Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 77 (1986)

Heft: 7

Artikel: Zuverlässigkeitssicherung technischer Systeme : Teil 1 : Grundlagen und organisatorische Voraussetzungen

Autor: Birolini, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904182

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: 11.07.2025

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

Zuverlässigkeitssicherung technischer Systeme

Teil 1: Grundlagen und organisatorische Voraussetzungen

A. Birolini

Die Sicherstellung der Zuverlässigkeit technischer Systeme erfordert eine Reihe von Aktivitäten, die von der Definitions- bis zur Nutzungsphase durchgeführt werden müssen. Dieser Aufsatz führt die Grundbegriffe ein und stellt die zugrunde liegenden Aufgaben sowie die organisatorischen Voraussetzungen dar. Behandelt werden auch die Schnittstellen zur Qualitätssicherung und zur Sicherstellung der Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit.

L'assurance de la fiabilité d'un système technique demande la réalisation d'un certain nombre d'activités tout au long du cycle de vie du système. Cet article introduit les notions de base et décrit les tâches à exécuter. Il considère aussi l'interface avec l'assurance qualité et avec l'assurance de la maintenabilité, de la disponibilité et de la sécurité.

Der Aufsatz (Teil 1 und 2) ist eine überarbeitete Fassung der Antrittsvorlesung, die der Autor als Privatdozent am 14. Januar 1986 an der ETH Zürich gehalten hat.

Adresse des Autors
Prof. Dr. *A. Birolini*, Institut für Elektronik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

1. Notwendigkeit der Zuverlässigkeitssicherung

Bis zum Beginn der sechziger Jahre wurden die technischen Systeme (Geräte, Maschinen, Anlagen) praktisch nur bezüglich Leistungsfähigkeit und Anschaffungskosten optimiert. Die Qualitätssicherung war auf die Fertigungsqualität beschränkt. Das Qualitätsziel schien erreicht, wenn das System bei der Endprüfung für fehlerfrei befunden wurde.

Zahlreiche Erfahrungen im Luftfahrt-, Raumfahrt- und Militärgebiet, in der Prozesssteuerung und Automationstechnik sowie in der Energieversorgung haben jedoch gezeigt, dass fehlerfrei zur Zeit $t = 0$ nicht mehr ausreicht. Wichtig für viele Anwendungen ist, dass eine geforderte Funktion ausfallfrei ausgeführt wird oder zumindest, dass bei einem Ausfall das System sicher und unter Kontrolle (fail safe) bleibt [1,...,9]. Von einem hochwertigen technischen System erwartet man heutzutage nicht nur Leistungsfähigkeit, sondern auch Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit. Jeder Hersteller solcher Systeme muss diesem Trend Rechnung tragen; einerseits, um seine Konkurrenzfähigkeit zu sichern und anderseits, um hohe Garantieleistungen und Imageeinbussen wegen Frühausfällen zu vermeiden und das Auftreten von Produkthaftpflichtfällen zu verhindern.

Viele Kunden gehen heute schon so weit, dass sie entsprechende Forderungen in Pflichtenheften und Verträgen festlegen und für deren Sicherstellung die Anwendung etablierter Normen verlangen [1,...,3]. Die Tabelle I fasst die wichtigsten Normen auf dem Gebiet der Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherung technischer Systeme zusammen [2]. Ursprünglich für Militäranwendungen gedacht, finden diese Normen auch auf dem Zivilsektor mehr und mehr Zugang. Die MIL-Q-9858 für Qualitätssicherungssysteme wurde in den NATO-Normen verfeinert und für den Zivilsektor vereinfacht. Die MIL-STD-785, -470 und -882 für die Sicherstellung von Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit werden auszugsweise auch auf dem Zivilsektor verwendet. Die MIL-STD-781 für den Nachweis einer MTBF (Tab. I) wurde in der IEC-Norm 605 übernommen.

Der Schutz gegen Produkthaftpflichtfälle bildet einen weiteren Grund für die Sicherstellung der Zuverlässigkeit und der Sicherheit technischer Systeme.

Die rasche Zunahme der Produkthaftpflichtfälle in den USA (50 000 im Jahr 1960, 500 000 im Jahr 1970, über eine Million im Jahr 1980) darf von einem exportorientierten Unternehmen nicht übersehen werden. Diese geradezu chaotischen Verhältnisse haben ihren Ursprung wohl in den besonderen prozessualen Verfahren der USA (verschuldensunabhängige statt verschuldensabhängige Haftung). Ein gut ausgebautes Qualitätssicherungssystem und die Durchführung von Zuverlässigkeits- und Sicherheitsanalysen sind die notwendigen Voraussetzungen, um Produkthaftpflichtfälle zu verhindern.

2. Grundbegriffe

Die wichtigsten Begriffe im Zusammenhang mit der Zuverlässigkeitssicherung technischer Systeme sind in Tabelle II zusammengefasst. Im folgenden sollen einige davon kurz besprochen werden.

2.1 Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit ist die Eigenschaft der Betrachtungseinheit, funktionstüchtig zu bleiben. Sie wird mit R

Wichtige Normen auf dem Gebiet der Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherung technischer Systeme Tabelle I

Raumfahrt			
1974	USA	NHB-5300.4(1D-1)	: Safety, reliability, maintainability and quality provisions for the space shuttle program
1976	Europa	PSS-01-0	: Basic requirements for product assurance of ESA spacecraft and associated equipment (neue Aufl.1981)
Militär			
1959	USA	MIL-Q-9858	: Quality program requirements (Aufl.A,1963)
1965	USA	MIL-STD-785	: Reliability program for systems and equipment development and production (Aufl.B,1980)
1965	USA	MIL-STD-781	: Reliability design qualification and production acceptance tests: exponential distribution (Aufl.C,1977)
1966	USA	MIL-STD-470	: Maintainability program for systems and equipment (Aufl.A,1983)
1966	USA	MIL-STD-471	: Maintainability verification/demonstration/evaluation (Aufl.A,1973)
1968	USA	MIL-STD-1472	: Human engineering design criteria for military systems, equipment and facilities (Aufl.B,1974)
1968	NATO	AQAP-1	: NATO quality control system requirements for industry (2.Aufl.,1972)
1969	USA	MIL-STD-882	: System safety program requirements (Aufl.A,1977)
1974	USA	MIL-S-52779	: Software quality assurance program requirements (Aufl.A,1979)
1982	CH	GRD-QS-Norm	: Anforderungen an Qualitätssicherungssysteme von Auftragnehmern der GRD
Nuklear			
1971	USA	ANSI N45.2	: Quality assurance program requirements for nuclear power plants
Allg. Investitionsgüter			
1972 -83	BRD	VDI 4003	: Bl.1 Zuverlässigkeits-Programmklassen (1972); Bl.2 Funktionszuverlässigkeit (1973); Bl.3 Instandhaltbarkeit (1983); Bl.4 Sicherheit (1983); Bl.5 Verfügbarkeit (1982)
1979	USA	ANSI Z-1.15	: Generic guidelines for quality systems (Ersatz für Z-1.8,1971)
1979	BRD	DIN 55355	: Grundelemente für Qualitätssicherungssysteme
1979	GB	BSI BS 5750	: Quality systems - Part 1 to 3
1982	CH	SNV SN 029100	: Anforderungen an Qualitätssicherungssysteme
-	Int.	ISO/DP 9001/2/3	: Quality systems (in Bearbeitung)

bezeichnet und durch die Wahrscheinlichkeit ausgedrückt, dass die Betrachtungseinheit eine geforderte Funktion unter vorgegebenen Arbeitsbedingungen während einer festgelegten Zeitdauer T ausfallfrei ausführt. Der Begriff Betrachtungseinheit steht dabei für eine beliebige Anordnung (Bauteil, Baugruppe, Gerät, Maschine, Anlage, System), welche für Untersuchungen und Analysen als Einheit interpretiert wird. Die geforderte Funktion spezifiziert die Aufgabe der Betrachtungseinheit (mit Sollwerten und Toleranzen). Die Arbeitsbedingungen haben einen grossen Einfluss auf die Zuverlässigkeit und müssen sorgfältig abgeklärt werden. Für integrierte Schaltungen verdoppelt sich z.B. die Ausfallrate, wenn die Umgebungstemperatur um etwa 10 °C erhöht wird; sie kann sogar um einen Faktor 20 steigen, wenn die ICs auf Flugzeugen oder Schiffen betrieben werden.

Oft interessiert auch der Verlauf der Zuverlässigkeit R, insbesondere dann, wenn die Missionsdauer variiert. Die Zuverlässigkeitsfunktion $R(t)$ ist dann definiert durch

$$R(t) = Pr\{\text{kein Ausfall in } (0, t)\} \quad (1)$$

In Worten, $R(t)$ ist die Wahrscheinlichkeit, dass vom Zeitpunkt $t = 0$ bis zum Zeitpunkt t kein Ausfall auftritt.

Eine weitere wichtige Grösse ist die weiter hinten besprochene Ausfallrate λ. Sie hängt mit der Zuverlässigkeitsfunktion folgendermassen zusammen:

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)}\,\frac{dR(t)}{dt} \quad (2)$$

Mit $R(0) = 1$ ergibt die Integration

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x)\,dx} \quad (2a)$$

Die ausfallfreien Arbeitszeiten weisen bei verschiedenartigen Betrachtungseinheiten verschiedene statistische Verteilungen auf. Im folgenden werden zwei wichtige Spezialfälle beschrieben, die Exponential- und die Weibull-Verteilung.

Bei der Exponential-Verteilung sind die ausfallfreien Arbeitszeiten exponentiell verteilt mit dem Mittelwert

$$\text{MTBF} = 1/\lambda \quad (3)$$

Dabei ist die Ausfallrate konstant

$$\lambda(t) = \lambda \quad (4)$$

und (2a) wird zu

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

Diese Situation trifft bei den meisten elektronischen Betrachtungseinheiten zu und stellt für die Berechnungen den einfachsten Fall dar.

Im zweiten Fall besitzen die ausfallfreien Arbeitszeiten eine Weibull-Verteilung, ihr Mittelwert ist gleich

Wichtige Begriffe auf dem Gebiet der Zuverlässigkeitssicherung Tabelle II

Ausfall (failure): Beendigung der Fähigkeit der Betrachtungseinheit, die geforderte Funktion auszuführen.

Ausfallrate (failure rate): Wahrscheinlichkeit bezogen auf δt, dass die Betrachtungseinheit im Intervall $(t, t+\delta t)$ ausfallen wird, unter der Bedingung, dass sie zur Zeit $t = 0$ eingeschaltet wurde und im Intervall $(0, t)$ nicht ausgefallen ist.

Betrachtungseinheit (item): Beliebige Anordnung, wie z.B. Stoff, Bauteil, Unterbaugruppe, Baugruppe, Gerät, Anlage, System, welche für Untersuchungen oder Analysen als eine Einheit betrachtet wird.

Instandhaltbarkeit (maintainability): Eigenschaft der Betrachtungseinheit, funktionstüchtig gehalten zu werden, ausgedrückt durch die Wahrscheinlichkeit, dass der Zeitaufwand für eine Wartung bzw. für eine Instandsetzung kleiner als ein vorgegebenes Zeitintervall ist; dabei müssen die Instandhaltungsarbeiten unter festgelegten materiellen und personellen Bedingungen erfolgen.

MTBF (Mean Time Between Failures): Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeit einer Betrachtungseinheit mit konstanter Ausfallrate λ; $MTBF = 1/\lambda$.

MTTF (Mean Time To Failure): Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeit einer Betrachtungseinheit mit beliebiger Ausfallrate $\lambda(t)$.

MTTPM (Mean Time To Preventive Maintenance): Mittelwert der Zeit für eine Wartung.

MTTR (Mean Time To Repair): Mittelwert der Reparaturzeit.

Produkthaftung (product liability): Rechtliche Verantwortung des Herstellers für Personen-, Sach- oder Vermögensschäden, die durch den Gebrauch einer fehlerhaften, defekten oder ausgefallenen Betrachtungseinheit verursacht werden.

Sicherheit (safety): Eigenschaft der Betrachtungseinheit, keine Gefahr für Menschen, Sachen oder Umwelt darzustellen.

Systemwirksamkeit (system effectiveness): Mass für die Fähigkeit der Betrachtungseinheit, den vorgegebenen Aufgabenkomplex mit dem bestmöglichen Verhältnis Nutzen zu Lebenslaufkosten zu erfüllen.

Verfügbarkeit/Punkt-Verfügbarkeit (availability/point-availability): Wahrscheinlichkeit, dass die Betrachtungseinheit zu einem bestimmten Zeitpunkt die geforderte Funktion unter vorgegebenen Arbeitsbedingungen ausführt.

Vorbehandlung (screening): Folge von Beanspruchungen, denen ein Los gleicher Betrachtungseinheiten unterworfen wird, um alle Frühausfälle zu provozieren.

Zuverlässigkeit (reliability): Eigenschaft der Betrachtungseinheit, funktionstüchtig zu bleiben, ausgedrückt durch die Wahrscheinlichkeit, dass die geforderte Funktion unter vorgegebenen Arbeitsbedingungen während einer festgelegten Zeitdauer T ausfallfrei ausgeführt wird.

$$MTTF = \frac{\Gamma(1 + 1/\beta)}{\lambda} \qquad (6a)$$

mit

$$\Gamma(1 + 1/\beta) = \int_0^\infty e^{-x} x^{1/\beta} dx \qquad (6b)$$

und für die Ausfallrate und die Zuverlässigkeitsfunktion gilt:

$$\lambda(t) = \beta\lambda(\lambda t)^{\beta-1} \qquad (7)$$

$$R(t) = e^{-(\lambda t)^\beta} \qquad (8)$$

Wie aus Gleichung (7) hervorgeht, ist für $\beta > 1$ die Ausfallrate monoton wachsend. Diese Situation trifft für Betrachtungseinheiten zu, welche Verschleiss oder Ermüdung aufweisen wie z.B. Röhren, Relais, mechanische Bauteile usw.

2.2 Ausfall

Ein Ausfall tritt auf, wenn die Betrachtungseinheit aufhört, ihre geforderte Funktion zu erfüllen. Die Betriebszeit kann dabei sehr kurz gewesen sein, denn Ausfälle können durch transiente Vorgänge beim Einschalten verursacht werden. Bei der Beurteilung eines Ausfalls wird davon ausgegangen, dass zum Beanspruchungsbeginn die Betrachtungseinheit fehlerfrei war. Ausfälle werden in der Regel bezüglich Art, Ursache und Auswirkung eingeteilt.

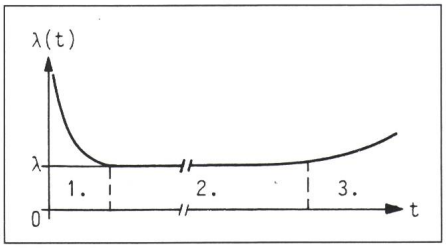

Fig. 1 Typischer Verlauf der Ausfallrate einer Grundgesamtheit gleicher Betrachtungseinheiten

2.3 Ausfallrate

Die Ausfallrate ist gleich der Wahrscheinlichkeit, bezogen auf eine differentielle Zeitspanne δt, dass die Betrachtungseinheit im Intervall $(t, t+\delta t)$ ausfallen wird, unter der Bedingung, dass sie zur Zeit $t = 0$ eingeschaltet wurde und im Intervall $(0, t)$ nicht ausgefallen ist. Sie wird mit $\lambda(t)$ bezeichnet. Zwischen der Ausfallrate und der Zuverlässigkeitsfunktion besteht die Beziehung (2). In der Praxis weist die Ausfallrate einer Gesamtheit statistisch identischer Betrachtungseinheiten den typischen Verlauf einer Badewannenkurve (Fig. 1) auf [1; 2]. Diese setzt sich zusammen aus:

1. *Phase der Frühausfälle:* $\lambda(t)$ nimmt rasch ab. Ausfälle in dieser Phase lassen sich in der Regel auf Materialschwächen, Qualitätsschwankungen in der Fertigung oder Anwendungsfehler (Dimensionierung, Handhabung, Prüfung, Bedienung usw.) zurückführen.
2. *Phase der Ausfälle mit konstanter Ausfallrate:* $\lambda(t)$ ist näherungsweise konstant und gleich λ. In dieser Phase treten die Ausfälle meistens plötzlich und zufällig auf.
3. *Phase der Verschleissausfälle:* $\lambda(t)$ steigt mit steigender Betriebszeit immer schneller an. Ausfälle in dieser Phase sind auf Alterung, Abnützung, Ermüdung usw. zurückzuführen.

Für die Zuverlässigkeitsuntersuchungen wird in der Regel angenommen, dass durch geeignete Vorbehandlung die schwachen Betrachtungseinheiten eliminiert worden sind und zur Zeit $t = 0$ die Ausfallrate einen konstanten Wert λ hat. Für viele elektronische Bauteile bleibt dann die Ausfallrate während der ganzen Brauchbarkeitsdauer näherungsweise konstant.

2.4 Instandhaltbarkeit

Die Instandhaltbarkeit, eine weitere Eigenschaft der Betrachtungseinheit, wird ausgedrückt durch die Wahrscheinlichkeit, dass der Zeitaufwand für eine Wartung (Wartbarkeit) bzw. für eine Reparatur (Instandsetzbarkeit) kleiner als ein vorgegebenes Intervall ist, wenn die Instandhaltung (Wartung bzw. Instandsetzung) unter definierten personellen und materiellen Bedingungen erfolgt. Der Mittelwert der Reparaturzeiten wird mit *MTTR* und jene der Zeiten für eine Wartung mit *MTTPM* bezeichnet (Tab. II).

2.5 Verfügbarkeit

Für reparierbare Betrachtungseinheiten spielt neben der Zuverlässigkeit auch die Verfügbarkeit eine grosse Rolle. Besonders wichtig für die Anwendungen ist die Punkt-Verfügbarkeit $PA(t)$, welche die Wahrscheinlichkeit angibt, die Betrachtungseinheit zur Zeit t in funktionsfähigem Zustand zu finden. Für $t \gg MTTR$ (stationärer Zustand) und unter Vernachlässigung der Wartung und des Einflusses der logistischen Unterstützung gilt

$$PA(t) = PA = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \qquad (9)$$

Im Falle einer konstanten Ausfallrate λ kann *MTTF* durch $MTBF = 1/\lambda$ ersetzt werden. Die Gleichung 9 gibt auch den Wert der durchschnittlichen Verfügbarkeit im stationären Zustand an. Andere Verfügbarkeitsarten werden in [2] behandelt.

2.6 Sicherheit

Die Sicherheit ist die Eigenschaft einer Betrachtungseinheit, keine Gefahr für Menschen, Sachen oder Umwelt darzustellen. Ihre Untersuchung muss unter zwei Gesichtspunkten erfolgen: Sicherheit, wenn die Betrachtungseinheit korrekt funktioniert und betrieben wird, und Sicherheit, wenn die Betrachtungseinheit oder ein Teil davon ausgefallen ist. Der erste Aspekt wird durch die *Unfallverhütung* abgedeckt, die vielfach durch gesetzliche Vorschriften geregelt ist. Der zweite Aspekt ist Gegenstand der *technischen Sicherheit* und wird mit den Methoden der *Zuverlässigkeitstheorie* untersucht. Dabei müssen auch die Einwirkungen äusserer Einflüsse (Katastrophen, Sabotage usw.) berücksichtigt werden. Prinzipiell soll jedoch zwischen technischer Sicherheit und Zuverlässigkeit unterschieden werden. Während die Sicherheitstheorie Massnahmen untersucht, die es gestatten, bei einem Ausfall die Betrachtungseinheit in einen sicheren Zustand zu bringen (fail safe), untersucht die Zuverlässigkeitstheorie Massnahmen, um ganz allgemein die Anzahl Ausfälle zu vermindern. Die Sicherheit einer Betrachtungseinheit bestimmt weitgehend das Auftreten von Produkthaftpflichtfällen.

2.7 Systemwirksamkeit

Alle bisher vorgestellten Begriffe sind miteinander verkoppelt. Ihr Zusammenhang lässt sich am besten mit Hilfe des Begriffs «Systemwirksamkeit» zeigen und ist in Figur 2 dargestellt. Unter Systemwirksamkeit versteht man ein Mass für die Fähigkeit der Betrachtungseinheit, den vorgegebenen Aufgabenkomplex mit dem bestmöglichen Verhältnis von Nutzen zu Lebenslaufkosten zu erfüllen. Als Lebenslaufkosten wird die Summe der Anschaffungs-, Betriebs-, Unterhalts- und Ausscheidungskosten definiert. Ihre Optimierung ist für komplexe technische Systeme zunehmend wichtig geworden. Aus Figur 3 ist die zentrale Funktion der Qualitätssicherung ersichtlich [2]. Diese fasst alle Sicherungsaktivitäten zusammen und stützt sich im wesentlichen auf die Aspekte des Konfigurationsmanagements, der Qualitätsprüfung, der Qualitätssteuerung in der Fertigung, des Qualitätsdatensystems sowie auf den Aspekt der Software-Qualitätssicherung (Abschnitt 5).

3. Aufgaben zur Sicherstellung der Qualität und der Zuverlässigkeit technischer Systeme

Die Erfahrung zeigt, dass die Entwicklung und die Herstellung komplexer technischer Systeme mit einer geforderten Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit sowie mit einem festgelegten Qualitätsniveau nur dann möglich ist, wenn zur Sicherstellung dieser Eigenschaften während aller Lebenslaufphasen (Entstehungsphasen) bestimmte Aktivitäten durchgeführt werden.

Die Hauptaufgaben, welche diesen Aktivitäten zugrunde liegen, sind in Tabelle III zusammengestellt [2]. Diese zeigt auch, in welchen Lebenslaufphasen die einzelnen Aufgaben gelöst werden sollen. Viele davon erstrecken sich über mehrere Projektphasen. Ihre Lösung muss deshalb koordiniert werden. Im Rahmen eines Grossprojekts sind die Aufgaben der Tabelle III in einem projektspezifischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherungsprogramm zu konkretisieren und zu verfeinern [1,...,4].

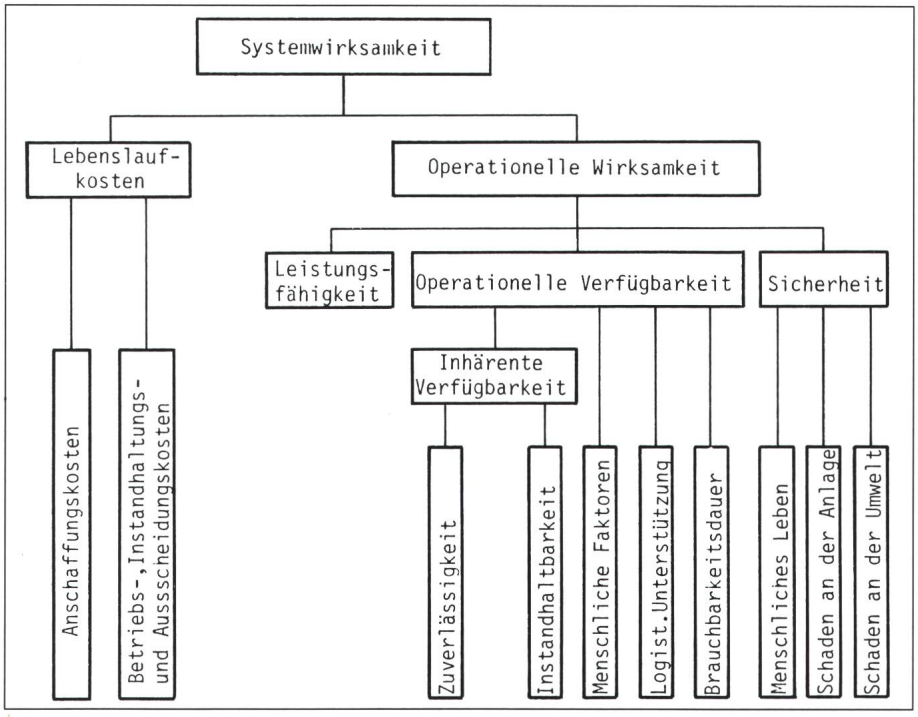

Fig. 2 Begriff der Systemwirksamkeit

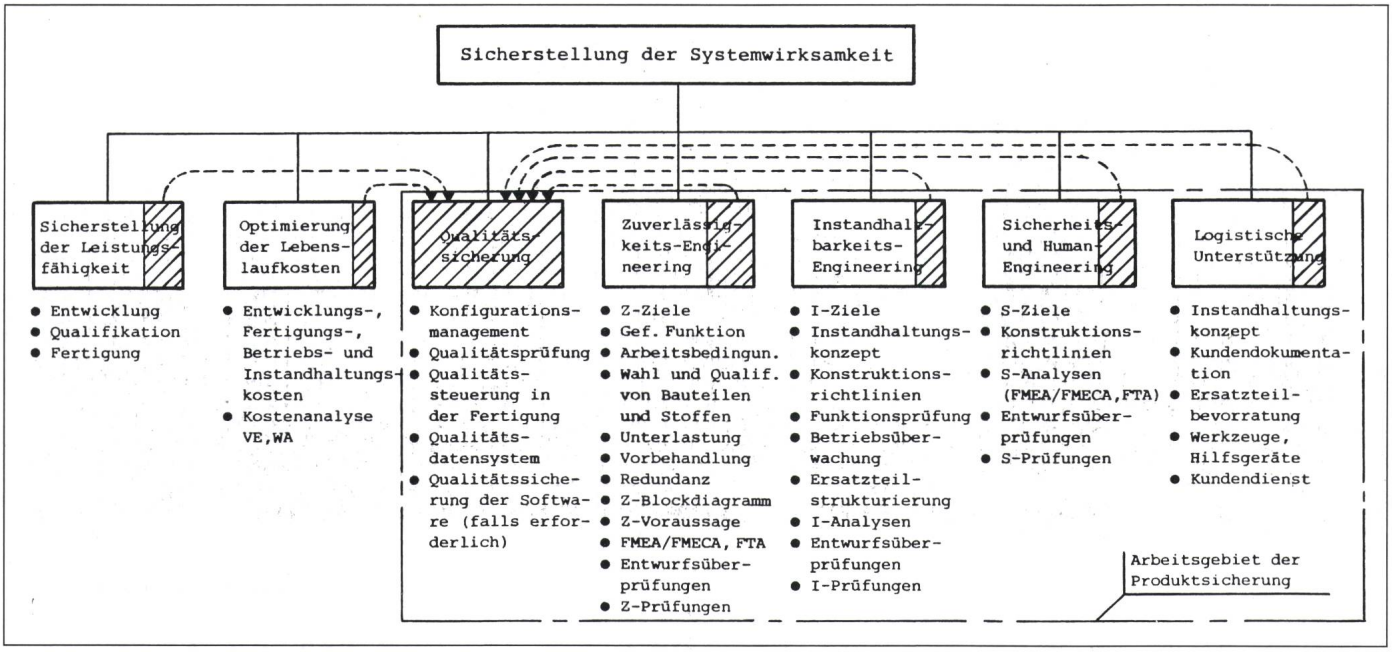

Fig. 3 Sicherstellung der Systemwirksamkeit
Z Zuverlässigkeit I Instandhaltung S Sicherheit

4. Grundsätze für die Sicherstellung der Qualität und der Zuverlässigkeit technischer Systeme

Auf der Basis der Tabelle III lassen sich die Grundsätze für eine, in bezug auf Kosten und Termine optimierte, Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherung folgendermassen zusammenfassen:

1. Es soll prinzipiell nach der Regel *«so gut wie nötig»* operiert werden.
2. Die Aktivitäten sollen nahtlos durch *alle Projektphasen* hindurch ausgeübt werden, und zwar von den Vorstudien (Festlegung der Ziele) bis zur Nutzungsphase (Erfassung und Auswertung der Ausfalldaten im Betrieb).
3. Die Aktivitäten müssen in enger *Zusammenarbeit* mit allen am Projekt beteiligten Linienstellen durchgeführt werden; die Linienstellen übernehmen selbst einen Teil der Durchführung.
4. Die Koordination und die Steuerung der Aktivitäten erfolgt durch eine *zentrale Stelle* für die Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherung, welche auch für die selbständige Lösung eines Teils der Aufgaben zuständig ist.
5. Aus Gründen der Unabhängigkeit soll die zentrale Stelle für die Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherung direkt der *Geschäftsleitung unterstellt* werden.

Hauptaufgaben zur Sicherstellung der Qualität und der Zuverlässigkeit komplexer technischer Systeme

Tabelle III

Hauptaufgaben zur Sicherstellung der Qualität und der Zuverlässigkeit komplexer technischer Systeme	Projektunabhängig	Spezifisch in der Phase					
		Vorstudien	Definition	Entw./Konstr.	Qualifikation	Fertigung	Nutzung
1. Ermittlung der Markt- bzw. Kundenforderungen bezüglich Qualität und Zuverlässigkeit	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬
2. Durchführung von Grobanalysen		▬	▬	▬	▬	▬	
3. Erstellung bzw. Überprüfung von Pflichtenheften, Offerten, Verträgen usw.		▬	▬	▬	▬	▬	
4. Erstellung und Nachführung des Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherungsprogramms		▬	▬	▬	▬	▬	
5. Analyse der Zuverlässigkeit und der Instandhaltbarkeit			▬	▬	▬	▬	▬
6. Analyse der Sicherheit und der menschlichen Faktoren			▬	▬	▬	▬	▬
7. Wahl und Qualifikation der Bauteile und Stoffe			▬	▬	▬	▬	
8. Wahl und Qualifikation der Unterlieferanten			▬	▬	▬	▬	
9. Erstellung der projektabhängigen Spezifikationen			▬	▬	▬	▬	
10. Planung, Überwachung und Steuerung von Dokumentation und Bauzustand (Konfigurationsmanagement)		▬	▬	▬	▬	▬	▬
11. Qualifikation der Prototypen			▬	▬	▬		
12. Sicherstellung der Fertigungsprozesse und -abläufe				▬	▬	▬	
13. Durchführung von Zwischenprüfungen				▬	▬	▬	
14. Durchführung der Endprüfung/Abnahmeprüfung		▬	▬	▬	▬	▬	▬
15. Erfassung, Analyse und Korrektur der Fehler, Defekte und Ausfälle (Qualitätsdatensystem)					▬	▬	▬
16. Logistische Unterstützung		▬	▬	▬	▬	▬	▬
17. Durchführung von Koordinations- und Überwachungsaufgaben	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬
18. Erfassung und Analyse der Qualitätskosten	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬
19. Erarbeitung von Konzepten, Methoden und Verfahren	▬			▬	▬	▬	
20. Motivierung und Schulung der Linienstellen	▬			▬	▬	▬	

Die zentrale Stelle für die Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherung darf nicht zu klein sein (Glaubwürdigkeit), soll aber auch nicht zu gross werden (Trägheit); ein bis zwei Prozent der Belegschaft ist ein guter Mittelwert. Die Aufteilung der Kompetenzen mit den Linienstellen soll so geregelt werden, dass jeder Entwicklungsingenieur seine eigene Baugruppe auch bezüglich Zuverlässigkeitsforderungen selbständig dimensioniert. Zudem soll der Fertigungsbereich die Betrachtungseinheit bis zur Endprüfung selbständig produzieren können. Die zentrale Stelle für die Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherung ist primär für folgende Aufgaben zuständig:

- Festlegung der Ziele
- Koordination und Steuerung der Aktivitäten
- Erstellung von Entwicklungs- und Konstruktionsrichtlinien bzw. von Arbeitsunterlagen
- Qualifikation, Prüfung und Vorbehandlung von Bauteilen und Stoffen
- Freigabe der Fertigungsprozesse und -abläufe (Qualitäts- und Zuverlässigkeitsaspekte)
- Entwicklung, Einführung und Betreibung des Qualitätsdatensystems
- Lösung der Qualitäts- und Zuverlässigkeitsprobleme auf Geräte- und Anlageebene
- Federführung bei den End- und Abnahmeprüfungen.

5. Grundelemente eines Qualitätssicherungssystems

Wie aus den Darlegungen der Abschnitte 3 und 4 hervorgeht, sind die Aufgaben zur Sicherstellung der Qualität und der Zuverlässigkeit interdisziplinär. Ihre Lösung erfordert die Zusammenarbeit von Entwicklungsingenieuren, Konstrukteuren, Mitarbeitern der Fertigung, Prüfpersonal, Spezialisten usw. Ein Teil dieser Aufgaben hat aber eher Koordinations-, Überprüfungs- und Überwachungscharakter. Die entsprechenden Tätigkeiten müssen zusammengelegt werden und bilden die Grundelemente des Qualitätssicherungssystems (Fig. 3). Für ein solches System stehen folgende Punkte im Vordergrund:

1. *Konfigurationsmanagement:* Festlegung, Beschreibung, Prüfung und Genehmigung der Konfiguration der Betrachtungseinheit sowie Steuerung der Dokumentation bei Änderungen mit der notwendigen Überwachung und Durchführung in der Hard- und Software. Es ist üblich, das Konfigurationsmanagement in Identifikation (Dokumentation), Überprüfung (Entwurfsüberprüfungen), Steuerung (Änderungswesen) und Überwachung (Verfolgung) der Konfiguration zu unterteilen.
2. *Qualitätsprüfung:* Planung, Durchführung und Auswertung aller notwendigen Prüfungen, um sicherzustellen, dass die Betrachtungseinheit den gestellten Anforderungen genügt. Zu diesen gehören Eingangsprüfungen, Qualifikationsprüfungen, Zwischenprüfungen und Endprüfungen (samt Zuverlässigkeits-, Instandhaltbarkeits- und Sicherheitsprüfungen).
3. *Qualitätssteuerung in der Fertigung:* Sicherstellung der Fertigungsprozesse und -abläufe sowie von Handhabung, Verpackung, Transport und Lagerung.
4. *Qualitätsdatensystem:* Rasche und wirksame Erfassung, Analyse und Korrektur aller Fehler, Defekte und Ausfälle sowie Verdichtung, Speicherung, Auswertung und Rückkopplung aller Daten, die für die Sicherstellung der Qualität und der Zuverlässigkeit von der Qualifikation der Prototypen bis zur Nutzungsphase relevant sind.
5. *Qualitätssicherung der Software:* Festlegung und Realisierung von Massnahmen zur Fehlerverhinderung während der Definitions-, Entwicklungs- und Nutzungsphase sowie Erstellung eines Konzeptes zur Prüfung der Software.

6. Schlussfolgerungen

Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit können im Hinblick auf eine Optimierung der Systemwirksamkeit in ein technisches System (Gerät, Maschine, Anlage) hinein entwickelt werden. Voraussetzungen dafür sind:

1. ein funktionierendes, geeignetes Qualitätssicherungssystem,
2. die Überzeugung der Führungskräfte und des Projektleiters,
3. eine klare Regelung der Kompetenzen und Verantwortungen des Projektleiters (bis und mit der Fertigungsphase),
4. eine geeignete Ausbildung der Entwicklungsingenieure und der Konstrukteure,
5. der Wille für eine offene Zusammenarbeit zwischen allen Mitarbeitern eines Projekts.

Literatur

[1] Engineering design handbook. Development guide for reliability. Part one: Introduction, background and planning. AMC Pamphlet 706-195. Part five: Contracting for reliability. AMC Pamphlet 706-199. Alexandria/Va., Headquarters, US Army Material Command, 1976.

[2] *A. Birolini:* Qualität und Zuverlässigkeit technischer Systeme. Theorie, Praxis, Management. Berlin u. a., Springer-Verlag, 1985.

[3] *A. Coppola:* Reliability engineering of electronic equipment: a historical perspective. IEEE Trans. Reliability 33(1984)1; p. 29...35.

[4] *B. Reich* and *S. Grubman:* Management of electronic equipment reliability. Proceedings of the Annual IEEE Reliability and Maintainability Symposium 1976; p. 378...382.

[5] *W.E. Wallace:* Progress in electronic systems reliability. Proceedings of the Annual IEEE Reliability and Maintainability Symposium 1981; p. 272...274.

[6] *K.L. Wong:* A new direction for electronic reliability engineering in the 80?s. Eurocon '82. European Conference on Electrotechnics, Copenhagen, 14...18 June, 1982; p. 3...10.

[7] *D.M. Keith* and *C.A. McCarthy:* A report on a survey of the specification and attainment of reliability in communications equipment. Proceedings of the Annual IEEE Reliability and Maintainability Symposium 1975; p. 579...593.

[8] *P.R. MacDiarmid, A.D. Pettinato* and *B.C. Johnson:* R/M/LCC effects of commercial off-the shelf equipment. Proceedings of the Annual IEEE Reliability and Maintainability Symposium 1982; p. 40...46.

[9] *G. Mattana:* Qualità, affidabilità, certificazione. Milano, Franco Angeli, 1986.

[10] *B.A. Schmidt:* Preparation for LCC proposals and contracts. Proceedings of the Annual IEEE Reliability and Maintainability Symposium 1979; p. 62...66.

[11] *W. Masing:* Handbuch der Qualitätssicherung. München/Wien, Carl-Hanser-Verlag, 1980.

[12] *J.M. Juran, F.M. Gryna* and *R.S. Bingham:* Quality control handbook. Third edition. New York, McGraw-Hill, 1979.