand-by, unbelasteter) Redundanz unterschieden. Bezogen auf die Ausfallrate ( $\lambda$  im Arbeitszustand und  $\lambda_r$  im Reservezustand) gilt für die drei Redundanzarten  $\lambda_r = \lambda, \lambda_r < \lambda$  und  $\lambda_r = 0$ .

Zuverlässigkeitssblockdiagramm	Zuverlässigkeitssfunktion ( $R_B = R_B(t)$ , $R_i = R_i(t)$ )	Bemerkungen
	$R_B = R_i$	Einzelement für konstante Ausfallrate $\lambda(t) = \lambda$ gilt $R_i(t) = e^{-\lambda t}$
	$R_B = \prod_{i=1}^n R_i$	Serienmodell $\lambda_B(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$
	$R_B = R_1 + R_2 - R_1 R_2$	Redundanz 1 aus 2 für $R_1(t) = R_2(t) = e^{-\lambda t}$ gilt $R_B(t) = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}$
	$R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$ $R_B = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} R^i (1-R)^{n-i}$	Redundanz k aus n für $k = 1$ gilt $R_B = 1 - (1-R)^n$
	$R_B = (R_1 R_2 R_3 + R_4 R_5 - R_1 R_2 R_3 R_4 R_5) R_6 R_7$	Serien-/Parallelstruktur
	$R_1 = R_2 = R_3 = R$ $R_B = (3R^2 - 2R^3) R_V$	Majoritäts-Redundanz (allg. Fall $n+1$ aus $2n+1$ )
	$R_B = R_5 (R_1 + R_2 - R_1 R_2) (R_3 + R_4 - R_3 R_4) + (1 - R_5) (R_1 R_3 + R_2 R_4 - R_1 R_2 R_3 R_4)$	Brückenschaltung mit Zweiwegverbindung
	$R_B = R_4 [R_2 + R_1 (R_3 + R_5 - R_3 R_5) - R_1 R_2 (R_3 + R_5 - R_3 R_5)] + (1 - R_4) R_1 R_3$	Brückenschaltung mit gerichteter Verbindung
	$R_B = R_2 R_1 (R_4 + R_5 - R_4 R_5) + (1 - R_2) R_1 R_3 R_5$	das Element $E_2$ erscheint zweimal im Zuverlässigkeitssblockdiagramm

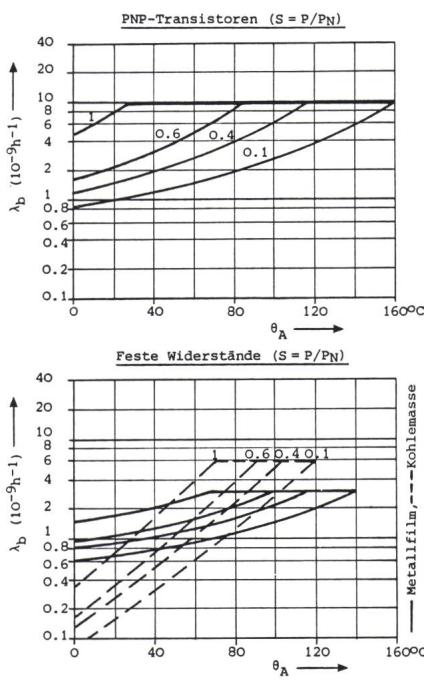
elektromechanische Bauteile sind das MIL-HDBK-217 und der CNET-Ausfallratenkatalog [3; 4]. Für die Berechnung der vorausgesagten Zuverlässigkeit werden die Ausfallraten anhand solcher Ausfallratenkataloge bestimmt. Dabei geht man von den Gleichungen [3]

$$\lambda = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_A \quad (1)$$

für diskrete Bauteile, und

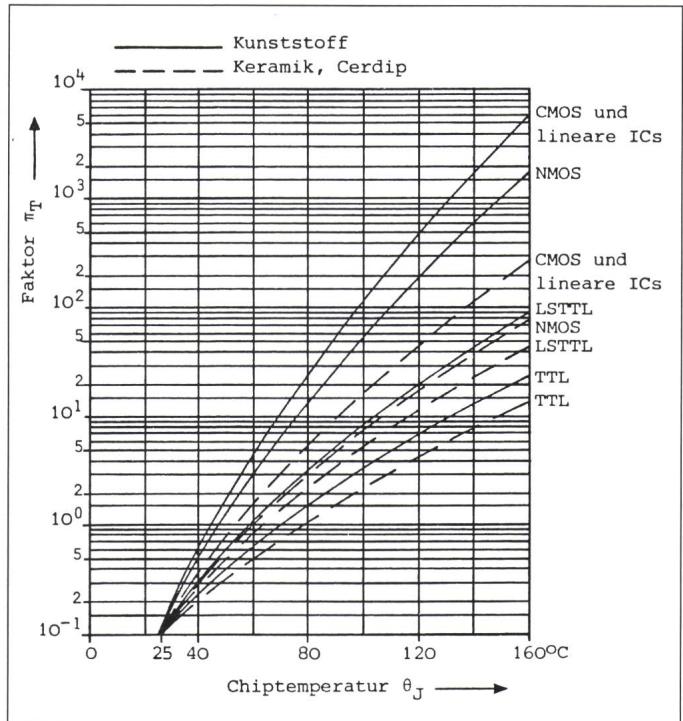
$$\lambda = \pi_Q [C_1 \pi_T \pi_V \pi_{PT} + (C_2 + C_3) \pi_E] \pi_L \quad (2)$$

für ICs aus. Die Basisausfallrate  $\lambda_b$  berücksichtigt die Umgebungstemperatur  $\theta_A$  und die elektrische Belastung  $S$ ,  $\pi_E$  die Umweltbedingungen,  $\pi_Q$  die Fertigungsqualität und die Vorbehandlung,  $\pi_A$  die Bauteileigenschaften und die Anwendung,  $C_1$  und  $C_2$  die Komplexität,  $C_3$  die Anzahl Anschlüsse (Pins) und den Gehäusetyp,  $\pi_T$  die Chiptemperatur  $\theta_J$  und die Technologie,  $\pi_V$  die Spannungsbelastung (CMOS),  $\pi_{PT}$  die Programmierungsart (ROM, PROM usw.) und  $\pi_L$  die Reife des Herstellungsprozesses. Der Wert von  $\lambda$  liegt zwischen etwa  $10^{-9} \text{ h}^{-1}$  für einfache passive Bauteile und  $10^{-6} \text{ h}^{-1}$  für komplexe VLSI-ICs. Als Beispiel zeigen die Figuren 1 und 2 den Verlauf von  $\lambda_b$  für einige typische diskrete Bauteile sowie den Verlauf des Faktors  $\pi_T$  für ICs [2; 3].



**Fig. 1 Basisausfallrate  $\lambda_b$  als Funktion der Umgebungstemperatur  $\theta_A$  (MIL-HDBK-217)**  
Belastungsfaktor  $S$  als Parameter mit den Werten 0,1; 0,4; 0,6; 1.

**Fig. 2**  
**Zusammenhang**  
**zwischen dem Faktor  $\pi_T$**   
**und der Chiptemperatur**  
 **$\theta_J$  für ICs**  
**(MIL-HDBK-217)**



Als Beispiel für die Berechnung der vorausgesagten Zuverlässigkeit sei ein elektronischer Schalter gemäss Figur 3 betrachtet:

- = 25 °C für die Diode und  $\theta_A$  = 40 °C für die übrigen Bauteile.

  2. Da alle Elemente an der Erfüllung der geforderten Funktion beteiligt sind, besteht das Zuverlässigkeitsschaltungsblockdiagramm aus der Serenschaltung der fünf Elemente  $E_1$  bis  $E_5$ . Dabei stellt  $E_5$  die Leiterplatte samt Lötstellen dar.
  3. Der Belastungsfaktor der einzelnen Elemente lässt sich anhand der Schaltung bestimmen. Wenn die Diode nicht leuchtet, wird ein Belastungsfaktor von 0,1 für alle Elemente angenommen. Wenn die Diode leuchtet, ist der Belastungsfaktor etwa 0,2 für die Diode und etwa 0,1 für alle anderen Elemente.

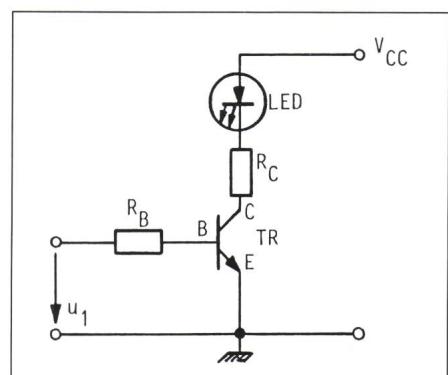
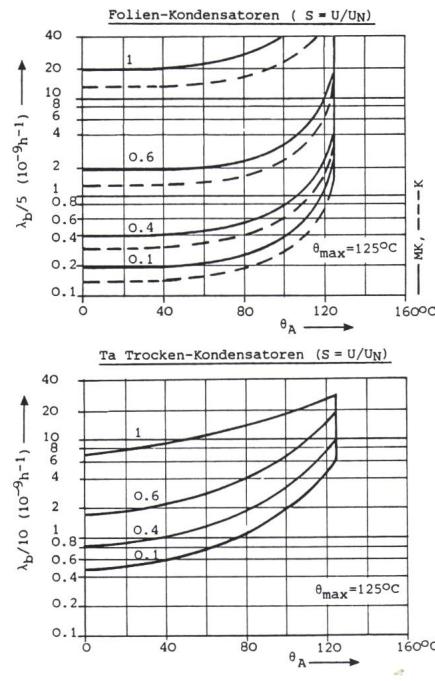


Fig. 3 Elektronischer Schalter mit einem bipolaren Transistor

Elemente:  $E_1 \triangleq LED$ ,  $E_2 \triangleq R_C$ ,  $E_3 \triangleq R_B$ ,  $E_4 \triangleq TR$   
 $E_5 \triangleq$  Leiterplatte und Lötstellen

4. Die Berechnung der Ausfallrate mit Hilfe von (1) und den Angaben aus MIL-HDBK-217 liefert für ein Qualitätsniveau der tieferen MIL-Klasse:  $\lambda_1 = 5 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ ,  $\lambda_2 = \lambda_3 = 1 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ ,  $\lambda_4 = 6 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ ,  $\lambda_5 = 2 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ .
5. Aus den obigen Resultaten lässt sich die Zuverlässigkeitssfunktion jeden Elementes angeben. Da die Ausfallrate konstant ist, gilt  $R_i(t) = e^{-\lambda_i t}$ .
6. Die vorausgesagte Zuverlässigkeit der Schaltung kann nun mit Hilfe der Tabelle I (Serienmodell) berechnet werden. Für die Ausfallrate erhält man

$$\lambda_B = \sum_{i=1}^5 \lambda_i = 15 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1} \quad (3)$$

und für die Zuverlässigkeit unter der Voraussetzung von  $t = 10$  Betriebsjahren

$$R_B(t) = e^{-\lambda_B t} = 0,999 \quad (4)$$

Der Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeiten beträgt

$$MTBF_B = 1/\lambda_B = 67 \cdot 10^6 \text{ h} \quad (5)$$

7. Die Untersuchung der Schwachstellen könnte für einen kritischen Fall (Sicherheitsüberlegungen) zum Schluss führen, dass für den Transistor eine Redundanz notwendig ist. Für den konkreten Einbau dieser Rendundanz müsste man die Ausfallart des Transistors berücksichtigen (etwa 70% Kurzschluss). Für die Zuverlässigkeitssfunktion würde man erhalten

$$R_B(t) = e^{-10^{-8}t} [2e^{-6 \cdot 10^{-9}t} - e^{-12 \cdot 10^{-9}t}] \quad (6)$$

$$\approx e^{-10^{-8}t} \text{ für } t \leq 10^6 \text{ h}$$

Der Transistor würde damit die Zuverlässigkeit der Schaltung nicht mehr beeinflussen. Dies setzt jedoch die Ausfallart der Transistoren als bekannt voraus. Würden nämlich die Transistoren wegen einer Unterbrechung und nicht wegen eines Kurzschlusses, wie vorgesehen, ausfallen, dann wären sie für die Berechnung der Zuverlässigkeit als in Serie und nicht als parallel (in Redundanz) zu betrachten.

Die Berechnung der vorausgesagten Zuverlässigkeit ist ein wichtiger Schritt bei den Zuverlässigkeitssanalysen.

Ebenso wichtig ist aber auch die Analyse der Auswirkungen von Ausfällen. Auf diesen Punkt wird im nächsten Abschnitt eingegangen. Zu den Analysen der Zuverlässigkeit und der Ausfälle kommt dann noch die Berücksichtigung von Entwicklungs- und Konstruktionsrichtlinien, welche die Unterlastung, die Kühlung, die elektromagnetische Verträglichkeit, die Anwendungsregeln für Bauteile, die Auslegungsregeln für Leiterplatten sowie die Regeln für Lagerung, Transport, Montage, Löten und Prüfung betreffen [1; 2; 5; 7].

Viele der in diesem Abschnitt dargestellten Methoden lassen sich unmittelbar auf mechanische Betrachtungseinheiten übertragen. In vielen Fällen müssen dann aber auch sogenannte Belastungs- und Festigkeitsanalysen durchgeführt werden [1; 2].

## 2. Sicherheitsanalysen

Zur Ausfallratenanalyse (vorausgesagte Zuverlässigkeit) kommt für die kritischen Elemente einer Betrachtungseinheit stets auch eine Ausfallartenanalyse hinzu. Diese wird mit FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) bzw. mit FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) bezeichnet und besteht in der systematischen Untersuchung der möglichen Ausfälle bezüglich ihrer Auswirkung auf die Funktionstüchtigkeit und auf die Sicherheit des betreffenden Elementes und der von diesem beeinflussten Elemente [1; 2; 6; 8; 9]. Die Untersuchung berücksichtigt die verschiedenen Ausfallarten und Ausfallursachen. Sie ermöglicht die Bestimmung der potentiellen Gefahren und damit die Analyse der Vorfälle zur Beseitigung bzw. zur Milderung ihrer Auswirkung oder zur Verkleinerung ihrer Auftrittswahrscheinlichkeit. Bei der FMEA/FMECA werden oft nicht nur Ausfälle, sondern auch Fehler und Defekte berücksichtigt. Die Abkürzung FMEA steht dann für Fault Modes and Effects Analysis.

Eine FMEA/FMECA wird vom Entwicklungsingenieur in Zusammenarbeit mit einem Zuverlässigkeitsspezialisten bottom-up durchgeführt. In der Regel beschränkt man sich auf die kritischen Elemente. Die Prozedur ist in Tabelle II angegeben [2]. Für die Untersuchung mechanischer Betrachtungseinheiten stellt die FMEA/FMECA eines der wichtigsten Analysewerkzeuge dar.

Neben der FMEA/FMECA gibt es auch die Fault Tree Analysis (FTA), welche eine systematische Untersuchung der Auswirkung von Ausfällen und Fehlern erlaubt [1; 2; 6]. Dabei geht man top-down vom unerwünschten Ereignis (top event) aus und setzt es mit UND- bzw. ODER-Verknüpfungen von internen Ausfällen oder auch von externen Einflüssen zusammen. Ein Vorteil der FTA ist, dass sie auch Situationen behandeln kann, in welchen das unerwünschte Ereignis auf Ebene der Betrachtungseinheit durch das Zusammenwirken mehrerer Ausfälle oder Fehler zustande kommt. Sie ist aber weniger systematisch als die FMEA/FMECA und gibt weniger Gewähr, dass alle Ausfall- bzw. Fehlerarten berücksichtigt worden sind. Die Erfahrung zeigt, dass die FMEA/FMECA und die FTA sich gegenseitig ergänzen.

## 3. Instandhaltbarkeitsanalysen

Die Instandhaltbarkeit technischer Systeme beeinflusst wesentlich deren Verfügbarkeit und, falls redundante Teile ohne Betriebsunterbrechung repariert werden können, auch deren Zuverlässigkeit. Sie stellt damit einen wichtigen Parameter bei der Optimierung der Lebenslaufkosten dar. Wirksame Massnahmen zur Erreichung kurzer Instandhaltungszeiten sind die Modularisierung, der Einbau von Selbstprüfungen zur raschen Ausfallkalorisierung und eine durchdachte logistische Unterstützung. Randbedingungen bezüglich Standardisierung, Platzbedarf, Kosten usw. sowie die grosse Vielfalt der Ausfallarten bei Geräten und Anlagen zwingen aber oft zu Kompromisslösungen, die projektspezifisch gefunden werden müssen. Für komplexe technische Systeme erfolgt dies durch die Aufstellung und Realisierung eines Instandhaltungskonzepts. Zu einem solchen Konzept gehören insbesondere die Aspekte der Ausfallerkennung und der Ausfallkalorisierung, der Strukturierung des Systems in Ersatzteilen (Funktions- und Konstruktionseinheiten, welche bei der Reparatur auf Systemebene als Ganzes ausgetauscht werden) und der logistischen Unterstützung. Wichtig ist auch die Festlegung und die Einhaltung geeigneter Entwicklungs- und Konstruktionsrichtlinien [1; 2; 5; 7]. Von einem guten Konzept für die Erkennung und die Lokalisierung von Ausfällen muss

1. Laufende *Numerierung* des Schritts.
2. *Bezeichnung* des betreffenden Elements (z.B. Transistor, Speisung, Ventile usw.) und *Kurzbeschreibung* seiner Funktion. Wenn möglich Referenzangabe zum Zuverlässigkeitssblockdiagramm.
3. Annahme einer möglichen *Ausfallart*. (Dabei ist oft zu berücksichtigen, in welcher Betriebsphase einer Mission sich die Betrachtungseinheit befindet, denn ein Ausfall oder ein Fehler in einer früheren Betriebsphase kann einen Einfluß auf die gerade untersuchte Betriebsphase haben.)
4. Kurzbeschreibung der möglichen *Ursachen* für die in (3) angenommene Ausfallart. Die Identifikation der Ursachen ist notwendig, um die Auftrittswahrscheinlichkeit schätzen oder berechnen zu können (9) und um Verhütungs- oder Kompensationsmaßnahmen zu untersuchen (7). Eine Ausfallart (Kurzschluß, Unterbrechung, Drift usw.) kann mehrere Ursachen haben; ferner kann es sich um einen Primär- oder um einen Folgeausfall handeln. Alle unabhängigen Ursachen müssen identifiziert und untersucht werden.
5. Beschreibung des *Symptoms*, mit welchem sich die in (3) angenommene Ausfallart manifestiert, sowie der Möglichkeiten zur Lokalisierung des Ausfalls. Ferner Kurzbeschreibung der lokalen Auswirkung des Ausfalls auf das betreffende Element und auf die Elemente, die in Beziehung mit ihm stehen (beispielsweise Input/Output).
6. Kurzbeschreibung der *Auswirkung* der in (3) angenommenen Ausfallart auf die ganze Betrachtungseinheit in bezug auf die Sicherheit und auf die Erfüllung der geforderten Funktion.
7. Kurzbeschreibung der *Vorkehrungen*, welche die Auswirkung des Ausfalls mildern, die Auftrittswahrscheinlichkeit verkleinern oder die Weiterführung der Mission bzw. der geforderten Funktion erlauben.
8. *Gewichtung* der Auswirkung der in (3) angenommenen Ausfallart auf die Sicherheit und auf die Erfüllung der geforderten Funktion der ganzen Betrachtungseinheit. Die Bewertungsziffer wird in der Regel gemäß folgender Skala festgelegt: 1 = praktisch keine Auswirkung (sicher), 2 = Teilausfall (unkritisch), 3 = Vollausfall (kritisch), 4 = überkritischer Ausfall (katastrophal). Die Bewertung erfolgt mit Ingenieurgefühl.
9. Berechnung oder Schätzung der *Auftrittswahrscheinlichkeit* der in (3) angenommenen Ausfallart unter Berücksichtigung der in (4) identifizierten Ausfallursachen. (Anstelle der Auftrittswahrscheinlichkeit kann auch die Ausfallrate angegeben werden.) Eine für Sicherheitsanalysen übliche Abstufung der Auftrittswahrscheinlichkeit ist A = häufig, B = wahrscheinlich, C = wenig wahrscheinlich, D = unwahrscheinlich, E = sehr unwahrscheinlich.
10. Zusammenfassung von Bemerkungen oder Anregungen zu den Angaben der früheren Punkte, zur Einführung von Korrekturmaßnahmen usw.

man erwarten können, dass es auch verborgene Ausfälle, das heißt Ausfälle redundanter Teile, erfasst.

Bei den Instandhaltbarkeitsanalysen begnügt man sich oft mit der Berechnung des Mittelwertes der Instandsetzungszeiten der Betrachtungseinheit  $MTTR_B$  als Funktion der Mittelwerte der ausfallfreien Arbeitszeiten  $MTTF_i$  und der Instandsetzungszeiten  $MTTR_i$  ihrer Elemente (Ersatzteile). Für ein System ohne Redundanz wird angenommen, dass jedes Element die gleiche kumulative Betriebszeit  $T$  aufweise. Ist  $T$  sehr gross, werden beim Element  $E_i$  im Mittel  $T/MTTF_i$  Ausfälle auftreten. Der Zeitaufwand für die Reparatur des Elementes  $E_i$  wird im Mittel  $MTTR_i \cdot T/MTTF_i$  betragen. Für die ganze Betrachtungseinheit wird man also im Mittel

$$\sum_{i=1}^n \frac{T}{MTTF_i}$$

Ausfälle und eine mittlere totale Reparaturzeit von

$$\sum_{i=1}^n MTTR_i \frac{T}{MTTF_i}$$

haben. Daraus kann der Mittelwert der Reparaturzeit der Betrachtungseinheit ( $MTTR_B$ ) berechnet werden zu:

$$MTTR_B = \frac{\sum_{i=1}^n MTTR_i/MTTF_i}{\sum_{i=1}^n 1/MTTF_i} \quad (7)$$

Für Betrachtungseinheiten mit Redundanz muss prinzipiell zwischen der Instandsetzungszeit und der Stillstandszeit unterschieden werden.

#### 4. Verfügbarkeitsanalysen

Ausgehend von den Verteilungsfunktionen der ausfallfreien Arbeitszeiten und der Reparaturzeiten der einzelnen Elemente sowie von der Struktur der Betrachtungseinheit (Zuverlässigkeitssblockdiagramm) können die Zuverlässigkeit im reparierbaren Falle und die Verfügbarkeit untersucht werden. Solche Analysen stützen sich auf die Theorie der stochastischen Prozesse und werden in der Regel unter Voraussetzung idealer Verhältnisse bezüglich logistischer Unterstützung und menschlicher Faktoren durchgeführt. Unter der Annahme einer konstanten

Zuverlässigkeitss-blockdiagramm	Einzel-element	Serienmodell (eine Reparaturmannschaft)	Redundanz 1 aus 2 (eine Reparaturmannschaft)
Zuverlässigkeitssfunktion ( $R_B(t) = \Pr\{\text{kein Ausfall in } 0, t\}$ )	$e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda_B t}$ mit $\lambda_B = \sum_{i=1}^n \lambda_i$	$e^{-\frac{\lambda(\lambda+\lambda_r)}{2\lambda+\lambda_r+\mu} t}$
Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeit ( $MTTF_B$ )	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda_B}$	$\frac{2\lambda+\lambda_r+\mu}{\lambda(\lambda+\lambda_r)} \approx \frac{\mu}{\lambda(\lambda+\lambda_r)}$
Punkt- und durchschnittliche Verfügbarkeit im stationären Zustand ( $PA_B$ )	$\frac{1}{1+\lambda \cdot MTTR}$	$\frac{1}{1+\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot MTTR}$	$\frac{\mu(\lambda+\lambda_r+\mu)}{(\lambda+\lambda_r)(\lambda+\mu)+\mu^2}$

Ausfallrate  $\lambda$  im Arbeitszustand bzw.  $\lambda_r$  im Reservzustand und einer konstanten Reparaturrate  $\mu = 1/MTTR$  gibt Tabelle III die Zuverlässigkeitssfunktion  $R_B(t)$ , den Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeiten  $MTTF_B$  und den stationären Wert der Punkt-Verfügbarkeit und der durchschnittlichen Verfügbarkeit  $PA_B$  für die drei ersten Modelle der Tabelle I an [2]. Setzt man in Tabelle III für  $MTTR = \infty$  bzw. für  $\mu = 0$  ein, so erhält man die  $MTTF_B$  für den nichtreparierbaren Fall. Komplexere Modelle werden in [2; 10, ..., 13] behandelt.

## 5. Zuverlässigkeitssprüfung

Zuverlässigkeitssprüfung sind notwendig, um die bei einer Betrachtungseinheit erreichte Zuverlässigkeit beurteilen zu können. Je früher damit begonnen wird, desto schneller können Schwachstellen, die in den Zuverlässigkeitssanalysen nicht zum Vorschein kamen, entdeckt und mit geringem Aufwand behoben werden. Dadurch wird ein Lernprozess ausgelöst, der zu einer gezielten Verbesserung der Zuverlässigkeit und damit zu einem seriennreifen Produkt führt. Da Zuverlässigkeitssprüfung in der Regel aufwendig sind, müssen sie soweit wie möglich mit anderen Prüfungen koordiniert werden. Die Prüfbedingungen sollen nahe bei den reellen Einsatzbedingungen liegen. Dieser Abschnitt wird sich auf die Ermittlung und den Nachweis einer  $MTBF$  beschränken.

### 5.1 Ermittlung einer $MTBF = 1/\lambda$

Die  $MTBF$  ist der Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeiten einer Be-

trachtungseinheit mit konstanter Ausfallrate  $\lambda = 1/MTBF$ . Für eine solche Betrachtungseinheit ist die Wahrscheinlichkeit für genau  $i$  Ausfälle in der kumulativen Betriebszeit  $T$  gegeben durch (Poisson-Verteilung):

$$\frac{(\lambda T)^i}{i!} e^{-\lambda T} \quad (8)$$

Wenn in  $T$  kumulativen Betriebsstunden genau  $k$  Ausfälle aufgetreten sind, so liefert

$$MTBF = T/k \quad (9)$$

eine Maximum-Likelihood-Schätzung der wahren  $MTBF^2$ . Für eine Intervallschätzung können die untere und die obere Vertrauengrenze  $MTBF_u$  und  $MTBF_o$  mit einer Aussagewahrscheinlichkeit  $\gamma$  aus Figur 4 ermittelt werden [2]. Für  $k = 0$  gilt  $MTBF_o = \infty$  und  $MTBF_u = T/\ln[1/(1-\gamma)]$ .

<sup>2</sup> Dass es sich bei (9) um eine Schätzung handelt, wird durch das  $\hat{}$  ausgedrückt.

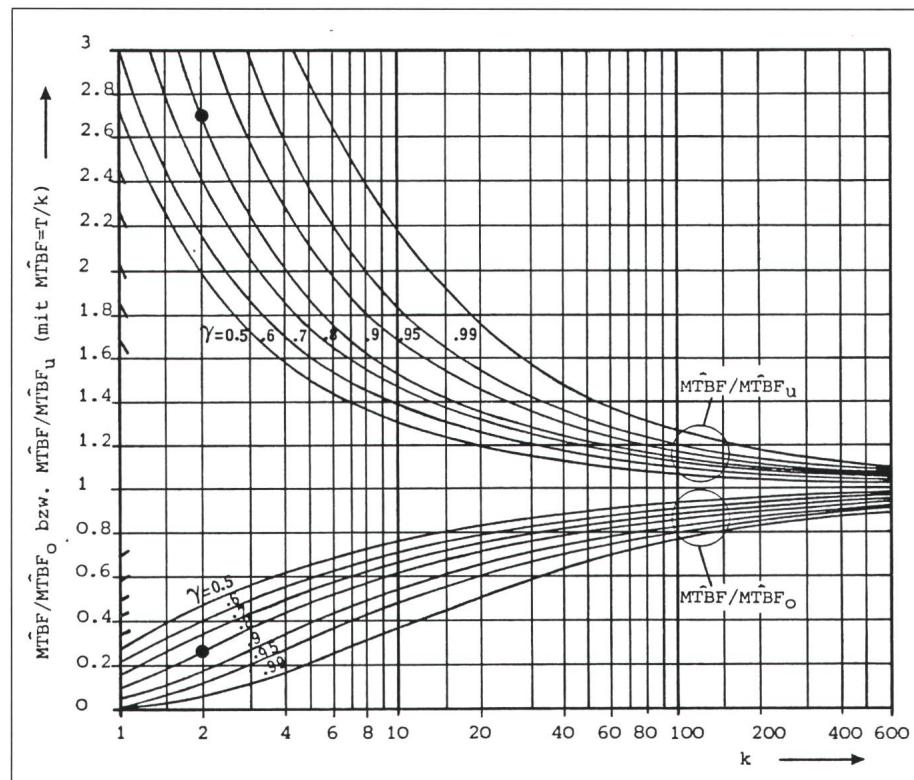


Fig. 4 Vertrauengrenzen  $MTBF_u$  und  $MTBF_o$  für eine unbekannte  $MTBF$

Beispiel:  $T = 1000 \text{ h}$ ,  $k = 2$  und  $\gamma = 0,8$  liefert das Intervall  $\left[ \frac{500 \text{ h}}{2,68}, \frac{500 \text{ h}}{0,28} \right]$

## 5.2 Nachweis einer $MTBF = 1/\lambda$

Für den Nachweis einer  $MTBF$  geht man von folgender Überlegung aus (zweiseitige Einfachprüfung):

Falls die wahre (unbekannte)  $MTBF$  grösser als  $MTBF_0$  (spezifizierte  $MTBF$ ) ist, ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Betrachtungseinheit vom Abnehmer (aufgrund positiven Prüfresultats) akzeptiert wird,  $\geq 1 - \alpha$ ; falls  $MTBF$  kleiner als  $MTBF_1$  (minimal akzeptierbare  $MTBF$ ) ist, ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Betrachtungseinheit vom Abnehmer zurückgewiesen wird,  $\geq 1 - \beta$ .

$\alpha$  ist das Lieferantenrisiko (Fehler 1. Art), das heisst die Wahrscheinlichkeit, die Betrachtungseinheit zurückzuweisen, obwohl  $MTBF > MTBF_0$  ist.  $\beta$  ist das Abnehmerrisiko (Fehler 2. Art), das heisst die Wahrscheinlichkeit, die Betrachtungseinheit zu akzeptieren, obwohl  $MTBF > MTBF_1$  ist. Die Überprüfung obiger Abmachung ist ein Problem der statistischen Hypothesenprüfung und kann mit Hilfe der zweiseitigen Einfachprüfung erfolgen. Die entsprechende Prozedur lautet:

1. Aus  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $MTBF_0$ ,  $MTBF_1$  bestimme man mit Hilfe von (10) und (11) die Prüfdauer  $T$  und die Anzahl zugelassener Ausfälle  $c$

$$\sum_{i=0}^c \frac{(T/MTBF_1)^i}{i!} e^{-T/MTBF_1} = \beta \text{ (gewünscht } \leq \beta) \quad (10)$$

$$\sum_{i=0}^c \frac{(T/MTBF_0)^i}{i!} e^{-T/MTBF_0} = 1 - \alpha \text{ (gewünscht } \geq 1 - \alpha) \quad (11)$$

2. Man führe eine Prüfung mit einer kumulativen Betriebszeit  $T$  durch und

- weise die Betrachtungseinheit zurück, falls die totale Anzahl Ausfälle  $> c$  ist,
- nehme sie an, falls die totale Anzahl Ausfälle  $\leq c$  ist.

Für die üblichen Werte von  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $MTBF_0/MTBF_1$  gibt Tabelle IV die Grössen  $c$  und  $T/MTBF_0$  an [2].

## 5.3 Zeitraffende Prüfungen

Der Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeit ( $MTBF = 1/\lambda$ ) elektronischer Bauteile liegt im Bereich von  $10^6$  bis  $10^9$  h und jener von einfachen Baugruppen im Bereich von  $10^4$  bis  $10^6$  h. Aus Kosten- und Termingründen muss deshalb für solche Betrachtungseinheiten die Möglichkeit zeitraffender Prüfungen zur Ermittlung oder zum Nachweis ihrer  $MTBF$  in Betracht gezogen werden. Für die Berechnung des Beschleunigungsfaktors sind ver-

schiedene Modelle bekannt. Oft zutreffend für ICs ist das Arrhenius-Modell. Gemäss diesem Modell gilt für den Beschleunigungsfaktor  $F$

$$F = \frac{MTBF_1}{MTBF_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \simeq e^{\frac{E_A}{k} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (12)$$

Dabei ist  $E_A$  die Aktivierungsenergie,  $k$  die Boltzmannkonstante ( $8,6 \cdot 10^{-5}$  eV/K) und  $T$  die absolute Temperatur. Die Aktivierungsenergie hängt stark von den Ausfallmechanismen ab. Globale Mittelwerte der Aktivierungsenergie für ICs können aus der Figur 2 ermittelt werden. Für diese Figur gilt nämlich  $F = 10\pi_T$ , falls  $T_1 = 273 + 25$  K vorausgesetzt wird. Damit ist der Verlauf von  $F$  bekannt, und die Aktivierungsenergien errechnen sich zu  $E_A \approx 0,4$  eV für TTL-ICs in Keramikgehäusen und zu  $E_A \approx 0,9$  eV für CMOS-ICs in Kunststoffgehäusen. Diese Werte stellen pauschale Mittelwerte dar und dürfen nicht bedenkenlos für irgendein IC irgendeines Herstellers angenommen werden.

Zugelassene Anzahl Ausfälle  $c$  und normierte Prüfdauer  $T/MTBF_0$  zum Nachweis einer  $MTBF$

Tabelle IV

	$\frac{MTBF_0}{MTBF_1} = 1.5$	$\frac{MTBF_0}{MTBF_1} = 2$
$\alpha = \beta = 0.1$	$c = 40$ $\frac{T}{MTBF_0} = 33$	$c = 14$ $\frac{T}{MTBF_0} = 10.2$
$\alpha = \beta = 0.2$	$c = 17$ $\frac{T}{MTBF_0} = 14.3$	$c = 6$ $\frac{T}{MTBF_0} = 4.6$

9. Vorbehandlung der kritischen Bauteile und Baugruppen,
10. Untersuchung von Prüf- und Vorbehandlungsstrategien im Hinblick auf die Optimierung des Prüfaufwandes und der Prüfkosten auf Systemebene.

Im folgenden wird auf die Aspekte der Vorbehandlung elektronischer Bauteile und bestückter Leiterplatten eingegangen.

Die Erfahrung zeigt, dass elektronische Bauteile oft Frühausfälle während den ersten 100 bis 3000 Betriebsstunden aufweisen. Der prozentuale Anteil schwacher Bauteile variiert stark von Bauteil zu Bauteil, von Hersteller zu Hersteller und oft auch von Los zu Los beim gleichen Hersteller. Globale Mittelwerte liegen zwischen 0,1 und 5%, punktuell können sie bis über 20% steigen. Störend in den Anwendungen ist nicht die auf das Los bezogene und in der Regel kleine Änderung der Ausfallrate, sondern die Auswirkung des Frühausfalles eines Bauteils auf Systemebene. Eine wirksame Methode zur gezielten, vorzeitigen Auslösung von Frühausfällen ist die Vorbehandlung. In der Berechnung der vorausgesagten Zuverlässigkeit erscheint die Vorbehandlung als Teil des  $\pi_Q$ -Faktors (1). Im Idealfall sollte die Vorbehandlung keinen Ausfallmechanismus auslösen oder aktivieren, der bei der vorgesehenen Bauteilanwendung nicht auftreten würde (echte Zeitraffung). Durch langjährige Erfahrungen hat sich auf dem Gebiet elektronischer Bauteile ein grosses Know-how angesammelt; auch kann man sich heute auf etablierte Standards stützen. Eine typische Sequenz gemäss MIL-STD-883 für ICs in Keramikgehäusen ist [14]:

1. Hochtemperatlagerung bei  $150^\circ\text{C}$  während 24 h,
2. 10 thermische Zyklen zwischen  $-65^\circ\text{C}$  und  $+150^\circ\text{C}$ ,

3. konstante Beschleunigung bei 30 000 g während 60 s,
4. reduzierte elektrische Prüfung,
5. Burn-in bei 125 °C während 160 h,
6. elektrische Prüfung,
7. Dichtigkeitsprüfung (Fine- und Gross-Leak),
8. externe visuelle Kontrolle.

Die Wirksamkeit der einzelnen Schritte ist sehr verschieden; bis zu 80% der Frühauftreffer werden durch das Burn-in provoziert. Auf dem Zivilsektor reduziert sich deshalb die Vorbehandlungssequenz oft auf 24 bis 48 h Burn-in bei 125 °C plus elektrische Prüfung. Eine Gegenüberstellung von Vorbehandlungssequenzen auf dem Militär- und Zivilsektor ist in [2] gegeben.

Die Vorbehandlung bestückter Leiterplatten ist im allgemeinen Fall komplex, weil auf ihnen viele verschiedene Technologien gleichzeitig vertreten sind. Aus zahlreichen Untersuchungen hat sich folgende Sequenz für eine umfassende Prüfung und Vorbehandlung bestückter Leiterplatten heraustraktalliert [2; 15]:

1. Visuelle Kontrolle und grobe elektrische Prüfung,
2. 20 thermische Zyklen zwischen -20 °C und +80 °C, mit einem Gradienten von 5 bis 10 °C/min und bei Stillstandszeiten von  $\geq 10$  min (die Speisung soll während der Kühlung ausgeschaltet werden),
3. 15 min Vibrationen (Random) bei 3 g bis 6 g (falls die Einsatzbedingungen dies erfordern),
4. 48 h Einlaufen bei normaler Betriebstemperatur mit periodischem Ein- und Ausschalten,
5. Schlussprüfung.

Das Burn-in auf Leiterplatten- und noch höherer Integrationsebene muss kritisch überprüft werden. Wegen der temperaturempfindlichen Bauteile (Elektrolytkondensatoren, optoelektronische Bauteile, Dichtungen usw.) darf die Burn-in-Temperatur in der Regel 70 bis 85 °C nicht überschreiten. Dies ist aber nur dann sinnvoll, wenn die Burn-in-Dauer entsprechend gross gewählt wird. Die Erfahrung zeigt, dass die optimale Prüf- und Vorbehandlungsstrategie für bestückte Leiterplatten nur fallweise festgelegt werden kann und periodisch überprüft und angepasst werden muss.

## 7. Schlussfolgerungen, Stand in der Industrie, Ausblick

Die Methoden zur Berechnung und Verbesserung sowie zur Bestimmung der Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit sind bekannt. In der Schweiz, wie auch ganz allgemein in Europa, werden sie jedoch oft nur punktuell angewendet. Gründe dafür sind:

1. die Qualitätssicherung ist oft noch zu stark auf die Fertigungsqualität ausgerichtet, eine globale Betrachtung fehlt,
2. auf dem Gebiet der Zuverlässigkeitstechnik wird noch zuviel theoretisiert,
3. die Zusammenarbeit zwischen Entwicklungsingenieur und Qualitätsicherungsfachleuten ist zu klein,
4. Qualitätskosten werden nur punktuell erfasst und ausgewertet,
5. eine gemeinsame Sprache fehlt noch.

Diese teilweise harte Kritik soll für den Ingenieur eine Herausforderung sein, die durch eine geeignete Ausbildung an den Hoch- und Fachschulen sinnvoll unterstützt werden soll. Nur so wird es unserem Land gelingen, seine Stelle auf dem internationalen Markt zu sichern und weiter auszubauen. Es lässt sich voraussehen, dass zukünftige, hochwertige technische Systeme folgende Merkmale aufweisen werden:

- grosse Anzahl Bauteile, grosse Komplexität,
- starkes Eindringen der Software,
- grosse Anfälligkeit auf innere und äussere Störungen,
- kurze Brauchbarkeitsdauer,
- Kostendruck.

Für die Hoch- und Fachschulen ergeben sich daraus folgende Forschungsschwerpunkte:

1. Störungstolerante Strukturen:
  - Ausfallarten, Ausfallmechanismen,
  - optimale Verteilung der Redundanz,
  - adaptive Systeme.
2. Prüfbarkeit:
  - prüfbare Strukturen,
  - Testmuster für komplexe Bauteile und Baugruppen,

- Quantifizierung des Fehlererkennungs- und Fehlerlokalisierungsgrades.

3. Systeme mit Hardware und Software:
  - Modellbildung, optimale Strukturen,
  - Prüf- bzw. Prüf- und Vorbehandlungsstrategien auf Systemebene,
  - Schutzmaßnahmen gegen innere und äussere Störeinflüsse,
  - Qualitätssicherung der Software.
4. Computerunterstützte Analysen:
  - vorausgesagte Zuverlässigkeit,
  - reparierbare Systeme,
  - logistische Unterstützung,
  - Schnittstellen mit CAD/CAM,
  - Kostenmodelle.

## Literatur

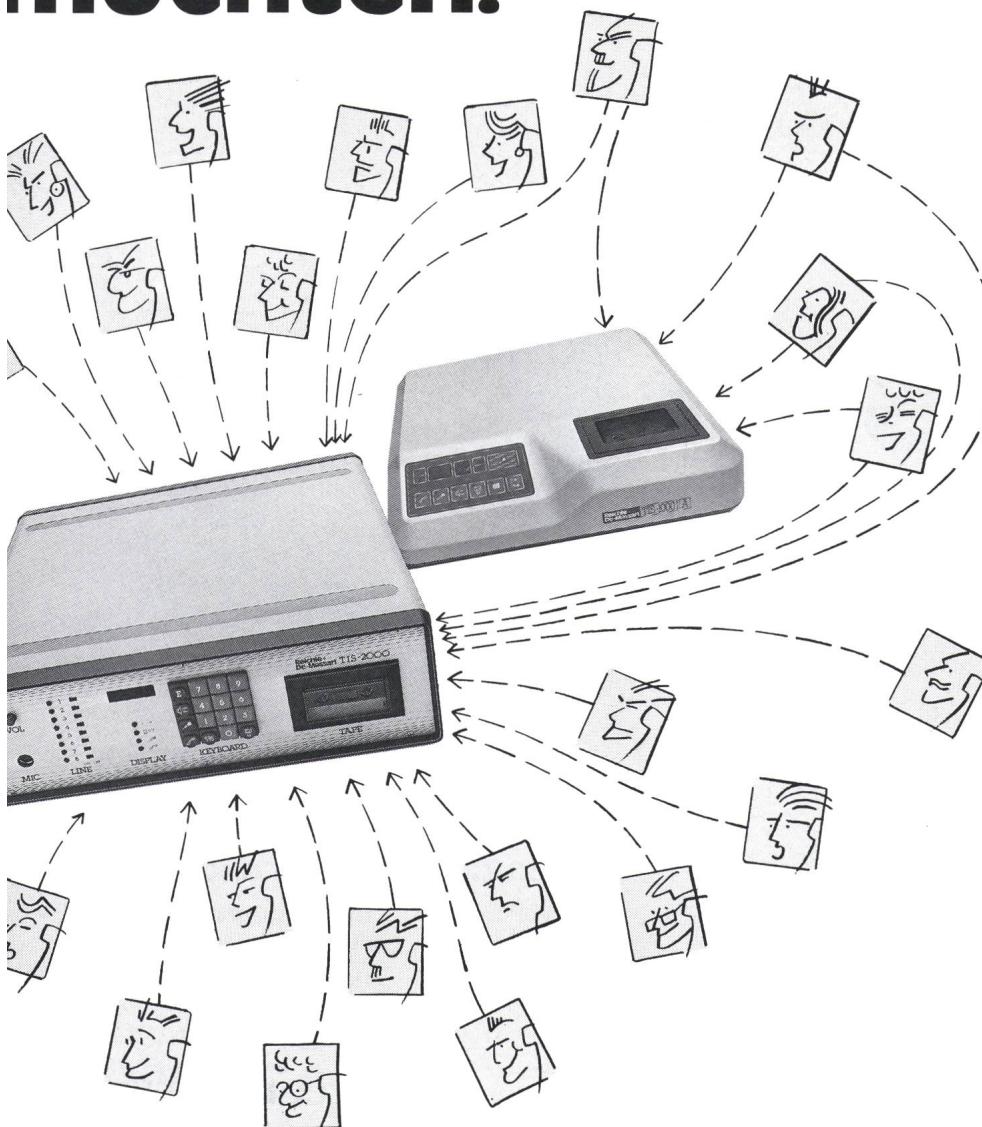
- [1] Engineering design handbook: Maintenance engineering techniques. AMC Pamphlet 706-132. Maintainability engineering theory and practice. AMC Pamphlet 706-133. Maintainability guide for design. AMC Pamphlet 706-134. Engineering design handbook. Development guide for reliability: Design for reliability. AMC Pamphlet 706-196. Reliability prediction. AMC Pamphlet 706-197. Reliability measurement. AMC Pamphlet 706-198. Alexandria/Va, Headquarters, US Army Material Command, 1975/1976.
- [2] A. Biroolini: Qualität und Zuverlässigkeit technischer Systeme. Theorie, Praxis, Management. Berlin u.a., Springer-Verlag, 1985.
- [3] Reliability prediction of electronic equipment. MIL-Handbook 217, edition D, 1982.
- [4] Recueil de données de fiabilité. Lannion, Centre National d'Etudes des Télécommunications (CNET) 1983.
- [5] J. Byron a. o.: RADC testability notebook. RADC-TR-82-189. Griffis AFB N.Y., Rome Air Development Center, 1982.
- [6a] Störfallablaufanalyse. Teil 1: Störfallablaufdiagramm, Methode und Bildzeichen. Teil 2: Auswertung des Störfallablaufdiagramms mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. DIN 25419 Teil 1/06.77, Teil 2/02.79.
- [6b] Fehlerbaumanalyse; Methode und Bildzeichen. DIN 25424 Teil 1/09.81.
- [6c] Ausfalleffektanalyse. DIN 25448/06.80.
- [6d] Elektrotechnik. Leitfaden zur Instandhaltbarkeit von Geräten. Teil 1: Hauptabschnitte eins, zwei und drei: Einführung, Anforderungen und Instandhaltbarkeitsprogramm. DIN-IEC-Entwurf 706 Teil 1/03.84.
- [6e] Elektrotechnik. Leitfaden zur Instandhaltbarkeit von Geräten. Hauptabschnitt 4: Ausfallerkennungs- und Fehlerlokalisierungsvorfahren. DIN-IEC-Entwurf 56(Schein)162/03.84.
- [7] B.S. Blanchard and E.E. Lowry: Maintainability. New York, McGraw-Hill, 1969.
- [8] Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis. MIL-Standard 1629 A, 1980.
- [9] F. Sevcik: Current and future concepts in FMEA. Proceedings of the Annual IEEE Reliability and Maintainability Symposium 1981; p. 414...421.
- [10] A. Biroolini: On the use of stochastic processes in modeling reliability problems. - Lecture notes in economics and mathematical systems, vol. 252 - Berlin a.o., Springer-Verlag, 1985.
- [11] B.V. Gnedko, Y.K. Belyayev and A.D. Solovjev: Mathematische Methoden der Zuverlässigkeitstheorie. Band I/II. Berlin, Akademie-Verlag, 1968.
- [12] U. Höfle-Ispording: Zuverlässigkeitstheorie - Einführung in ihre Methoden. Berlin/Heidelberg/New York, Springer-Verlag, 1978.
- [13] K. Fischer: Zuverlässigkeit- und Instandhaltungstheorie. Berlin, VEB-Verlag für Verkehrswesen, 1984.
- [14] Test methods and procedures for microelectronics. MIL-Standard 883, edition C, 1983.
- [15] A. E. Saari a.o.: Stress screening of electronic hardware. RADC-TR-82-087. Griffis AFB N.Y., Rome Air Development Center, 1982.

Mit Installationstechnik sind wir bekannt geworden.

Mit Elektronik sind wir weiter gewachsen.

Mit technischem Fernsehen sind wir gross im Kommen.

# Die TIS-Serie von R+M: Die können Sie mit Gewinn all jenen empfehlen, die bis zu 22 Anrufern gleichzeitig Auskunft vom laufenden Band geben möchten.



Ärgerlich, wenn das Besetztzeichen ertönt. Erst recht, wenn man eine dringende Auskunft benötigt!

Ganz gleich, ob jemand eine Panne im Rechenzentrum mitzuteilen hat oder eine verkaufsfördernde Aktion per Telefon durchführen will: er sollte auf jeden Fall für eine freie Leitung sorgen. Und die können Sie jetzt all Ihren Kunden garantieren. Mit TIS 1000 bei vier, und mit TIS 2000 bei 22 gleichzeitigen Anrufern.

Wer Wetterprognosen durchzugeben oder über den Strassenzustand zu berichten hat, Grossanlässe zu organisieren oder Menüvorschläge zu unterbreiten, Lebenshilfe zu leisten oder Firmen Neuheiten zu verbreiten hat, kann das jetzt, ohne die Anrufer zu verärgern. Und das Beste daran: Sie haben ihm diese Lösung empfohlen. Wenn wir Ihnen mit weiteren Informationen helfen können, Ihre Kunden zu überzeugen:

**01/930 77 30**

Da meldet sich mit Garantie kein laufendes Band.

Reichle + De-Massari AG  
Binzstrasse 31  
CH-8622 Wetzikon  
Telefon 01/930 77 30

**Reichle**   
**De-Massari**  
Elektro- und  
Kommunikationstechnik

Bestens!  
**Bestens!**  
**Bestens!**  
**Bestens!**

*Bestens geht die Übertragung von  
 Steuerbefehlen und Signalen mit dem  
 Universal-Kabel S82.*

*S82 heisst unser Signalkabel in  
 Paarverteilung mit IEC-Farbcodes,  
 lieferbar mit und ohne Abschirmung.*

*Mehr über diese Verbindung: 062 · 65 14 44*

**Studer Draht- und Kabelwerk AG  
 CH-4658 Däniken SO**



# SAFETY FIRST

Elektriker leben gefährlich: Kurzschluss-Lichtbogen können immer wieder auftreten. Blendung und Verbrennungen sind die bösen Folgen.



**Ihr sicherster Schutz:  
 NOMEX-Elektrikermantel**

Nicht brennbar, bequem zu tragen, pflegeleicht.



**Bruno Winterhalter AG**

Ressort Industrieprodukte

Oberwiesenstrasse 4  
 Telefon 01-830 12 51

8304 Wallisellen  
 Telex 82 62 12



**Alles im Griff!**

**Steuerknüppel SK 48 und SK 60**

- Robuste Metallkonstruktion für harten Einsatz
- Dichte Bedienungsseite
- Kompakte Bauart
- Zuverlässig
- 1-achsig oder 2-achsig

Stellen Sie uns Ihr Problem!

Die Potentiomacher

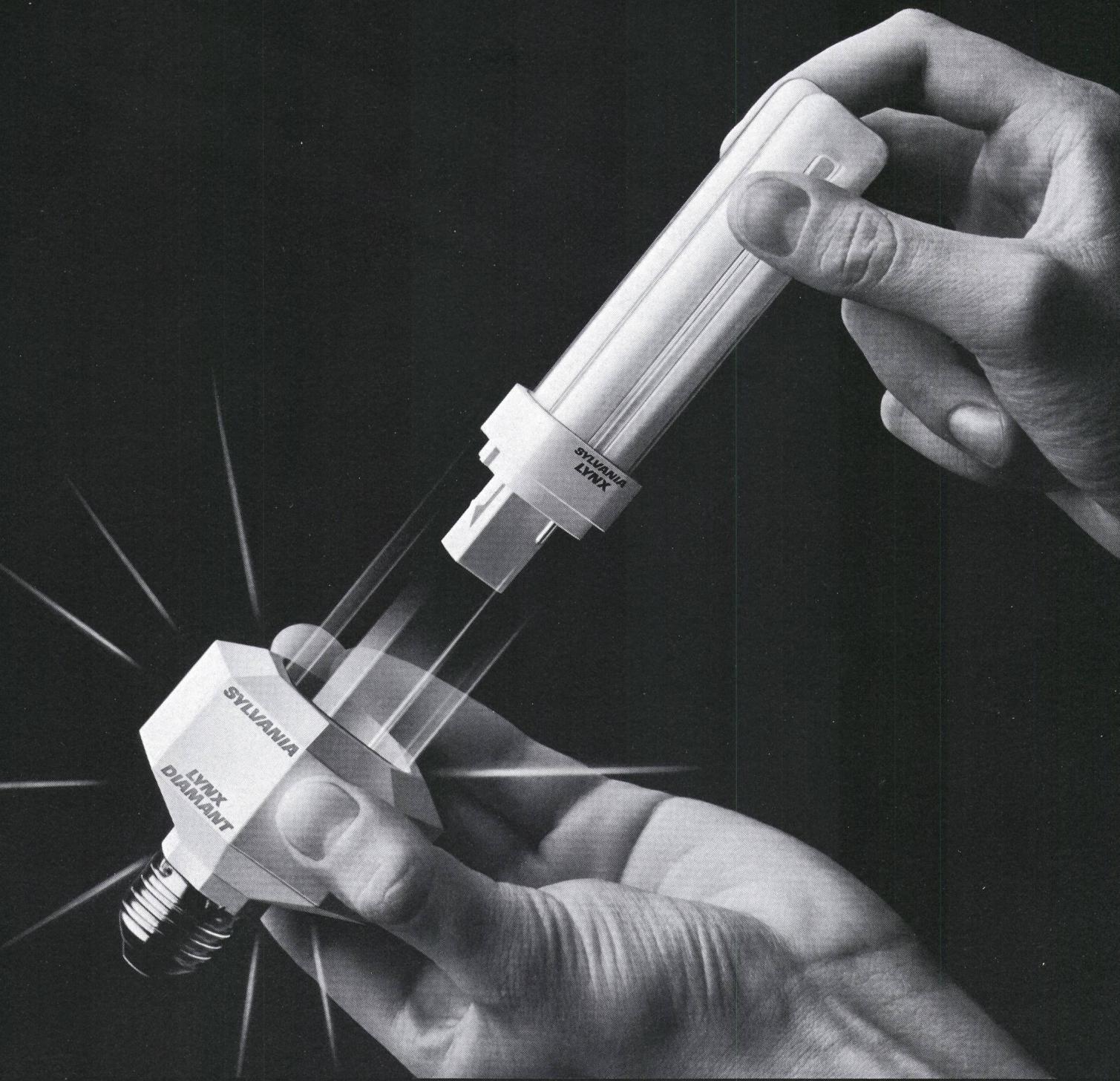
**GENGE  
 & THOMA  
 AG**



Langjährige Erfahrung  
 bürgt für Qualität und  
 seriöse Beratung.

Bürenstrasse 10  
 CH-2543 Lengnau/Biel  
 065 / 52 33 30/31

# LYNX-DIAMANT



## Mit Sylvania's brillantem Adapter passt jetzt das modernste Licht in jede herkömmliche Fassung.

Vorauf viele gewartet haben: Eine Kompakt-Leuchtstofflampe, die auch ohne das teure Vorschaltgerät ersetzt werden kann. Lynx-Diamant – das neue und revolutionäre, teilige Lichtsystem.

Einerseits die energiesparende Lynx Kompakt-Leuchtstofflampe – andererseits der neue, diamantförmige Adapter von Sylvania, dessen Lebensdauer der von 10 Lampen entspricht und der ausserdem mit einer 5jährigen Garantie versehen ist.

Wenig Energieverbrauch, warmes, angenehmes Licht, vereinfachter Unterhalt und lange Lebensdauer verleihen dieser Lichtquelle glänzende Anwendungseigenschaften im Innen- und Außenbereich.

**Sylvania Lynx-Diamant – die brillante Verbindung.**

**Coupon:** Bitte senden Sie weitere Informationen über Sylvania Lynx-Diamant.

Name \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

SEV

# SYLVANIA

# GTE

GTE SYLVANIA AG, 4, ch. des Léchères, 1217 Meyrin,  
Tel. 022/82 00 72, Tx 28 233

# NEU von ISOLA:

# GLASFASER-KABEL ISOLUX

Auch bei den neuesten Techniken der Glasfaser-Kabel ist ISOLA ganz vorne mit dabei. Zur Verwendung kommen in der Regel Multimode-Gradientenfasern und Monomodefasern, die den aktuellen IEC-Publicationen und den CCITT-Empfehlungen entsprechen. Auf Wunsch können auch andere Fasern zu Kabeln verarbeitet werden.



Erdkabel  
mit 2 bis 120 Fasern

Innenkabel  
mit 1 bis 10 Fasern

Luftkabel

Spezialkabel

Schweizerische Isola-Werke  
Geschäftsbereich Kabel  
CH-4226 Breitenbach, Tel. 061 / 80 21 21  
Telex 62479, Telefax 061 / 80 20 78