Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherung komplexer Systeme : Teil 2 : Methoden

Autor(en): **Birolini, A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **70 (1979)**

Heft 5

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905358

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherung komplexer Systeme – Teil 2: Methoden

Von A. Birolini

658.56:519.873;

Es wird eine Einführung in die Methoden zur Analyse der Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit komplexer Systeme gegeben. Das Schwergewicht wird auf die Zuverlässigkeitsanalysen in der Entwicklungs- und Konstruktionsphase gelegt. Die wichtigsten Modelle und die massgebenden Einflussfaktoren, wie Temperatur, Umwelt, Unterlastung und Vorbehandlung werden ausführlich besprochen.

L'article donne une introduction aux méthodes d'analyse de la fiabilité, de la maintenabilité, de la disponibilité et de la sécurité des systèmes complexes. Une attention particulière est réservée aux analyses de la fiabilité dans les phases de développement et de construction. Les modèles les plus importants ainsi que les facteurs influençant la fiabilité, comme la température, l'environnement, le facteur de charge et le déverminage (screening) sont décrits en détail.

1. Einleitung

Im ersten Teil dieses Aufsatzes[1]) wurden nach der Darlegung der Grundbegriffe die Aufgaben und die organisatorischen Voraussetzungen zur Sicherstellung der Qualität, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit komplexer Systeme beschrieben. Nun wird eine Einführung in die Methoden zur Analyse der Zuverlässigkeit, der Instandhaltbarkeit, der Verfügbarkeit und der Sicherheit solcher Systeme gegeben. Das Schwergewicht wird dabei auf die Zuverlässigkeitsanalysen in der Entwicklungs- und Konstruktionsphase gelegt. Auf die Methoden der Qualitätssicherung sei hier nicht speziell eingegangen; für diese besteht eine umfangreiche Fachliteratur, z. B. [1...5].

2. Zuverlässigkeitsanalysen in der Entwicklungs- und Konstruktionsphase

Zuverlässigkeitsanalysen verlangen ein breites Wissen sowohl in theoretischer wie auch in praktischer Hinsicht [7...12]. Die auftretenden Modelle weisen in der Regel Zufallscharakter auf und müssen deswegen mit den Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung und der Statistik untersucht werden. Anderseits lässt sich die Zuverlässigkeit einer Betrachtungseinheit nicht allein durch theoretische Überlegungen verbessern. Notwendig sind auch eingehende Kenntnisse der Betrachtungseinheit und der konkreten Möglichkeiten, die zur Verbesserung in Betracht gezogen werden können. Von der Betrachtungseinheit sind vor allem die Wirkungsweise und die gegenseitigen Beziehungen und Beeinflussungen (Input/Output, Aufteilung der Last, Auswirkung der Ausfälle, Transiente usw.) sowie die Arbeitsbedingungen der verschiedenen Elemente wichtig. Zu den konkreten Möglichkeiten zur Verbesserung der Zuverlässigkeit gehören:

- die Verwendung besserer Bauteile und Materialien;
- die Vereinfachung von Entwurf und Konstruktion;
- die Reduktion der Beanspruchungen (Unterlastung);
- die Vorbehandlung der kritischen Bauteile, Unterbaugruppen und Baugruppen;
- das Hinzufügen von Redundanz;
- die Durchführung von umfassenden Qualifikationsprüfungen.

Aus dem Gesagten wird ersichtlich, dass die Zuverlässigkeitsanalysen vorwiegend Engineering-Aktivitäten sind. Bei der Entwicklung komplexer Systeme ist es zweckmässig, diese Aktivitäten in enger Zusammenarbeit zwischen Entwickler, Konstrukteur und Zuverlässigkeitsspezialisten durchzuführen. Im folgenden sollen die Hauptschritte einer Zuverlässigkeitsanalyse dargelegt werden.

2.1 Aufstellung des Zuverlässigkeitsblockdiagrammes

Das Zuverlässigkeitsblockdiagramm spielt in den Zuverlässigkeitsanalysen eine sehr wichtige Rolle. Es kann in allen einfachen Situationen aufgestellt werden und bildet in der Regel den Ausgangspunkt einer Analyse. Für seine Aufstellung wird die zu analysierende Betrachtungseinheit in Elemente, die eine klar umrissene Aufgabe erfüllen und deren Zuverlässigkeit nicht mehr weiter untersucht wird, unterteilt. Diese Elemente werden dann in einem Blockdiagramm zusammengefügt, auf welchem die für die Erfüllung der geforderten Funktion lebenswichtigen Elemente in Serien- und die redundanten Elemente

[1]) Bull. SEV/VSE 70(1979)3, S. 142.

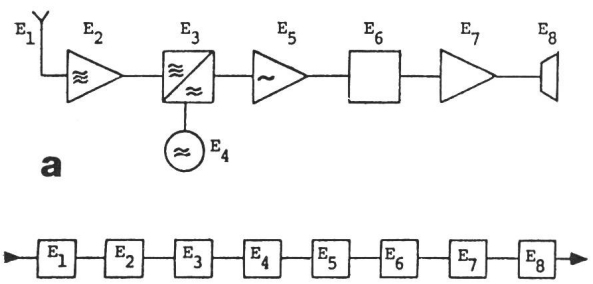


Fig. 1a Funktionsblockdiagramm und Zuverlässigkeitsblockdiagramm eines vereinfachten Radioempfängers

E_1 Antenne
E_2 Hochfrequenzverstärker
E_3 Mischer
E_4 Oszillator
E_5 Zwischenfrequenzverstärker
E_6 Demodulator
E_7 Niederfrequenzverstärker
E_8 Lautsprecher

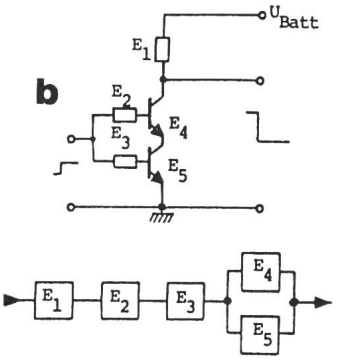


Fig. 1b Schaltung und Zuverlässigkeitsblockdiagramm eines elektronischen Schalters mit bipolaren Transistoren

Die beiden Transistoren E_4, E_5 sind in Redundanz, weil man angenommen hat, dass sich ein Ausfall als Kurzschluss zwischen Kollektor und Emitter auswirkt

in Parallelschaltung erscheinen. Die Fig. 1a und 1b zeigen zwei einfache Beispiele. Wie aus Fig. 1 hervorgeht, kann ein Zuverlässigkeitsblockdiagramm auf Niveau Bauteile, Unterbaugruppen, Baugruppen usw. aufgestellt werden. Seine Struktur hängt von der Betrachtungseinheit und von der geforderten Funktion ab. Bei komplexen Systemen wird in der Regel mit dem Zuverlässigkeitsblockdiagramm auf Niveau Anlage oder Teilanlage begonnen. Für jede Teilanlage wird dann das entsprechende Zuverlässigkeitsblockdiagramm auf Niveau Baugruppe aufgestellt usw.

Die Grundstrukturen eines Zuverlässigkeitsblockdiagrammes sind in Tab. I zusammengefasst. Für jede dieser Strukturen ist die Formel für die Zuverlässigkeit angegeben (siehe Abschnitt 2.3).

2.2 *Bestimmung der momentanen Ausfallrate*

Es ist üblich, die ausfallfreie Arbeitszeit einer Betrachtungseinheit mit τ zu bezeichnen. Wenn $F(x)$ ihre Verteilungsfunktion ist, dann kann man für die Zuverlässigkeitsfunktion schreiben

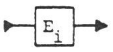
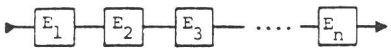
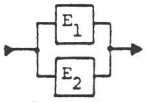
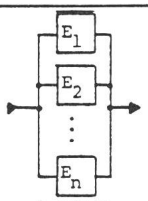
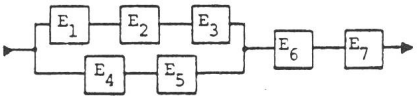
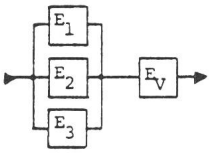
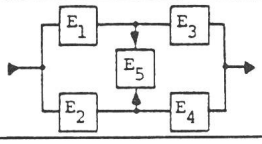
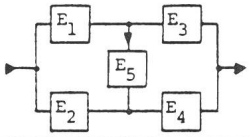
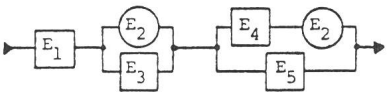
$$\begin{aligned} R(t) &= \Pr\left\{\text{kein Ausfall in } (0, t)\right\} \\ &= \Pr\left\{\tau > t\right\} = 1 - F(t) \end{aligned} \tag{1}$$

mit Pr ≡ Wahrscheinlichkeit (Probability).

Als *momentane Ausfallrate* wird die Grösse

$$z(t) = -\frac{\mathrm{d}R(t)/\mathrm{d}t}{R(t)} \tag{2}$$

Zusammenfassung der typischen Strukturen von Zuverlässigkeitsblockdiagrammen — Tabelle I

Zuverlässigkeits-Blockdiagramm	Zuverlässigkeit	Bemerkungen
	R_i	Einzelelement
	$R_S = \prod_{i=1}^{n} R_i$	Serienmodell
 1 aus 2	$R_S = R_1 + R_2 - R_1 R_2$	1 aus 2 Redundanz
 k aus n	$R_1 = R_2 = \ldots = R_n = R$ $R_S = \sum_{i=k}^{n} \binom{n}{i} R^i (1-R)^{n-i}$	k aus n Redundanz
	$R_S = (R_1 R_2 R_3 + R_4 R_5 - R_1 R_2 R_3 R_4 R_5) R_6 R_7$	Serien-/Parallelstruktur
 2 aus 3	$R_1 = R_2 = R_3 = R$ $R_S = (3R^2 - 2R^3) R_V$	Majoritäts-Redundanz (allg.Fall:n+1 aus 2n+1)
	$R_S = R_5 (R_1 + R_2 - R_1 R_2)(R_3 + R_4 - R_3 R_4)$ $+ (1 - R_5)(R_1 R_3 + R_2 R_4 - R_1 R_2 R_3 R_4)$	Brückenschaltung mit Zweiweg-Verbindung
	$R_S = R_4 [R_2 + R_1 (R_3 + R_5 - R_3 R_5) - R_1 R_2$ $(R_3 + R_5 - R_3 R_5)] + (1 - R_4) R_1 R_3$	Brückenschaltung mit gerichteter Verbindung
	$R_S = R_2 R_1 (R_4 + R_5 - R_4 R_5)$ $+ (1 - R_2) R_1 R_3 R_5$	das Element E_2 erscheint an zwei Stellen auf dem Zuverlässigkeitsblockdiagramm

definiert. Man kann zeigen, dass $z(t)\,\delta t$ folgende Bedeutung hat: Ist die Betrachtungseinheit zur Zeit $t = 0$ in Betrieb gesetzt worden und zur Zeit t noch nicht ausgefallen, dann gibt $z(t)\,\delta t$ die Wahrscheinlichkeit an, dass sie im nächsten Intervall δt ausfallen wird[2]). Aus (2) und mit $R(0) = 1$ folgt die fundamentale Beziehung

$$R(t) = e^{-\int_0^t z(x)\,dx} \quad . \tag{3}$$

Der typische Verlauf der momentanen Ausfallrate ist in Fig. 2 gezeigt. Die Dauer der drei Perioden a, b und c kann von einer Betrachtungseinheit zur anderen stark abweichen. Die Alterung ist z.B. bei den Elektronenröhren sowie bei den elektromechanischen und mechanischen Bauteilen ausgeprägt, aber praktisch nicht vorhanden bei den Halbleiterbauelementen. In der Regel wird versucht, durch eine gezielte Vorbehandlung alle Frühausfälle zu provozieren, so dass zu Beginn der Nutzungsphase eine konstante momentane Ausfallrate angenommen werden kann. Für viele elektronische Bauteile bleibt dann die momentane Ausfallrate für die ganze Brauchbarkeitsdauer des Gerätes oder der Anlage näherungsweise konstant.

Der Fall einer konstanten momentanen Ausfallrate ist für die Untersuchungen besonders wichtig. Hier setzt man

$$z(t) = \lambda. \tag{4}$$

Aus (3) folgt

$$R(t) = e^{-\lambda t}. \tag{5}$$

Man sagt dann, dass die ausfallfreie Arbeitszeit der Betrachtungseinheit exponentiell verteilt ist. Die Annahme einer konstanten momentanen Ausfallrate erleichtert die Berechnungen wesentlich, denn unabhängig davon, wie lange die Betrachtungseinheit schon gearbeitet hat, ist die Ausfallwahrscheinlichkeit im nächsten Intervall δt konstant und gleich $\lambda\delta t$.

Die Bestimmung der momentanen Ausfallrate erfolgt zuerst auf Niveau Bauteile mit Hilfe spezieller Datensammlungen [13; 14; 15]. In diesen Datensammlungen wird in der Regel eine konstante momentane Ausfallrate $z(t) = \lambda$ angenommen. Die Werte von λ sind für die jeweiligen Arbeitsbedingungen zu berechnen, insbesondere unter Berücksichtigung folgender Aspekte:

1. *Umgebungstemperatur:* Die momentane Ausfallrate steigt in der Regel exponentiell mit der Umgebungstemperatur. Entsprechende Modelle sind aufgestellt worden und werden laufend verbessert [13; 14]. Als Beispiel zeigt Fig. 3 den Verlauf der momentanen Ausfallrate eines NPN-Si-Transistors als Funktion der Umgebungstemperatur mit dem Belastungsfaktor ($S = P/P_N$) als Parameter.

2. *Unterlastung:* Darunter versteht man die vorsätzliche Nichtausnützung der Belastbarkeit eines Bauteiles. Dies kann eine grosse Reduktion der momentanen Ausfallrate bewirken (Fig. 3), vor allem bei Kondensatoren und Leistungsbauelementen. Das Verhältnis der tatsächlichen Belastung bei der jeweiligen Temperatur zur maximalen Belastbarkeit (in der Regel bei 25 °C) wird Belastungsfaktor genannt und oft mit S bezeichnet. Der Belastungsfaktor bezieht sich je nach Bauteil auf die Leistung, die Spannung, den Strom usw. Als Faustregel sollten Belastungsfaktoren grösser als 0.6 vermieden werden.

3. *Umweltfaktor:* Je nachdem, ob das Bauteil in einer Bodenanlage, in einem Schiff, in einem Flugzeug usw. verwendet

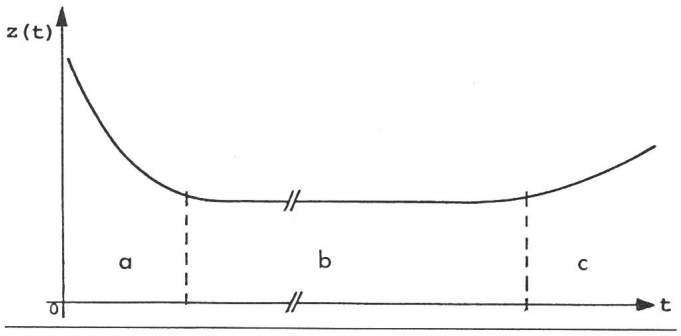


Fig. 2 Typischer Verlauf der momentanen Ausfallrate
a, b und c sind die Perioden der Frühausfälle, der Ausfälle mit konstanter momentaner Ausfallrate und der Verschleissausfälle (Alterung)

wird, sind die Umweltbedingungen derart verschieden, dass eine Korrektur der momentanen Ausfallrate notwendig wird. Der Korrekturfaktor kann sehr gross werden. Für integrierte Schaltungen beträgt er z.B. 5 für unbewegte Bodenanlagen, 20 für bewegte Bodenanlagen und 50 für Raketen.

4. *Vorbehandlung:* Unter Vorbehandlung (screening) versteht man eine Folge von Beanspruchungen, denen ein Bauteil unterworfen wird, mit der Absicht, das Auftreten von Frühausfällen zu beschleunigen und den Wert der momentanen Ausfallrate zu senken. Vorbehandelt werden praktisch alle elektronischen Bauteile; viele von ihnen mit unterschiedlichem Niveau[3]). Der entsprechende Korrekturfaktor für die momentane Ausfallrate wird in der Regel mit π_Q (quality factor) bezeichnet und kann von 1 bei den Raumfahrtanwendungen bis zu mehr als 100 bei den Bauteilen der Massenproduktion

[2]) $z(t)\,\delta t$ ist eine bedingte Wahrscheinlichkeit, d.h. man hat $z(t)\,\delta t = \Pr\{t < \tau \leq t + \delta t \mid \tau > t\}$.

[3]) Die Art, der Umfang und die Reihenfolge der Beanspruchungen sind in Vorschriften festgelegt, siehe z.B. [16]. Über die Wirksamkeit der verschiedenen Beanspruchungen sind die Auffassungen z.T. noch verschieden [17...21].

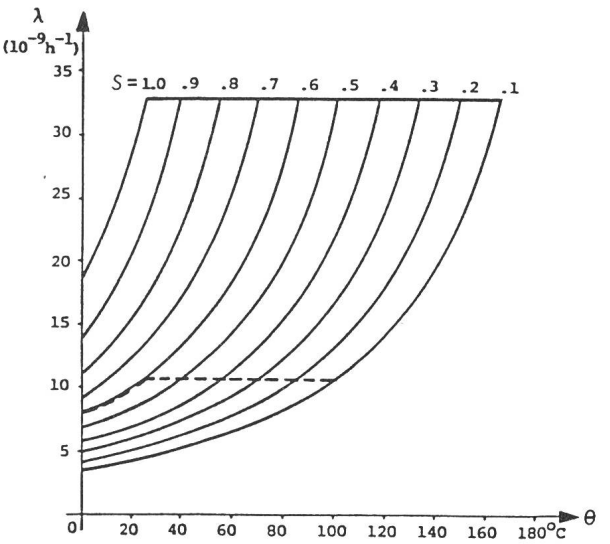


Fig. 3 Momentane Ausfallrate eines NPN-Si-Transistors in Funktion der Umgebungstemperatur mit dem Belastungsfaktor $S = P/P_N$ als Parameter
Die gezogene Linie bei $\lambda \approx 33 \cdot 10^{-9}\ h^{-1}$ gibt die Grenze der Belastbarkeit an. Gestrichelt ist die typische Grenzlinie der Belastung, wie sie in den Raumfahrt- und Militäranwendungen festgelegt wird

steigen. Oft werden auch die kritischen Unterbaugruppen und Baugruppen vorbehandelt; für die ganze Anlage genügt hingegen in der Regel eine genügend lange Einbrennphase.

2.3 Berechnung der vorausgesagten Zuverlässigkeit

Die vorausgesagte Zuverlässigkeit ist derjenige Wert der Zuverlässigkeit, der anhand der Struktur der Betrachtungseinheit, der geforderten Funktion und der momentanen Ausfallrate der Bauteile (oder der Elemente) rechnerisch bestimmt wird. Wegen Vereinfachungen, die man bei der Aufstellung der Modelle trifft und der Ungenauigkeit der Daten, mit welchen man operieren muss, kann in der Regel die vorausgesagte Zuverlässigkeit nur mit einer beschränkten Aussagewahrscheinlichkeit angegeben werden. Trotzdem gibt es sehr wichtige Gründe, die für ihre Berechnung sprechen. Zu diesen gehören vor allem:

- die Notwendigkeit einer frühzeitigen Erkennung von Schwachstellen;
- die Möglichkeit, Alternativlösungen zu untersuchen (z.B. um den Einfluss einer Verbesserung der Zuverlässigkeit analysieren zu können oder im Hinblick auf eine Vergleichstudie);
- die Wichtigkeit, fundierte Daten für die Wartung, die logistische Unterstützung und die Lebenslaufkosten ermitteln zu können;
- die Notwendigkeit, den Unterlieferanten konkrete Zuverlässigkeitsanforderungen stellen zu können.

Diese Überlegungen zeigen, dass man dem genauen Wert einer vorausgesagten Zuverlässigkeit keine übertriebene Zahlengläubigkeit entgegenbringen sollte. Sie zeigen aber auch, dass in vielen Fällen (vor allem dort, wo es um Vergleichstudien geht) die Ungenauigkeit der Modelle und der Daten keine primäre Rolle spielt.

Im folgenden sollen die wichtigsten Modelle von Tab. I untersucht werden.

1. *Einzelelement:* Das Einzelelement wird durch die Verteilungsfunktion $F(x)$ der ausfallfreien Arbeitszeit τ charakterisiert. Seine Zuverlässigkeitsfunktion ist durch die Gleichung (1) gegeben. Der Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeit wird mit *MTTF* (Mean Time To Failure) bezeichnet und lässt sich aus

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)\,\mathrm{d}t \tag{6}$$

berechnen. Für $R(t) = \mathrm{e}^{-\lambda t}$ erhält man den Wert $1/\lambda$, wobei λ die momentane Ausfallrate ist. Es ist üblich, für $1/\lambda$ den Begriff

$$1/\lambda = MTBF \tag{7}$$

(Mean Time Between Failures) zu setzen.

2. *Serienmodell:* Die Betrachtungseinheit wird im Intervall $(0, t)$ ausfallfrei arbeiten, nur wenn gleichzeitig alle Elemente $E_1, E_2, ..., E_n$ ausfallfrei arbeiten. Unter der Annahme, dass jedes Element unabhängig von den anderen arbeiten und ausfallen wird, folgt für die Zuverlässigkeitsfunktion der Betrachtungseinheit

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t). \tag{8}$$

Dabei ist $R_i(t)$ die Zuverlässigkeitsfunktion des Elementes E_i. Aus (8) und (3) folgt für die momentane Ausfallrate der Betrachtungseinheit

$$z_S(t) = \sum_{i=1}^{n} z_i(t) \tag{9}$$

und insbesondere, für $z_i(t) = \lambda_i$,

$$\lambda_S = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i. \tag{10}$$

Für diesen Fall gilt

$$R_S(t) = \mathrm{e}^{-\lambda_S t}, \tag{11}$$

d.h. wiederum eine Exponentialfunktion. Die Gleichungen (10) und (11) sind sehr wichtig für die Anwendungen. Sie zeigen, dass für eine Betrachtungseinheit ohne Redundanz, bestehend aus Elementen mit konstanter momentaner Ausfallrate, die gesamte momentane Ausfallrate ebenfalls konstant und gleich der Summe der momentanen Ausfallraten der Elemente ist.

3. *Redundanz 1 aus 2:* Die Betrachtungseinheit wird im Intervall $(0, t)$ ausfallfrei arbeiten, nur wenn mindestens eines der Elemente E_1 oder E_2 im Intervall $(0, t)$ ausfallfrei arbeiten wird. Unter der Annahme, dass die Elemente E_1 und E_2 unabhängig voneinander arbeiten und ausfallen werden, folgt für die Zuverlässigkeitsfunktion der Betrachtungseinheit

$$R_S(t) = R_1(t) + R_2(t) - R_1(t)\,R_2(t). \tag{12}$$

Setzt man $R_1(t) = R_2(t) = \mathrm{e}^{-\lambda t}$, dann folgt

$$R_S(t) = 2\mathrm{e}^{-\lambda t} - \mathrm{e}^{-2\lambda t}, \tag{13}$$

d.h. keine Exponentialfunktion mehr. Für den Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeit erhält man mit Hilfe der Gleichung (6)

$$MTTF_S = \frac{2}{\lambda} - \frac{1}{2\lambda} = \frac{3}{2\lambda}. \tag{14}$$

Im Vergleich zum Wert $1/\lambda$ des Einzelelementes (siehe Gl. 7) ist der Gewinn klein. In Abschnitt 5 wird gezeigt, dass im Falle, wo ein ausgefallenes Element unverzüglich ohne Betriebsunterbrechung instandgesetzt werden kann, ein wesentlich höherer Gewinn erzielt wird[4]).

Die Berechnung der anderen Modelle von Tab. I erfolgt in ähnlicher Weise. Für kompliziertere Fälle sei z.B. auf [10; 11; 12] verwiesen.

3. Sicherheitsanalysen in der Entwicklungs- und Konstruktionsphase

Bei der Sicherheitsanalyse wird in der Regel zwischen den Aspekten der Unfallverhütung (d.h. Sicherheit, wenn die Betrachtungseinheit korrekt funktioniert und betrieben wird) und der technischen Sicherheit (d.h. Sicherheit, wenn ein Ausfall aufgetreten ist) unterschieden. Das Berücksichtigen der ersten Aspekte wird vielfach durch gesetzliche Vorschriften geregelt. Die zweiten Aspekte werden mit den Methoden der Zuverlässigkeitstechnik untersucht. Besondere Bedeutung kommt dabei dem Auffinden aller potentiellen Gefahren (hazards) und der Analyse der Vorkehrungen zu, die die Auswirkung der entsprechenden Ausfälle mildern oder ihre Auftrittswahrscheinlichkeiten verkleinern. Für solche Analysen stützt man sich auf eine in Zusammenhang mit den Raumfahrtprojekten entwickelte Methode. Diese wird mit FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) bezeichnet und

[4]) Die hier untersuchte Redundanzstruktur ist dadurch charakterisiert, dass von Anfang an die Redundanz den gleichen Beanspruchungen wie das arbeitende Element ausgesetzt wird. Man spricht in diesem Fall von heisser oder auch Parallel-Redundanz. In den Anwendungen treten oft auch die sogenannten warmen und kalten Redundanzen auf.

Vorgehen bei der Durchführung einer FMECA Tabelle II

In der Regel werden diese Schritte in einem speziellen Formular eingetragen

(a) Laufende Numerierung des Schrittes.

(b) Bezeichnung des betreffenden Elementes (z. B. Transistor, Speisung, Ventile usw.) und Kurzbeschreibung seiner Funktion. Wenn möglich Referenzangabe zum Zuverlässigkeitsblockdiagramm.

(c) Annahme einer möglichen *Ausfallart*. Dabei ist oft zu berücksichtigen, in welcher Betriebsphase einer Mission man sich befindet, denn ein Ausfall oder ein Fehler in einer früheren Betriebsphase kann einen Einfluss auf die gerade untersuchte Betriebsphase haben.

(d) Kurzbeschreibung der *möglichen Ursache* für die in (c) angenommene Ausfallart. Die Identifikation der Ursache ist notwendig, um die Auftrittswahrscheinlichkeit schätzen oder berechnen zu können (i) und um Verhütungs- oder Kompensationsmassnahmen zu untersuchen (g). Eine Ausfallart kann mehrere Ursachen haben; z. B. kann es sich um einen Primär- oder um einen Folgeausfall handeln. Alle unabhängigen Ursachen müssen identifiziert und untersucht werden.

(e) Beschreibung des *Symptoms*, mit welchem die in (c) angenommene Ausfallart sich manifestiert, sowie der Möglichkeiten zur Lokalisierung des Ausfalles. Ferner Kurzbeschreibung der lokalen Auswirkung des Ausfalles auf das betreffende Element und auf die Elemente, die in Beziehung (z. B. Input/Output) mit ihm stehen.

(f) Kurzbeschreibung der *Auswirkung* der in (c) angenommenen Ausfallart auf die ganze Betrachtungseinheit in bezug auf die Sicherheit und auf die Erfüllung der geforderten Funktion.

(g) Kurzbeschreibung der *Vorkehrungen*, die die Auswirkung des Ausfalles mildern, die Auftrittswahrscheinlichkeit verkleinern oder die Weiterführung der Mission bzw. der geforderten Funktion erlauben.

(h) *Gewichtung* der Auswirkung der in (c) 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 = Störung, 2 = Teilausfall, 3 = Vollausfall, 4 = überkritischer Ausfall. (Die Bewertung erfolgt oft mit «Ingenieurgefühl».)

(i) Berechnung oder Schätzung der *Auftrittswahrscheinlichkeit* der in (c) angenommenen Ausfallart unter Berücksichtigung der in (d) identifizierten Ausfallursachen (anstelle der Auftrittswahrscheinlichkeit kann oft auch die momentane Ausfallrate angegeben werden).

(k) Zusammenfassung von *Bemerkungen* oder Anregungen zu den Angaben der früheren Punkte, zur Einführung von Korrektivmassnahmen usw.

besteht in einer systematischen Untersuchung von möglichen Ausfällen bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Funktionstüchtigkeit und auf die Sicherheit der betreffenden und der übergeordneten Betrachtungseinheit(en). Die Untersuchung berücksichtigt die verschiedenen möglichen Ausfallarten (z. B. Kurzschluss, Leerlauf, Drift) und ermöglicht das Auffinden der überkritischen Ausfälle (insbesondere der sog. «single point failures») und damit die Untersuchung der Zweckmässigkeit von Massnahmen zur Verhütung oder Kompensation dieser Ausfälle [22; 23; 24]. Eine FMECA wird normalerweise während der Entwicklungs- und Konstruktionsphase vom Entwicklungsingenieur in Zusammenarbeit mit den Zuverlässigkeitsspezialisten durchgeführt. In der Regel beschränkt man sich auf die kritischen Elemente. Die Prozedur ist in Tab. II gezeigt. Neben der FMECA gibt es auch die «Fault Tree Analysis», die eine systematische Untersuchung von Ausfallauswirkungen erlaubt. Dabei geht man aber vom unerwünschten Ereignis (top event) aus und setzt es mit UND- bzw. ODER-Kombinationen von internen Ausfällen oder auch von externen Einflüssen zusammen [25]. Ebenfalls sehr wichtig im Zusammenhang mit Sicherheitsproblemen ist die Durchführung von Design Reviews [3; 5; 9; 26].

4. Instandhaltbarkeitsanalysen in der Entwicklungs- und Konstruktionsphase

Die Instandhaltbarkeit muss noch viel mehr als die Zuverlässigkeit während der Entwicklungs- und Konstruktionsphase berücksichtigt werden. Dazu gehören vor allem die Aspekte der Ausfallerkennung und -lokalisierung, der Strukturierung und Auslegung der Betrachtungseinheit (Modularaufbau, einfache Zugänglichkeit, usw.), sowie der Standardisierung in den Ersatzteilen, Werkzeugen und Zusatzeinrichtungen. Bei der Entwicklung komplexer Systeme müssen diese Aspekte gesamthaft und zusammen mit jenen der logistischen Unterstützung behandelt werden, in der Regel durch die Aufstellung und Realisierung eines Instandhaltungskonzeptes [5; 26; 27; 28].

Im folgenden beschränkt man sich auf die Beschreibung einer einfachen Methode für die Berechnung des Mittelwertes der Instandsetzungszeit *MTTR* (Mean Time To Repair) einer komplexen Betrachtungseinheit. Gegeben sei eine Betrachtungseinheit ohne Redundanz (Serienmodell in Tab. I), bestehend aus den Elementen $E_1, E_2, \ldots E_n$. Für jedes dieser Elemente sei der Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeit ($MTTF_i$) und der Instandsetzungszeit ($MTTR_i$) bekannt. Wir nehmen an, dass alle Elemente die gleiche kumulative Betriebszeit T haben werden, und dass nach jeder Instandsetzung das betreffende Element als neuwertig angesehen werden kann. Während der kumulativen Betriebszeit T ($T \gg MTTF_i$) wird man für das Element E_i im Mittel $T/MTTF_i$ Ausfälle und eine gesamte Instandsetzungszeit von $MTTR_i \cdot T/MTTF_i$ haben. Für die ganze Betrachtungseinheit werden folglich

$$\sum_{i=1}^{n} T/MTTF_i \tag{15}$$

Ausfälle und eine gesamte Instandsetzungszeit von

$$\sum_{i=1}^{n} T \frac{MTTR_i}{MTTF_i} \tag{16}$$

sein. Der Mittelwert der Instandsetzungszeit der Betrachtungseinheit kann nun aus den Gleichungen (15) und (16) bestimmt werden

$$MTTR_S = \frac{\sum_{i=1}^{n} MTTR_i/MTTF_i}{\sum_{i=1}^{n} 1/MTTF_i}. \tag{17}$$

Die Gleichung (17) gilt näherungsweise auch für Betrachtungseinheiten mit Redundanz. Hier muss man aber zwischen der Instandsetzungszeit und der Betriebsunterbrechungszeit wegen Instandsetzung unterscheiden. Letztere wird praktisch nur durch die Elemente ohne Redundanz bestimmt.

Zusammenfassung der wichtigsten Formeln für die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit einfacher reparierbaren Betrachtungseinheiten Tabelle III

Zuverlässigkeitsblockdiagramm (siehe Tabelle I)	Einzelelement	Serienmodell	Redundanz 1 aus 2 (mit nur einer Reparaturmannschaft)	
Modell	Alternierender Erneuerungsprozess	Überlagerung von alternierenden Erneuerungsprozessen	Geburts- und Todesprozess	Semi-Markoff-Prozess
Verteilung der ausfallfreien Arbeitszeit der Elemente – im Arbeitszustand – im Reservezustand	$1 - e^{-\lambda x}$ –	$1 - e^{-\lambda_i x}$ –	$1 - e^{-\lambda x}$ $1 - e^{-\lambda_0 x}$ II)	$1 - e^{-\lambda x}$ $1 - e^{-\lambda_0 x}$ II)
Verteilung der Instandsetzungszeit der Elemente	beliebig	beliebig	$1 - e^{\mu x}$	beliebig
Mittelwert der Instandsetzungszeit der Elemente	$MTTR$	$MTTR_i$	$\frac{1}{\mu}$	$MTTR$
Zuverlässigkeitsfunktion ($\Pr\{\text{kein Ausfall in } (0, t)\}$)	$e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda_S t}$, mit $\lambda_S = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$	I) $\frac{s + 2\lambda + \lambda_0 + \mu}{(s + \lambda)(s + \lambda + \lambda_0) + s\mu}$	I) $\frac{s + \lambda + (\lambda + \lambda_0)[1 - g^*(s + \lambda)]}{(s + \lambda)\{s + (\lambda + \lambda_0)[1 - g^*(s + \lambda)]\}}$
Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeit	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda_S}$	$\frac{2\lambda + \lambda_0 + \mu}{\lambda(\lambda + \lambda_0)}$	$\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{(\lambda + \lambda_0)[1 - g^*(\lambda)]}$
Punkt- und durchschnittliche Verfügbarkeit im stationären Zustand ($\lim_{t \to \infty} \Pr\{\text{im Arbeitszustand zum Zeitpunkt } t\}$)	$\frac{1}{1 + \lambda \cdot MTTR}$	$\prod_{i=1}^{n} \frac{1}{1 + \lambda_i \cdot MTTR_i}$	$\frac{\mu(\lambda + \lambda_0 + \mu)}{(\lambda + \lambda_0)(\lambda + \mu) + \mu^2}$	$\frac{\lambda + \lambda_0 [1 - g^*(\lambda)]}{\lambda(\lambda + \lambda_0) \cdot MTTR + \lambda g^*(\lambda)}$

I) Die Zuverlässigkeitsfunktion ist in Laplace-Transformation gegeben, d.h. $R_S^*(s) = \int_0^\infty R_S(t)\, e^{-st}\, dt$. Ähnlich $g^*(s + \lambda) = \int_0^\infty g(t)\, e^{-(s+\lambda)t}\, dt$, wobei $g(t)$ die Verteilungsdichte der Instandsetzungszeit der Elemente ist.

II) Für $\lambda_0 = \lambda$ bzw. $\lambda_0 = 0$ hat man die Fälle der heissen bzw. der kalten Redundanz.

5. Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit reparierbarer Betrachtungseinheiten

Die Untersuchung des Zeitverhaltens von reparierbaren Betrachtungseinheiten erfolgt mit Hilfe der Theorie der stochastischen Prozesse. Dabei wird in der Regel vom Zuverlässigkeitsblockdiagramm und von den Verteilungsfunktionen der ausfallfreien Arbeitszeiten und der Instandsetzungszeiten ausgegangen. Zur Vereinfachung wird oft angenommen, dass nach jeder Instandsetzung die betreffende Betrachtungseinheit als neuwertig angesehen werden kann. Die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit werden zuerst als Funktionen der Zeit ausgedrückt. Von der Zuverlässigkeitsfunktion wird dann mit Hilfe der Gleichung (6) der Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeit der ganzen Betrachtungseinheit berechnet. Für die Verfügbarkeit kann oft auch der stationäre (oder asymptotische) Wert bestimmt werden. Tab. III fasst einige wichtige Resultate zusammen, siehe z.B. [12; 29].

6. Zuverlässigkeitsprüfungen

Zuverlässigkeitsprüfungen sind unentbehrlich, um die in der Praxis erreichte Zuverlässigkeit beurteilen zu können. Es wird grundsätzlich zwischen Ermittlung und Nachweis unterschieden. Im ersten Falle wird eine Punkt- oder eine Intervallschätzung der «wahren» Zuverlässigkeit gesucht (Parameterschätzung), im zweiten Falle sucht man eine Regel zur Prüfung von Hypothesen der Form: Die Zuverlässigkeit R ist grösser als ein vorgegebener Wert, z.B. $R > R_0$ (Hypothesenprüfung). Je früher man mit Zuverlässigkeitsprüfungen beginnt (noch vor der Qualifikationsphase), desto schneller können Schwachstellen, die in den Zuverlässigkeitsanalysen nicht beachtet wurden, entdeckt und oft mit geringem Aufwand behoben werden. Dadurch wird ein Lernprozess aufgebaut, der zu einer gezielten Verbesserung der Zuverlässigkeit und schliesslich zu einem serienreifen Produkt führt.

Zuverlässigkeitsprüfungen sind oft zeitraubend und kostspielig. Sie müssen deswegen sorgfältig und wenn möglich in Verbindung mit Qualifikations- oder Umweltprüfungen durchgeführt werden. Die Prüfbedingungen sollen möglichst nahe den wirklichen Einsatzbedingungen gewählt werden. Wichtig ist auch, dass die erfassten Daten so vollständig sind, dass die Prüfergebnisse eindeutig interpretiert werden können. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe der Methoden der mathematischen Statistik. Diese Methoden können sowohl für Zuverlässigkeits- wie auch für Instandhaltbarkeits-, Verfügbarkeits- und Sicherheitsprüfungen verwendet werden. Sie sind in der Literatur eingehend untersucht worden [7; 9; 10; 12; 30].

Literatur

[1] *J.M. Juran, F.M. Gryna* and *R.S. Bingham:* Quality control handbook. Third edition. New York, McGraw-Hill, 1974.
[2] *R.K. Vocht:* Handbuch Qualitätsförderung. München, Verlag Moderne Industrie, 1974.
[3] *T.T. Samaras* and *F.L. Czerwinski:* Fundamentals of configuration management. New York, John Wiley, 1971.
[4] Guide for reducing quality costs. Milwaukee, American Society for Quality Control, 1977.
[5] *A. Birolini:* Zusammenhang zwischen Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit. Informationstagung «Qualitätskontrolle und Zuverlässigkeit» vom 21. September 1978, Universität Freiburg. Zürich, SEV, 1978; S. 1...22.
[6] *M.L. Shooman:* Probabilistic reliability: An engineering approach. New York, McGraw-Hill, 1968.
[7] *P. Bitter* u.a.: Technische Zuverlässigkeit. Problematik, mathematische Grundlagen, Untersuchungsmethoden, Anwendungen. 2. Auflage. Berlin u.a., Springer Verlag, 1977.
[8] *R.T. Anderson:* Reliability design handbook. RDH-376. New York, Reliability Analysis Center/Griffiss Air Force Base, 1976.
[9] Development guide for reliability. Part 1 to 6. AMC Pamphlet 706–195... 706–200. Alexandria/Va., Headquarters, US Army Materiel Command, 1975/1976.
10] *H. Störmer:* Mathematische Theorie der Zuverlässigkeit. Einführung und Anwendungen. München, Oldenbourg, 1970.
[11] *R.E. Barlow* a.o.: Statistical theory of reliability and life testing. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1975.
[12] *A. Birolini:* Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen. Autographie zur Vorlesung an der ETH Zürich. 2. Auflage. Zürich, Selbstverlag, 1977.
[13] Reliability predition of electronic equipment. MIL-Handbook-217C.
[14] Recueil de données de fiabilité. Lannion (Côtes-du-Nord), Centre National des Etudes des Télécommunication, 1976.
[15] Reliability databooks. MDR-6, MDR-7, MDR-8, MDR-9, DSR-2 and NPRD-1. New York, Reliability Analysis Center/Griffiss Air Force Base, 1975/1978.
[16] Test methods and procedures for microelectronics. MIL-Standard 883A.
[17] *J.T. Henderson:* IC screening, reliability or ripoff? Proceedings of the IEEE Reliability and Maintainability Symposium (1976) p. 452...455.
[18] *R.C. Foster:* Why consider screening, burn-in, and 100-percent testing for commercial devices. IEEE Trans. MFT 5(1976)3, p. 52...58.
[19] *J.D. Ekings* a.o.: Burn-in forever? There must be a better way. Proceedings of the IEEE Reliability and Maintainability Symposium (1978), p. 286...293.
[20] *D.S. Peck:* New concerns about integrated circuit reliability. Reliability Physics. Annual Proceedings 16(1978), p. 1...6.
[21] *E.R. Hnatek:* High-reliability semiconductors: Paying more doesn't always pay off. Electronics 50(1977)3, p. 101...105.
[22] *W.E. Jordan:* Failure modes, effects and criticality analysis. Proceedings of the IEEE Reliability and Maintainability Symposium (1972), p. 30...37.
[23] *G.L. Barbour:* Failure modes and effects analysis by matrix method. Proceedings of the IEEE Reliability and Maintainability Symposium (1977) p. 114...119.
[24] Procedures for performing a FMEA for shipboard equipment. MIL-Standard 1629.
[25] Nuclear system reliability and safety. Special issue. IEEE Trans. Reliability 25(1976)3.
[26a] Maintenance engineering techniques. AMC Pamphlet 706–132. Alexandria/Va., Headquarters, US Army Materiel Command, 1975.
[26b] Maintainability engineering. AMC Pamphlet 706–133. Alexancria/Va, Headquarters, US Army Materiel Command, 1976.
[26c] Maintainability guide for design. AMC Pamphlet 706–134. Alexandria/Va, Headquarters, US Army Materiel Command, 1972.
[27] *B.S. Blanchard* and *E.E. Lowery:* Maintainability: Principles and practices. New York, McGraw-Hill, 1969.
[28a] Maintainability program requirements for systems and equipments. MIL-Standard 470.
[28b] Maintainability predition. MIL Standard 472.
[29] *A Birolini:* Some applications of regenerative stochastic processes to reliability theory. Part one: Tutorial introduction. IEEE Trans. Reliability 23(1974)3, p. 186...194. Part two: Reliability and availability of 2-item redundant systems. IEEE Trans. Reliability 24(1975)5, p. 336...340.
[30a] Reliability design qualification and production acceptance tests: Exponential distribution. MIL Standard 781C.
[30b] Maintainability demonstration. MIL Standard 471.

Adresse des Autors

Dr.sc.techn. *A. Birolini,* Landhusweg 8, 8052 Zürich.

Literatur – Bibliographie

DK: 546.11 : 620.92 SEV-Nr. A 720

Wasserstoff als Energieträger. Herstellung, Lagerung, Transport. Von *Nikola Getoff.* Wien/New York, Springer-Verlag, 1977; 8°, XVI/419 S., 166 Fig. Preis: bro. DM 98.–.

Vorlage für dieses Buch bildeten zwei vom österreichischen Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung in Auftrag gegebene Studien, nämlich einerseits eine «Studie über die Möglichkeiten der Wasserstoffgewinnung mit Hilfe von Sonnenenergie und hochenergetischer Strahlung» und anderseits eine «Bestandesaufnahme und Literaturübersicht nationaler und internationaler Forschungen zur Erzeugung von Wasserstoff». Der Schwerpunkt des Buches liegt denn auch ausgesprochen auf der Wasserstoff-*Erzeugung.*

Im ersten Hauptkapitel wird die *Wasserstofferzeugung durch Elektrolyse* behandelt (inkl. Kostenabschätzung und Patentverzeichnis). Diese ist technisch ausgereift und wird in beträchtlichem Umfang eingesetzt, wo das Element Wasserstoff benötigt wird. Die Wirtschaftlichkeit der Elektrolyse ist vom Strompreis stark abhängig, weshalb eine breitangelegte Wasserstoff-Energiewirtschaft auf Elektrolysebasis kurzfristig nicht wirtschaftlich ist.

Das zweite Kapitel *Thermochemische Methoden der Wasserstoff-Erzeugung* geht auf die Wasserstoff-Erzeugung aus Wasserdampf, Kohle und Erdöl und die Wasserstoffgewinnung mit Hilfe von geschlossenen thermochemischen Systemen ein. Die derzeit billigste und ausgereifteste Methode der H_2-Erzeugung aus fossilen Brennstoffen mit offenen thermochemischen Systemen ist kurzfristig einsetzbar.

Das folgende, umfangreichste Kapitel *Wasserstoff-Erzeugung mit Hilfe von Sonnenenergie* bringt auf der Basis heutiger Kenntnisse zahlreiche in die Zukunft weisende Möglichkeiten mit Photo-Redox-Methoden, mit Halbleitern diverser Art und auch mit biochemischen Mechanismen. Ebenso in die Zukunft weist das Kapitel *Möglichkeiten der Wasserstoff-Erzeugung durch hochenergetische Strahlung,* die aus Kernkraftreaktoren verschiedener Bauart stammen kann.

Der Titel des Buches scheint etwas allzu weitgespannt, wenn man zum Schluss die beiden Kapitel *Lagerung von Wasserstoff* und *Transport und Distribution von Wasserstoff* liest, die nur eine ganz kurze Übersicht enthalten.

Für die praktische Anwendung des Wasserstoffes als Energieträger unterscheidet der Autor drei Zeitabschnitte:

– Benutzung greifbarer Verfahren innerhalb der nächsten 10 Jahre auf gegenwärtiger Technologie beruhend und unter Benützung vorhandener Primärenergiequellen.

– Mittelfristig einsetzbare Verfahren (etwa bis zum Jahre 2010) mit Methoden, die gegenwärtig noch in Entwicklung stehen. Gleichzeitig wird auf der Nutzungsseite auch mit der Verwendung ausgereifter Brennstoffzellen gerechnet.

Ab ungefähr dem Jahre 2010 ist die Nutzung langfristig einsetzbarer Verfahren sowie neuer Primärenergiequellen notwendig, vor allem von Sonnenenergie und Fusionsprozessen. Hierfür ist aber bereits heute eine massive und gezielte Grundlagenforschung zu leisten. *P. Troller*

DK: 531.761 : 537.726 : 621.317.361 SEV-Nr. A 726

Frequency and Time. By *P. Kartaschoff,* London/New York/San Francisco, Academic Press, 1978; 8°, XVI/260 p., fig., tab. Price: cloth £ 12.50.

In den letzten Jahrzehnten hat auf dem Gebiet der Frequenz- und Zeitmessung eine stille Revolution stattgefunden. Physikern und Ingenieuren auf diesem Gebiet ein zeitgemässes Grundlagenwissen zu vermitteln und auch Auskunft über die neuesten Messmethoden und Verfahren zu geben, ist Ziel dieses Buches.

Der einleitende Teil befasst sich mit der Frequenzstabilität und deren Messung, mit Uhren und Frequenzgeneratoren, basierend auf der Anwendung von Quarzen und Atomresonatoren und gibt abrundend ausführlich Auskunft über Zeitskalen unter besonderer Berücksichtigung der komplexen Struktur der internationalen Koordination. Dieses Unterkapitel versorgt den Leser mit wertvollem Daten- und Zahlenmaterial, das aus der Literatur nur mühsam zusammenzutragen wäre. Als theoretische Hilfsmittel werden Methoden der Statistik und Beschreibungen im Zeit- und Frequenzbereich benutzt. Sehr sorgfältig wird

danach in praktischer und theoretischer Hinsicht auf die mit diesem Thema verbundene Messtechnik eingegangen. Die detaillierte Besprechung von sieben Anwendungsbeispielen, wie Radionavigation, rundet die Darstellung des Problemkreises «Frequenz und Zeit» zu einem geschlossenen Ganzen ab.

Das Buch ist ein wertvolles Hilfsmittel sowohl für den Theoretiker als auch für den Praktiker. Die Literaturhinweise am Schluss der einzelnen Kapitel stehen auf dem neuesten Stand und erlauben dem Leser einen leichten Einstieg in die weiteren Vertiefungsmöglichkeiten. Für den Praktiker wird das Buch durch seine Tafeln, Tabellen und Beschreibung von Anwendungen zu einem Nachschlagewerk, wie es auf dem Markt bis jetzt noch nicht zu finden war. Ein gewisser Lehrbuchcharakter auf akademischem Niveau kann dem Werk nicht abgesprochen werden. In englischer Sprache abgefasst, von Stil und Aufbau her angenehm zu lesen, schliesst das Buch in mehrfacher Hinsicht eine spürbare Lücke in der Ingenieurliteratur. *J. Bazali*

DK: 621.382.049 SEV-Nr. A 649/4. Aufl.

Halbleiter-Schaltungstechnik. Von *U. Tietze* und *C. Schenk.* 4. Auflage. Berlin/Heidelberg/New York, Springer-Verlag, 1978; 8°, X/715 S., 804 Fig. Preis: gb. DM 98.–.

Die rasante Entwicklung der Halbleitertechnik und ihr Eindringen in immer neue Gebiete bedingten eine völlige Überarbeitung dieses Werkes, das nun in seiner vierten, wesentlich erweiterten Auflage vorliegt. Im Gegensatz zu früheren Auflagen wurde der Stoff nun in zwei deutlich getrennte Teile gegliedert. Der erste Teil behandelt die Grundlagen der Halbleiter-Schaltungstechnik und ist als Einführung für Studierende in technischen Hoch- und Fachschulen gedacht. In der bewährten Art der bisherigen Auflagen wird in der Behandlung der Grundzüge bewusst auf untergeordnete Erscheinungen verzichtet, womit eine wesentliche Vereinfachung der Formeln erreicht wird, ohne dadurch die numerischen Ergebnisse nennenswert zu beeinflussen.

Der zweite Teil wendet sich den praktischen Anwendungen zu. Sein Aufbau ist derart, dass jedes Kapitel für sich allein gelesen werden kann. Er gibt einen Überblick über die vielfältigen Schaltungsmöglichkeiten. Dabei wurde die Verwendung von integrierten Schaltungen in den Vordergrund gestellt. Da vor allem in der Digitaltechnik heute für viele Anwendungen hochintegrierte Bausteine erhältlich sind, wird die Optimierung in der Kombination geeigneter Spezialschaltungen gezeigt.

Spezielle Kapitel sind den Schaltnetzwerken, den Mikroprozessoren und den DA- und AD-Wandlern gewidmet. Vor allem für die Mikroprozessortechnik, die mit ein und derselben Schaltungsanordnung der jeweiligen Aufgabenstellung angepasst werden kann, werden Hardware- und Softwareaspekte behandelt, um den Übergang von der konventionellen Digitalschaltungstechnik zur Mikroprozessoranwendung zu erleichtern. *D. Kretz*

DK: 621.317 SEV-Nr. A 716

Industrielle Messtechnik. Von *Paul Profos.* 2. Auflage. Essen, Vulkan-Verlag, 1978; 8°, XXVIII/919 S., Fig., Tab. Preis: gb. DM 250.–.

Im Jahre 1974 erstmals erschienen, liegt heute die 2. Auflage des Handbuches der industriellen Messtechnik, neu überarbeitet und in einigen Kapiteln wesentlich ergänzt, vor.

Der Inhalt des Buches ist in 3 Teile gegliedert. Zuerst werden die Begriffe des Messens, die Eigenschaften von Meßsystemen und die Messfehler sehr eingehend und verständlich in der Theorie dargestellt. Ein spezieller Abschnitt behandelt die gesetzlichen Grundlagen des Messens besonders im Zusammenhang mit dem internationalen Einheitensystem SI. Der 2. Teil befasst sich mit der allgemeinen Gerätetechnik, wobei sowohl der Diskussion der fundamentalen Funktionen der Meßsysteme als auch der Messgrössenerfassung und deren Umformung und Verarbeitung mit modernen Methoden ein wesentliches Gewicht gegeben wird. Der Zuverlässigkeit von Meßsystemen, ein Gebiet, das in manchen Lehr- und Handbüchern keinen Platz findet, wird ebenfalls volle Aufmerksamkeit geschenkt. Der 3. und umfangreichste Teil ist ganz den Messverfahren und den Messgeräten gewidmet. Die Gliederung erfolgt nach den Messgrössen, was eine übersichtliche Darstellung ergibt. Sehr praxisbezogen werden die einzelnen Fachgebiete, dem heutigen Wissensstand entsprechend, von der Verfahrens- und der Geräteseite her beleuchtet und mit einem umfassenden Literaturverzeichnis jeweils abgeschlossen.

Vom Inhalt und vom Aufbau her ist das vorliegende Buch dem in der Industrie tätigen Ingenieur eine wertvolle Arbeitshilfe, dies um so mehr, als eine grosse Anzahl Fachspezialisten als Mitautoren gewirkt haben und ein umfangreiches Stichwortverzeichnis es zu einem echten Handbuch macht. Leider wurden im 3. Teil die SI-Einheiten nicht überall konsequent verwendet, was ein kleiner Schönheitsfehler ist. Dies tut aber der Qualität des Buches keinen Abbruch. *O. Piller*

DK: 389.1(100) : 53.081 : 51 : 621.3 SEV-Nr. 9 725

Vereinfachtes Fachrechnen mit SI-Einheiten. Elektrotechnik. Von *Max Kellenberger,* St. Gallen, Gewerbliche Berufsschule, 1978; 8°, III/40 S., Fig., Tab. Preis: bro. Fr. 13.50.

Das Büchlein enthält Beispiele und Aufgaben für den Unterricht in Elektrotechnik auf Stufe Gewerbeschule. Als Fachlehrer hat der Autor festgestellt, dass seine Schüler oft Schwierigkeiten im Umgang mit Formeln der Physik und Elektrotechnik haben. Als kohärentes Maßsystem bietet das SI-System nun die Möglichkeit, die Formeln statt aus physikalischen Grössen direkt aus Messzahlen und Einheiten aufzubauen. Damit werden die Masseinheiten von einer Kontrollmöglichkeit zum eigentlichen Baustein der physikalischen Zusammenhänge.

Anhand von 29 aus verschiedenen Aufgabengattungen systematisch ausgewählten Beispielen wird die Methode erläutert: Man kombiniert die jeweils gegebenen Grössen aufgrund ihrer Dimensionen und bekannter Zusammenhänge derart, dass das gesuchte Resultat in der richtigen Dimension entsteht. In einem nächsten Schritt kann man auf diese Weise auch die physikalische Formel herleiten.

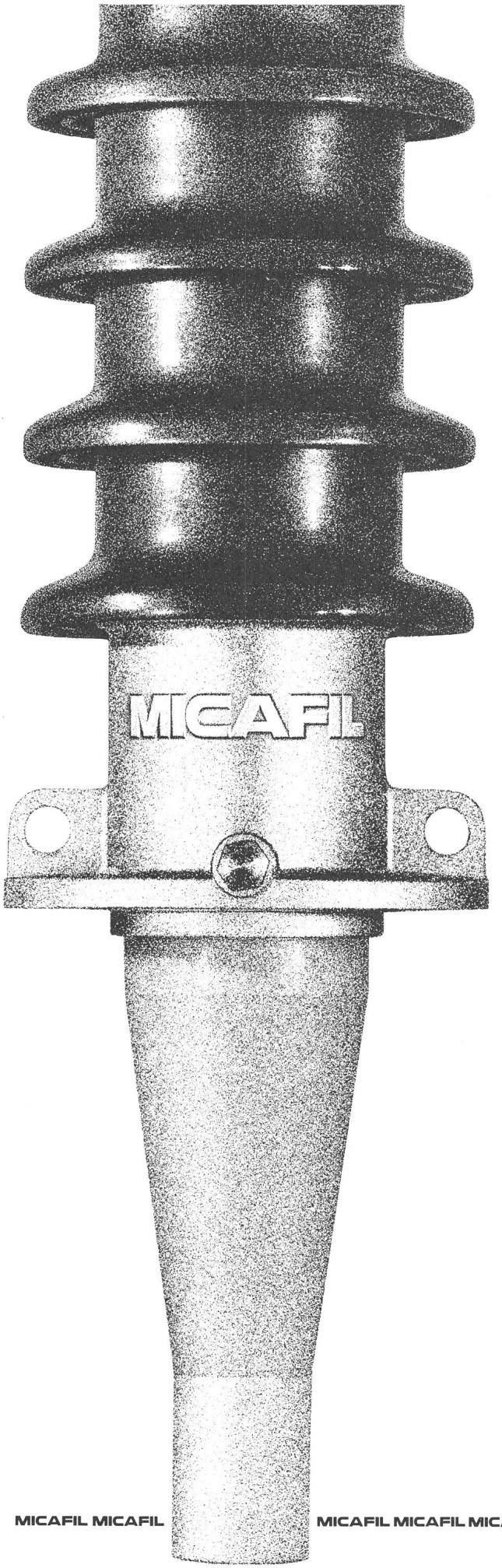
Die Methode mag bei einfachen Zusammenhängen zum richtigen Resultat führen. Aber schon zur Berücksichtigung des (dimensionslosen) Wirkungsgrades braucht der Autor zusätzliche und umfangreiche Erklärungen und ein «Rezept». Fraglich ist auch, ob mit dieser weitgehend formellen Methode das ohnehin schwer zu vermittelnde Verständnis der physikalischen Zusammenhänge nicht noch mehr leidet. *Eb*

DK: 621.38 : 629.113 SEV-Nr. A 722

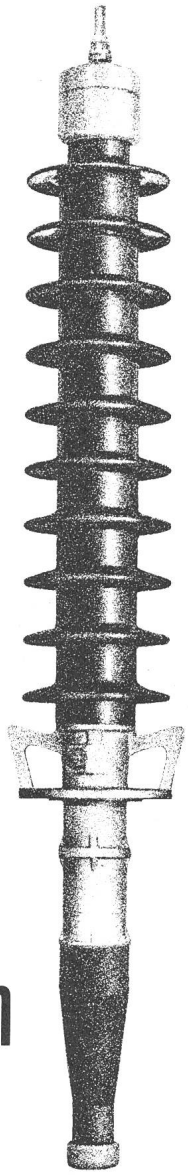
Elektronik im Kraftfahrzeug. Von *Helmut Schwarz.* Berlin, VDE-Verlag, 1978; 8°, 80 S., 70 Fig. Preis: bro. DM 16.80.

Diese Broschüre ist offenbar für Leser bestimmt, die sich rasch einen Überblick über die Elektronik im Kraftfahrzeug verschaffen möchten. Der Autor versteht es in den meisten Fällen, ohne Umschweife über das Wichtigste – die Vorteile der Elektronik gegenüber dem Bisherigen und deren Wirkungsweise – zu berichten. Wer sich genauer im Einzelnen informieren will, findet am Schluss einige ausgewählte Literaturstellen. Im ersten Teil, «Was heute schon im Kraftfahrzeug eingebaut wird», sind über fünfundzwanzig Anwendungen der Elektronik beschrieben, wobei einige besondere Beachtung erfuhren, wie z. B. die Elektronik am Motor mit Zündsystemen und Nachrüst-Zündsystemen, die Benzineinspritzung, die Abgaskontrolle mittels λ-Sonde zur Messung der Sauerstoffkonzentration, der Fahrgeschwindigkeitsregler, die Anlassbereitschaftsanzeige für Diesel-Fahrzeuge u. a. Zum gleichen Teil geschlagen wurde auch die Elektronik um das Auto herum, namentlich die Testgeräte für Diagnose und Einstellung, Batterieladegeräte und der funkferngesteuerte Garagentorantrieb. Im zweiten Teil, «Zukünftige elektronische Geräte», wird u. a. das Antiblockiersystem beschrieben, das dank der Elektronik, preislich tragbar, in absehbarer Zukunft zur Anwendung kommen wird. Mit diesem System kann der gefährliche Zustand blockierter Räder, verursacht durch zu starkes Betätigen der Bremsen, vermieden werden.

Wegen den zum Teil nicht gut reproduzierten Fotografien (zu klein, beschriebene Details nicht sichtbar) und wegen einiger unzulänglicher Beschreibungen (vor allem der Dioden für Drehstromgeneratoren) bleibt der Eindruck, dass diesem Werk der sog. letzte Schliff fehlt. Es wäre zu wünschen, dass diese, besonders für den Nicht-Elektroniker notwendigen Kleinigkeiten bei nächster Gelegenheit besser dargestellt würden. *A. Morskoi*



Micafil-Durchführungen bringen nicht nur technische Vorteile... ...sie wirken sich auch auf den Preis Ihrer Transformatoren günstig aus!



Die Typenreihen UTxf, UTrf und UTkf besitzen das neue Isolationssystem Drysomic® – Der Teilentladungseinsatz erfolgt erst bei 1,5facher Betriebsspannung gegen Erde –

Die Reihe WTxf ist mit ölimprägnierter Hauptisolation ausgerüstet –

Eine umfangreiche, ausführliche Dokumentation mit Literatur steht Ihnen auf Anfrage zur Verfügung

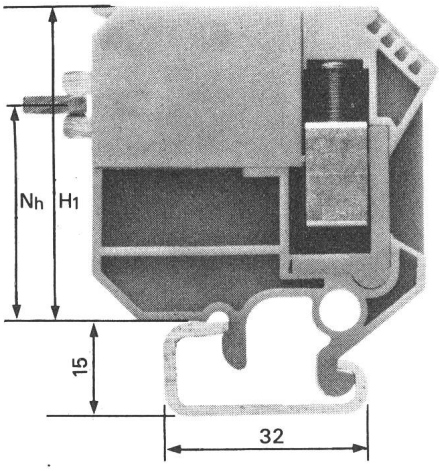
Micafil AG
Abt. Durchführungen Postfach 8048 Zürich

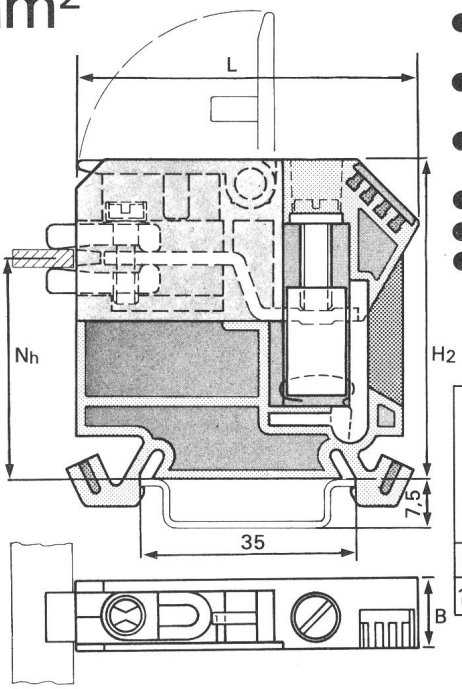
MICAFIL MICAFIL MICAFIL MICAFIL MICAFIL MICAFIL MICAFIL MICAFIL MICAFIL MICAFIL MICAFIL MICAFIL

Nulleiter-Trennklemme

4 mm² und 16 mm²

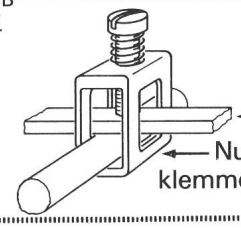
800 V nach SEV
750 V nach VDE der Gruppe c
600 V nach CSA





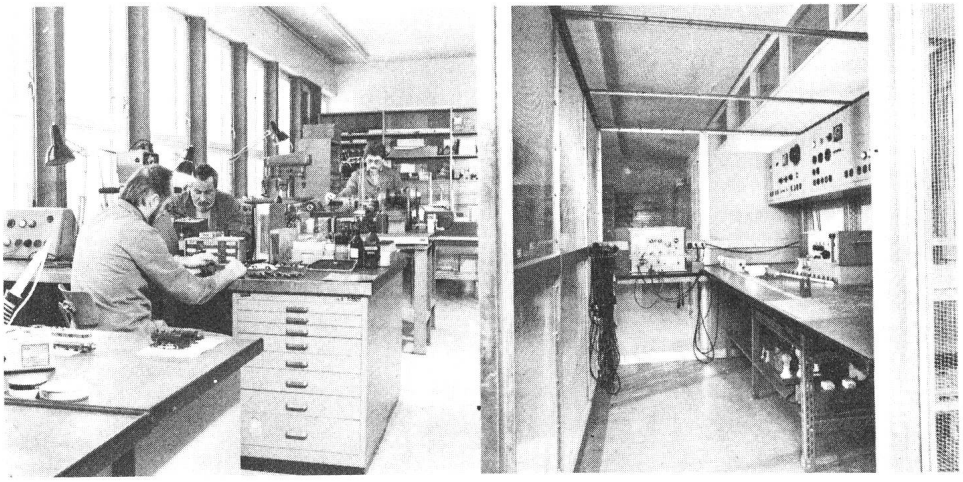
- Isolierkörper aus Polyamid 6.6
- Klemmteile aus Messing vernickelt
- mit Feder im Klemmteil des Leiters zur Sicherung gegen Selbstlockern
- Schrauben und Feder aus korrosionsgeschütztem Stahl
- mit Sicherheitsabdeckung zur Verriegelung des Nulleiters
- bei beiden Grössen die gleiche Distanz (N_h) für den Nulleiter
- mit 4 Bezeichnungsmöglichkeiten
- für DIN-Schienen 32 mm und 35 mm
- bei beiden Grössen können steife Leiter des Nennquerschnitts oder flexible Leiter des Nennquerschnitts mit Endhülse unterklemmt werden

	DIN 32 mm			DIN 35 mm		
	H_1	L	B	H_2	L	B
4 mm²	51	52	7,5	51,5	52	7,5
16 mm²	51	55	11	51,5	55	11



OSKAR WOERTZ BASEL

Fabrik elektrotechnischer Artikel CH-4002 Basel
Eulerstrasse 55 Telefon 061 23 45 30 Telex 63179



Störschutzmassnahmen und Entstörungsvorschläge für elektrische Haushaltapparate, industrielle Geräte, Steueranlagen usw.

Fabrikanten, Installateure und Importeure von elektrischen Apparaten, Anlagen, Steuerungen usw. beraten wir fachmännisch dank langjähriger Erfahrung.

PRO RADIO TELEVISION

PRO RADIO-TELEVISION
Entstörungszentrum
Grünaustrasse 15, 3084 Wabern
Telefon 031 54 22 44