Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherung komplexer Systeme : Teil 1 : Aufgaben und organisatorische Voraussetzungen

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 3

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905351

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 1: Aufgaben und organisatorische Voraussetzungen

Von A. Birolini

658:56:519.873;

Eingangs wird die Notwendigkeit der Sicherstellung der Qualität, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit leistungsfähiger und moderner Systeme dargelegt; der Zusammenhang zwischen diesen Begriffen, der Systemwirksamkeit und der Produktsicherung wird aufgezeigt. Die sich daraus ergebenden Aufgaben werden beschrieben, und es wird gezeigt, dass ihre Lösung durch eine aktive Beteiligung aller Linienstellen und während aller Projektphasen erfolgen soll[1]).

La nécessité d'assurer la qualité, la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité des systèmes complexes modernes est tout d'abord exposée; l'étroite relation entre ces concepts et celui de l'efficacité du système et de l'assurance produit est montrée. Les tâches qui en résultent sont ensuite décrites. On montre que leur solution exige la participation active de toutes les lignes et doit s'étendre sur toutes les phases du projet.

1. Einleitung

Bis zum Beginn der sechziger Jahre wurden die Produkte mit wenigen Ausnahmen vor allem bezüglich *Leistung* und *Anschaffungspreis* beurteilt. Unter Qualität wurde die Ausführungsqualität verstanden, d.h. der Grad der Übereinstimmung zwischen Ausführungsvorschrift und Ausführung in der Fertigung. Die wachsende Komplexität technischer Anlagen und Systeme und die damit verbundenen Probleme bei Ausfällen sowie die rasch ansteigenden Instandhaltungskosten haben in den letzten Jahren die Aspekte der *Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit* und *Sicherheit* in den Vordergrund gerückt. In vielen Sektoren, wie z.B. Raumfahrt, Luftfahrt, Reaktortechnik, Militär, Nachrichtentechnik und Medizin wird diesen Aspekten seit mehreren Jahren grosse Bedeutung zugemessen, denn aus naheliegenden Gründen ist man hier stark am korrekten Funktionieren während einer bestimmten Zeitdauer und am Vermeiden jeglicher Gefahr für Menschen, Sachen oder Umwelt bei einem Ausfall interessiert.

Jeder Hersteller leistungsfähiger und moderner Anlagen und Systeme muss diesem Trend Rechnung tragen und sieht sich dadurch genötigt, während der Entwicklung, Beschaffung und Fertigung die sich daraus ergebenden Aktivitäten durchzuführen. Viele Kunden gehen heute schon soweit, dass sie entsprechende konkrete Forderungen in Pflichtenheften und Verträgen festlegen und für deren Sicherstellung – wie auch für die Qualität ganz allgemein – die Anwendung etablierter Normen verlangen; Tabelle I zeigt, dass solche Normen heute auch für die Verbrauchsgüter aufgestellt werden.

Im folgenden sollen zuerst die Grundbegriffe, ihre historische Entwicklung und ihre Zusammenhänge dargelegt werden. Die Aufgaben und die organisatorischen Voraussetzungen, die sich zur Sicherstellung der Qualität, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit ergeben, werden dann beschrieben. Es wird gezeigt, dass die Lösung dieser Aufgaben durch eine aktive Beteiligung aller Linienstellen und während aller Projektphasen erfolgen soll. In einem späteren Aufsatz soll auf die Methoden näher eingegangen werden.

2. Grundbegriffe: Beschreibung, Zusammenhänge

2.1 Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit ist eine Eigenschaft einer Betrachtungseinheit; sie wird mit R bezeichnet und durch die *Wahrscheinlichkeit* ausgedrückt, dass die Betrachtungseinheit eine *geforderte Funktion* unter vorgegebenen *Arbeitsbedingungen* während einer festgelegten *Zeitdauer* T ausfallfrei ausführt. Oft wird dafür der Begriff der *geforderten Mission* verwendet.

Wie aus dieser Definition hervorgeht, gibt also die Zuverlässigkeit die Wahrscheinlichkeit an, dass in der Zeitspanne T keine Betriebsunterbrechungen auftreten werden. Dies bedeutet nicht, dass redundante Teile nicht ausfallen dürfen; solche Teile können ausfallen und ggf. auch instandgesetzt werden. Man stellt auch fest, dass mit einer numerischen Angabe der Zuverlässigkeit (z.B. $R = 0.9$) stets auch die geforderte Funktion, die Arbeitsbedingungen und die Missionsdauer T definiert werden sollen. Es muss auch festgelegt werden, ob zu *Beginn der Mission* die Betrachtungseinheit als neuwertig angesehen werden kann oder ob man berücksichtigen muss, dass Teile davon nicht mehr neu sind.

Unter einer *Betrachtungseinheit* versteht man eine beliebige Anordnung (z.B. Stoff, Bauteil, Unterbaugruppe, Baugruppe, Teilanlage, Anlage, System), welche für Untersuchungen und Analysen als eine Einheit interpretiert wird. Dabei kann es sich um eine Funktions- und/oder Konstruktionseinheit handeln.

Die *geforderte Funktion* spezifiziert die Aufgabe der Betrachtungseinheit. Z.B. dürfen für gegebene Eingänge die Ausgänge vorgeschriebene Toleranzbänder nicht verlassen. Ihre Festlegung ist der Ausgangspunkt jeder Zuverlässigkeitsanalyse, weil damit auch der *Ausfall* definiert wird.

Die *Arbeitsbedingungen* haben einen direkten Einfluss auf die Zuverlässigkeit und müssen deswegen sorgfältig spezifiziert und überprüft werden. Die Erfahrung zeigt z.B., dass sich die momentane Ausfallrate der Halbleiterbauelemente verdoppelt, wenn die Umgebungstemperatur um ca. 20 °C erhöht wird, und bis um einen Faktor 20 steigt, wenn diese Bauteile in einem Flugzeug oder auf einem Schiff verwendet werden.

Geforderte Funktion und Arbeitsbedingungen sind oft zeitabhängig. In solchen Fällen wird ein *Anforderungsprofil* definiert. Zuverlässigkeitsangaben beziehen sich dann nur auf das entsprechende Anforderungsprofil.

In den meisten Anwendungen interessiert man sich für das Verhalten der Zuverlässigkeit R, wenn die Missionsdauer T variiert wird. Man ist also an der *Zuverlässigkeitsfunktion* $R(t)$ interessiert. $R(t)$ ist eine monoton fallende Funktion, für welche $R(\infty) = 0$ gilt. In der Regel wird auch $R(0) = 1$ angenommen.

Die *Sicherstellung der Zuverlässigkeit* erwies sich bei der Erprobung der ersten Raketen als notwendig. Trotz grosser Anstrengungen für beste Ausführungsqualität der ganzen Rakete waren immer wieder Misserfolge zu verzeichnen. Beeindruckend dabei war, dass es sich viel weniger um Ausfälle

[1]) Der Aufsatz ist eine überarbeitete Fassung des Übersichtsvortrages anlässlich der SEV-Informationstagung «Qualitätskontrolle und Zuverlässigkeit» vom 21. September 1978 [1].

wegen unzulässiger Beanspruchungen, sondern um Ausfälle wegen innerer Schwächen (inhärente Ausfälle) handelte. Man wurde sich bewusst, dass kurzzeitig einwandfreies Funktionieren bei weitem noch nicht Zuverlässigkeit bedeutet; der Unterschied zwischen Ausfall und Fehler trat klar auf. Aufgrund dieser Erkenntnis begann man die Zuverlässigkeitstheorie zu entwickeln. Die ersten Schritte in dieser Theorie zeigten, dass für Betrachtungseinheiten ohne Redundanz, d.h. falls für die Erfüllung der geforderten Funktion alle Bauteile funktionieren müssen, die Gesamtzuverlässigkeit oft gleich dem Produkt der Zuverlässigkeiten aller Bauteile wird. Die Konsequenz dieser fundamentalen Regel bedeutet für eine komplexe Betrachtungseinheit ohne Redundanz, dass die Gesamtzuverlässigkeit kleiner, im allgemeinen Fall sogar viel kleiner als die kleinste Zuverlässigkeit der Bauteile wird. Man erkannte auch bald, dass die Zuverlässigkeit einer Betrachtungseinheit vorwiegend während der frühen Projektphasen (Definitions- und Entwicklungsphase) bestimmt wird. Ebenfalls unmittelbar war die Erkenntnis, dass eine Verbesserung der Zuverlässigkeit nicht nur durch einfache Duplizierung der schwachen Teile, sondern vielmehr durch raffiniertere Entwicklungs- und Konstruktionsmassnahmen erreicht wird.

2.2 Instandhaltbarkeit

Mit Ausnahme weniger Fälle, z.B. in der Raumfahrt, ist für komplexe Betrachtungseinheiten eine Instandhaltung möglich. Unter *Instandhaltung* versteht man ganz allgemein alle Aktivitäten des Benützers zur Erhaltung oder Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit einer Betrachtungseinheit. Man unterscheidet zwischen *Wartung* (d.h. systematische, in der Regel periodische Arbeiten zur Kontrolle des Funktionszustandes und zur Entdeckung von verborgenen Ausfällen sowie zur Vermeidung von Drift- bzw. Verschleissausfällen) und *Instandsetzung* (d.h. Aktivitäten zur Erkennung, Lokalisierung und Behebung eines Ausfalles).

Die *Instandhaltbarkeit* ist hingegen eine Eigenschaft einer Betrachtungseinheit. Sie wird ausgedrückt durch die Wahrscheinlichkeit, dass der Zeitaufwand für eine Instandsetzung bzw. für eine Wartung kleiner als ein vorgegebenes Intervall ist, wenn die Instandhaltung unter vorgegebenen materiellen und personellen Bedingungen erfolgt. Die Instandhaltbarkeit soll in eine Betrachtungseinheit hineinentwickelt werden, und zwar während der Entwicklungs- und Konstruktionsphase. Wegen des direkten Einflusses auf die Verfügbarkeit, der starken Zunahme der Instandhaltungskosten und der Schwierigkeiten qualifiziertes Personal für die Durchführung von Instandhaltungsarbeiten zu finden, wird der Instandhaltbarkeit eine immer grössere Bedeutung zugemessen. Daraus wird ersichtlich, dass die im Betrieb erreichte Instandhaltbarkeit nicht nur von der Konzeption und Konstruktion der Betrachtungseinheit (inhärente Instandhaltbarkeit), sondern im gleichen Masse auch von ihrer Installation und von der Organisation, Ausrüstung und den Ausbildungsanforderungen des Instandhaltungspersonals abhängt, d.h. ganz allgemein von der logistischen Unterstützung.

2.3 Logistische Unterstützung

Mit logistischer Unterstützung bezeichnet man alle Massnahmen und Arbeiten, die mit dem Ziel ausgeführt werden, eine wirksame und wirtschaftliche Verwendung der ausgelieferten Betrachtungseinheit während ihrer ganzen *Nutzungsphase* zu ermöglichen. Sie beginnen in der Entwicklungsphase

Auswahl wichtiger Qualitäts- und Zuverlässigkeitsnormen [2]) — 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:	General Provisions for the *Product Assurance* of ESA Spacecraft
Militär			
1968	NATO	AQAP-1:	NATO *Quality* Control System Requirements for Industry
1963	USA	MIL-Q-9858A:	*Quality* Program Requirements
1969	USA	MIL-STD-785A:	*Reliability* Program for System and Equipments Development and Production
1966	USA	MIL-STD-470:	*Maintainability* Program Requirements for Systems and Equipments
1968	USA	MIL-H-46855:	*Human Engineering* Requirements for Military Systems, Equipments and Facilities
1969	USA	MIL-STD-882:	System *Safety* Program for System and Associated Subsystems and Equipments, Requirements for
1970	USA	MIL-STD-483:	*Configuration Management* Practices for Systems, Equipments, Munitions and Computer Programs
1974	USA	MIL-S-52779:	*Software Quality* Assurance Program Requirements
Nuklear			
1971	USA	N45.2:	*Quality* Assurance Program Requirements for Nuclear Facilities
1976	USA	NA-4000:	*Quality* Assurance
Verbrauchsgüter			
1968	USA	CI-1968:	Specification of General Req. for a *Quality* Program (wird ersetzt durch Z-1.15: Generic Guidelines for *Quality* Systems, in Vernehmlassung)
1974	GB	BS 5179:	*Quality* Assurance Systems (in Überarbeitung)
1975	CAN	Z 299.1:	*Quality* Assurance Program Requirements (in Überarbeitung)
1979	USA:		General Requirements for a *Reliability* Program (in Vernehmlassung)
1979	CH	QS-NORM:	Anforderungen an *Qualitäts*sicherungs-Systeme (in Vernehmlassung)

[2]) Eine ausführliche Liste findet sich in [1]

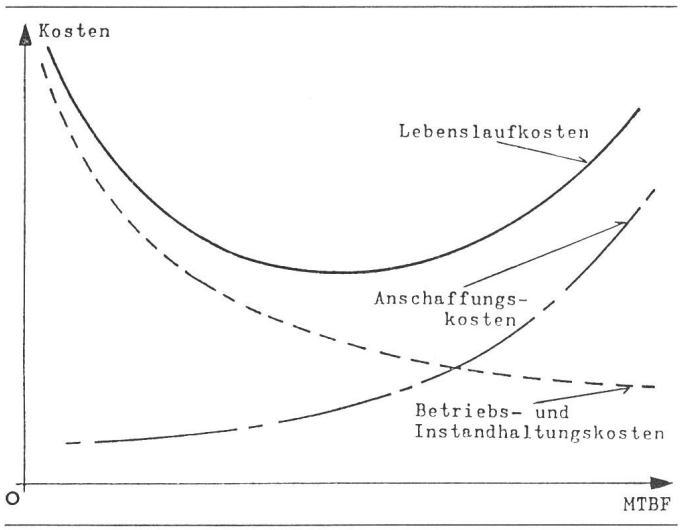

Fig. 1 Prinzipieller Zusammenhang zwischen Kosten und MTBF
Ein ähnlicher Zusammenhang besteht zwischen Kosten und Instandhaltbarkeit (MTBF = Mean Time Between Failures).

(bei der Aufstellung des Instandhaltungskonzeptes), werden mit der Erstellung der Kundendokumentation und der Bereitstellung von Ersatzteilen und Zusatzeinrichtungen für die Instandhaltung fortgesetzt und enden mit dem Kundendienst. Logistische Unterstützung wurde bis zum Beginn der siebziger Jahre vorwiegend auf militärischem Gebiet verwendet. Heutzutage führt sich dieser Begriff mehr und mehr auch im Zivilsektor ein, überall dort, wo Versorgungsprobleme auftreten [3; 4].

2.4 Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit berücksichtigt das gleichzeitige Einwirken der Zuverlässigkeit, der Instandhaltbarkeit, der logistischen Unterstützung und der menschlichen Faktoren (vgl. Fig. 2a). Bei den Verfügbarkeitsanalysen werden Betriebsunterbrechungen zugelassen; dies im Gegensatz zu den Zuverlässigkeitsanalysen, wo nur redundante Teile ausfallen und ggf. instandgesetzt werden dürfen.

2.5 Brauchbarkeitsdauer

Für eine reparierbare Betrachtungseinheit wird die totale Betriebszeit bis zur Ausscheidung (d.h. bis zum Zeitpunkt, bei welchem der Aufwand für die Instandhaltung aus wirtschaftlichen Erwägungen nicht mehr gerechtfertigt ist) als Brauchbarkeitsdauer bezeichnet. Der Begriff Lebensdauer wird in der Regel nur für nicht reparierbare Betrachtungseinheiten verwendet.

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 einen Ausfall hat. Die ersten Aspekte werden mit den Methoden der *Unfallverhütung* untersucht, die vielfach durch gesetzliche Vorschriften geregelt sind. Die zweiten Aspekte sind Gegenstand der *technischen Sicherheit* und werden mit den Methoden der Zuverlässigkeitstheorie untersucht. Trotzdem soll zwischen technischer Sicherheit und Zuverlässigkeit unterschieden werden. In der Tat, 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 Sicherstellung der Sicherheit ist für viele Produkte unentbehrlich geworden, vor allem um das Auftreten von Produkthaftfällen zu verhindern [siehe z.B. 5...8].

2.7 Qualität

Unter Qualität versteht man den Grad, in dem die Betrachtungseinheit den durch den Verwendungszweck gestellten Anforderungen genügt. Diese Anforderungen erstrecken sich über *alle Eigenschaften* der Betrachtungseinheit wie z.B. Leistung, Abmessungen, Gewicht, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit. Sie sind aus dem Verwendungszweck abzuleiten und als quantitative Eigenschaften in Pflichtenheften, Datenblättern, Spezifikationen und Ausführungsvorschriften festzulegen[3]).

Die Notwendigkeit der Sicherstellung der Qualität ist allgemein und seit jeher anerkannt. Deswegen hat jeder Hersteller ein mehr oder weniger ausgebautes Qualitätssicherungssystem. Für die Entwicklung und Herstellung komplexer Systeme stützt sich das Qualitätssicherungssystem auf die folgenden drei Aspekte:

1. Das *Konfigurationsmanagement,* d.h. das Verfahren zur Festlegung, Beschreibung, Prüfung und Genehmigung der Konfiguration einer Betrachtungseinheit sowie zur Steuerung der Dokumentation bei Änderungen mit der notwendigen Überwachung der Durchführung an der Hardware bzw. an der Computer Software.
2. Die *Qualitätsprüfung,* d.h. die Planung, Durchführung und Auswertung aller notwendigen Prüfungen, um sicherzustellen, dass die Betrachtungseinheit den gestellten Anforderungen genügt.
3. Das *Qualitätsdatensystem,* d.h. ein oft computerunterstütztes System zur raschen und wirksamen Erfassung, Analyse und Korrektur aller Nichtübereinstimmungen (Fehler bzw. Ausfälle) sowie zur Verdichtung, Speicherung, Auswertung und Rückkopplung aller Daten, die für die Sicherstellung der Qualität, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit einer Betrachtungseinheit relevant sind.

2.8 Systemwirksamkeit, Produktsicherung

Bei komplexen Systemen ist es sehr wichtig, dass sämtliche Bestrebungen für die Verbesserung der Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit im Rahmen der Optimierung zwischen allen Systemeigenschaften, den Terminen und den Kosten betrachtet werden. Als Kosten sind hier die *Lebenslaufkosten,* d.h. die Summe der Anschaffungs-, Betriebs-, Instandhaltungs- und nötigenfalls noch Ausscheidungskosten zu nehmen. Der Grund dafür, dass die Kunden je länger je mehr die Lebenslaufkosten und nicht die Anschaf-

[3]) Da der Begriff der Qualität im allgemeinen Sprachgebrauch sehr vielseitig verwendet wird und oft neben objektiv feststellbaren und messbaren Eigenschaften auch rein subjektive Einschätzungen umfasst, ist es verständlich, dass neben dieser Definition noch andere verwendet werden. Eine oft anzutreffende Version lautet [9]: «Gesamtheit der Merkmale, die ein Produkt oder eine Dienstleistung zur Erfüllung vorgegebener Forderungen geeignet macht». Diese Definition ist sehr allgemein, kann aber zu Interpretationsschwierigkeiten führen.

fungskosten alleine als Auswahlkriterien heranziehen, lässt sich durch die in den letzten Jahren stark zunehmenden Instandhaltungskosten und durch den direkten Zusammenhang zwischen Lebenslaufkosten und Zuverlässigkeit bzw. Instandhaltbarkeit erklären. Fig. 1 zeigt einen solchen Zusammenhang. Als Mass für die Zuverlässigkeit wurde dabei der Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeiten (MTBF) genommen. Ähnlich, oft sogar noch ausgeprägter, ist der Einfluss der Instandhaltbarkeit auf die Kosten [10]. Man könnte damit in einem dreidimensionalen Gebilde das Minimum der Lebenslaufkosten in Funktion der Zuverlässigkeit und der Instandhaltbarkeit finden [11]. Diese Überlegungen bestätigen die Grundregel, wonach die Inkaufnahme eines verhältnismässig geringen Zuwachses der Anschaffungskosten auf eine viel grössere Reduktion der Lebenslaufkosten führen kann.

Der Trend zur Optimierung zwischen allen Systemeigenschaften, den Terminen und den Lebenslaufkosten ist in den USA sehr deutlich zu spüren [10...15]; man spricht dabei von einem «Design to Cost Concept». Auch in Europa macht sich dieses Umdenken bemerkbar [16; 17].

Alle Begriffe, die bis jetzt besprochen wurden, sind eng miteinander gekoppelt. Der Zusammenhang lässt sich am besten mit Hilfe des Begriffes der Systemwirksamkeit zeigen und ist in Fig. 2 dargestellt [1; 2]. Unter *Systemwirksamkeit* versteht man ein Mass für die Fähigkeit einer Betrachtungseinheit (eines Systems), den vorgegebenen Aufgabenkomplex mit dem bestmöglichen Verhältnis Nutzen zu Lebenslaufkosten zu erfüllen. Zur Vereinfachung wurden in Fig. 2 die Termine weggelassen, und es wurde nicht besonders betont, dass die Zuverlässigkeit sowohl für den nichtreparierbaren wie auch für den reparierbaren Fall definiert ist.

Aus Fig. 2b ist die zentrale Funktion der *Qualitätssicherung* ersichtlich. Sie fasst alle Tätigkeiten zur Sicherung des geforderten Qualitätsniveaus zusammen, insbesondere alle jene, die im Zusammenhang mit dem Konfigurationsmanagement, der Qualitätsprüfung und dem Qualitätsdatensystem stehen.

Bei komplexen Systemen erfordern die Aspekte der Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit oft umfangreiche Engineering-Aktivitäten, die sich über mehrere Projektphasen erstrecken und zum Teil von Entwicklern

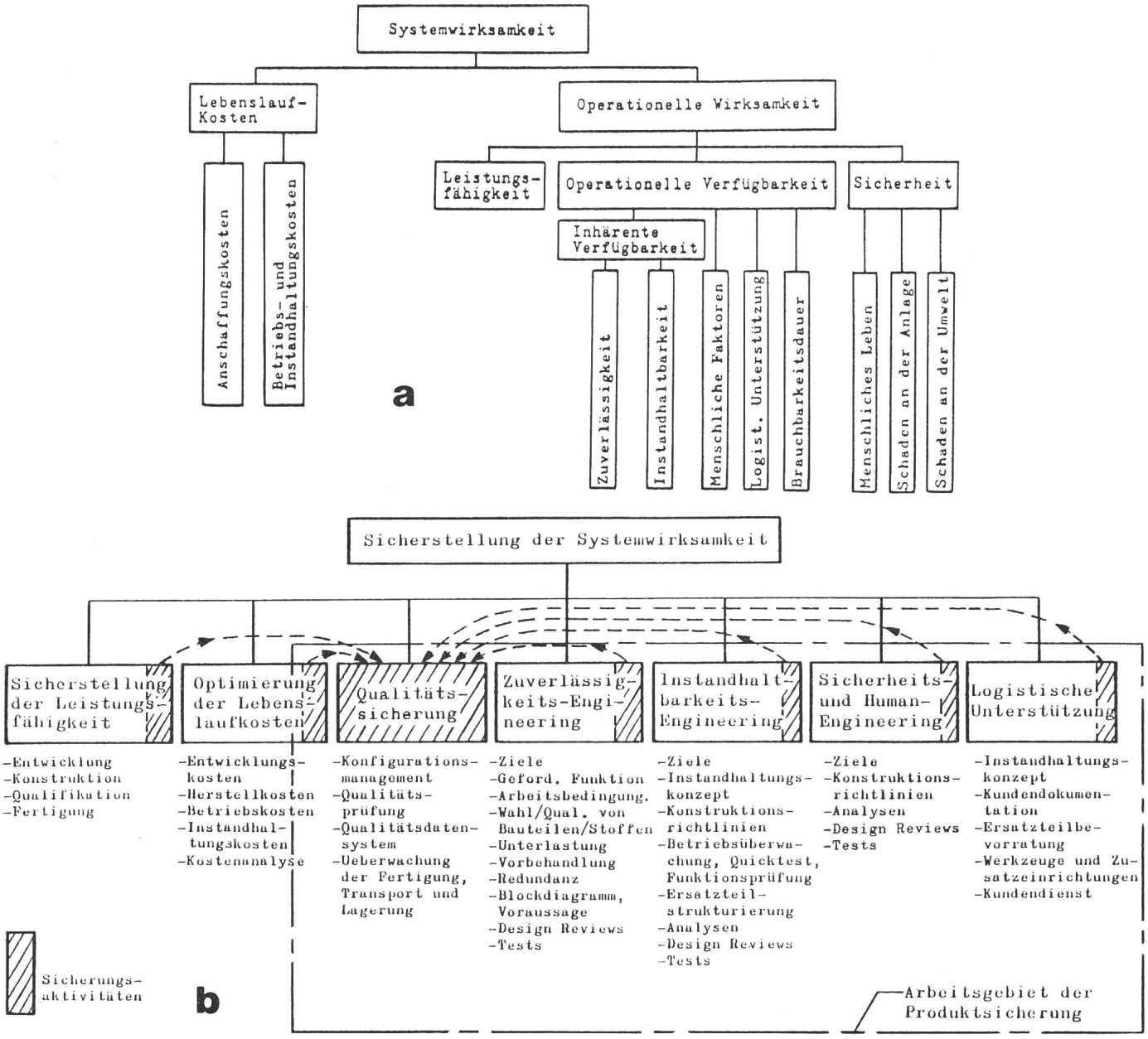

Fig. 2 Zusammenhänge der Systemwirksamkeit (a) und deren Sicherstellung (b)

und Konstrukteuren, zum Teil aber auch von Spezialisten durchgeführt werden müssen. In solchen Fällen ist es zweckmässig, die Tätigkeiten der Qualitätssicherung, des Zuverlässigkeits-, Instandhaltbarkeits-, Sicherheits- und Human-Engineerings sowie der logistischen Unterstützung gesamthaft unter dem Begriff der *Produktsicherung* (Fig. 2b) zu betrachten [18; 22]. Die historische Entwicklung der in diesem Abschnitt angeführten Begriffe ist im Anhang zusammengefasst.

3. Aufgaben und organisatorische Voraussetzungen für eine optimale Sicherstellung der Qualität, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit komplexer Systeme

3.1 Hauptaufgaben

Die Erfahrung zeigt, dass die Entwicklung und Herstellung einer komplexen Betrachtungseinheit mit einer geforderten Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit sowie mit einem festgelegten Qualitätsniveau nur dann möglich ist, wenn zu ihrer Sicherstellung während aller Lebenslaufphasen bestimmte Aufgaben gelöst werden. Tabelle II fasst diese Aufgaben zusammen [1; 2]. Sie zeigt auch, in welchen Lebenslaufphasen deren Lösung erfolgen soll und zu welcher Art von Kosten diese beiträgt. Die Höhe der Streifen ist ein Mass für den relativen Aufwand in den entsprechenden Projektphasen.

3.2 Grundsätze und organisatorische Voraussetzungen

Eine wirksame und wirtschaftliche Lösung der in Tab. II angeführten Aufgaben fordert ein System, dessen Grundsätze folgendermassen zusammengefasst werden können:

1. Es soll prinzipiell nach der Regel «so gut wie nötig und nicht so gut wie möglich» operiert werden.
2. Die Aktivitäten sollen nahtlos (d.h. ohne Unterbrüche) in allen Projektphasen ausgeübt werden, und zwar von der Vorstudienphase (Festlegung der Ziele) bis und mit der Nutzungsphase (Erfassung und Auswertung der Ausfalldaten). Diese Aktivitäten werden zweckmässigerweise durch einen Programmplan koordiniert und sind von den Linienstellen in ihr Arbeitsprogramm zu integrieren.
3. Die Aktivitäten müssen in enger Zusammenarbeit mit allen am Projekt beteiligten Linienstellen durchgeführt werden, d.h. jeder Mitarbeiter der Linienstellen muss seinen eigenen Beitrag leisten. Für die Koordination, Überwachung und Steuerung dieser Beiträge sowie für die selbständige Lösung von einem Teil der Aufgaben soll eine zentrale Stelle geschaffen werden. Aus Gründen der Unabhängigkeit soll diese Stelle nicht dem Verkaufs-, Entwicklungs- oder Fabrikationsbereich unterstellt werden.

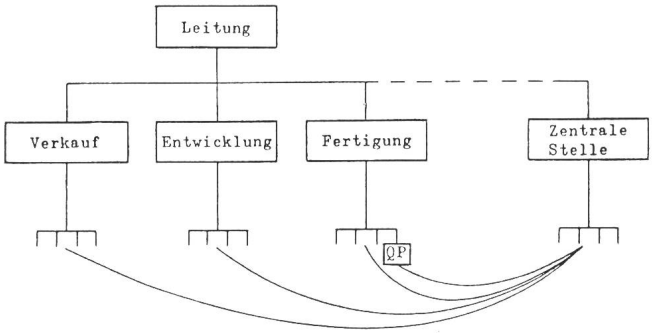

Fig. 3 Prinzipielle Organisationsstruktur für eine optimale Sicherstellung der Qualität, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit bei einem mittleren bis grossen Hersteller komplexer Systeme

Die Verbindungen zeigen die direkte Zusammenarbeit der zentralen Stelle für die Sicherstellung der Qualität, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit mit den Linienstellen der verschiedenen Bereiche. QP stellt die Organisation für einen Teil der Qualitätsprüfungen in der Fertigung dar, Teile der Punkte 12 und 13 in Tabelle II, siehe auch [1], S. 15

Die prinzipielle Organisationsstruktur, die die obigen Grundsätze am besten erfüllen kann, ist in Fig. 3 wiedergegeben. Eine weitere Zersplitterung der Kräfte (wie z.B. die logistische Unterstützung unter dem Verkauf, das Zuverlässigkeits-, Instandhaltbarkeits-, Sicherheits- und Human-Engineering unter der Entwicklung und die Qualitätssicherung unter der Fertigung) würde zu Doppelspurigkeiten und Koordinationsproblemen bei den Nahtstellen führen. Eine allzugrosse Konzentration unter der zentralen Stelle kann sich aber auch nachteilig auswirken; sie würde nämlich Trägheit einführen, Unzufriedenheit verursachen (mindestens bei den Mitarbeitern der Fertigung, die sich durch «Fremde» überwacht und kontrolliert fühlen würden) und die Dynamik und Flexibilität dieser Stelle beeinträchtigen.

3.3 Detaillierte Zusammenstellung und Zuteilung der Aufgaben

Im Rahmen eines Projektes müssen die Aktivitäten zur Sicherstellung der Qualität, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit konkret und projektspezifisch in einem Programmplan (Produktsicherungsprogrammplan) zusammengefasst werden. In diesem soll die Abgrenzung in bezug auf Umfang, Zuständigkeiten und Termine angegeben werden. Als Check-Liste für die Erstellung eines derartigen Programmplanes kann z.B. die in [1; 2] enthaltene detaillierte Zusammenstellung der Aufgaben von Tab. II dienen, ebenso [23] für die Aspekte der Qualitätssicherung. Diese Zusammenstellung ist ein Funktionendiagramm, legt die Schwergewichte bei der Lösung der Aufgaben und fördert die Teamarbeit. Obwohl sie für einen Hersteller komplexer Systeme ausgelegt wurde, kann sie auf die spezifischen Bedürfnisse anderer grosser und mittlerer Betriebe leicht angepasst werden. Daraus kann ferner die interne Organisation der zentralen Stelle (Fig. 3) abgeleitet werden. Eine typische Struktur würde bestehen aus: Stab; Zuverlässigkeits-, Instandhaltbarkeits-, Sicherheits- und Human-Engineering; Qualitäts-Engineering; Qualifikations-, End- und Abnahmeprüfungen.

3.4 Das Handbuch

Das System zur Sicherstellung der Qualität, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit muss in einem geeigneten Handbuch (Produktsicherungshandbuch) beschrieben werden [1; 24; 25]. Es soll von der Firmenleitung verabschiedet werden. Es beschreibt das gesamte vorhandene System und gibt an, *wie* in der Firma die Aufgaben wahrgenommen und gelöst werden, d.h. *wie* die Verfahren sind. Seine typischen Eigenschaften können folgendermassen zusammengefasst werden:

1. es stärkt das Vertrauen beim Kunden;
2. es regelt die Kompetenzen und Verantwortungen;
3. es dient als Nachschlagewerk für jeden Mitarbeiter;
4. es ist übersichtlich, klar und knapp gefasst;
5. es ist dynamisch;
6. es wurde in Zusammenarbeit mit allen in der Firma betroffenen Stellen erarbeitet.

Es ist oft von Vorteil, das Handbuch in 3 Teile aufzuteilen: allgemeine Richtlinien und Verfahren (kann dem Kunden überreicht werden), Detail-Richtlinien und Verfahren sowie Schulung.

Anhang: Historische Entwicklung der Begriffe zur Systemwirksamkeit

Bis 1940: Qualitätsmerkmale werden festgelegt. Zwischen- und Endprüfungen werden in zunehmendem Masse durchgeführt, üblicherweise in einer dafür besonders ausgerüsteten Organisation des Fertigungs-Bereiches. Der Begriff der Fertigungs- bzw. *Ausführungsqualität* führt sich ein.

1940–1950: Die Fehler bzw. Ausfälle werden systematisch erfasst und analysiert. *Korrektivmassnahmen* werden durchgeführt. Die Methoden der *statistischen Qualitätskontrolle* werden entwickelt und angewendet. Man wird sich bewusst, dass die Qualität in ein Erzeugnis Schritt für Schritt hineinentwickelt werden muss. Der Begriff der *Entwurfsqualität* bürgert sich ein.

1950–1960: Die *Qualitätssicherung* (Planung, Prüfung, Steuerung) wird als Mittel für die Entwicklung und Herstellung einer Betrachtungseinheit mit einem vorgegebenen Niveau der Qualität anerkannt. Zu den Prüfungen und Korrektivmassnahmen werden *Präventivmassnahmen* hinzugefügt. Man erkennt, dass kurzzeitig einwandfreies Funktionieren keineswegs auch *Zuverlässigkeit* bedeutet. Zuverlässigkeitsarbeiten werden unternommen und führen zur systematischen Analyse von Ausfällen und Ausfalldaten, zur Erstellung von Tabellen für Ausfallraten, zur Untersuchung von Möglichkeiten für die Verbesserung der Zuverlässigkeit und zur Durchführung von Design Reviews. Diese Arbeiten werden in der Regel getrennt von jenen der Qualitätssicherung ausgeführt, oft durch eine unabhängige Organisation des Entwicklungs-Bereiches.

1960–1970: Grosse Schwierigkeiten in bezug auf Reproduzierbarkeit, Kontrolle des Änderungsstandes sowie Nahtstellenprobleme während der Integrationsphase führen zur Entwicklung des *Konfigurationsmanagements*. Die *Zuverlässigkeitssicherung* wird als Mittel für die Entwicklung und Herstellung einer Betrachtungseinheit mit einer vorgegebenen Zuverlässigkeit anerkannt. Tests für die Bestimmung und den Nachweis von Zuverlässigkeitskenngrössen

Tabelle II

Hauptaufgaben zur Sicherstellung der Qualität, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit

	Projektunabhängig	Spezifisch in der Phase						Beitrag zu den Kosten für	
		Vorstudien	Definition	Entw./Konstr.	Qualifikation	Fertigung	Nutzung	Präventiv-Massnahmen	Korrektiv-Massnahmen
A) Vorwiegend produkt- bzw. projektbezogene Aufgaben									
1. Ermittlung der Markt- bzw. Kundenanforderungen betreffend Qualität, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit	■	■	■	■	■	■	■	*	
2. Durchführung von Grobanalysen		■	■	■	■	■		*	
3. Mitwirkung bei der Erstellung bzw. Ueberprüfung von Pflichtenheften, Projektanträgen, Offerten, Verträgen, techn. Liefer- und Bezugsbedingungen, usw.		■	■	■	■	■		*	
4. Erstellung und Nachführung eines Programmplanes		■	■	■	■	■		*	
5. Analyse und Optimierung der Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit			■	■	■	■	■	*	
6. Analyse der Sicherheit und der menschlichen Faktoren			■	■	■	■	■	*	
7. Wahl und Qualifikation von Bauteilen und Stoffen			■	■	■	■		*	
8. Wahl und Qualifikation von Unterlieferanten			■	■	■	■		*	
9. Erstellung von projektspezifischen Spezifikationen und Vorschriften sowie Ueberwachung deren Einhaltung			■	■	■	■		*	
10. Planung, Ueberwachung und Steuerung von Dokumentation und Bauzustand (Konfigurationsmanagement)		■	■	■	■	■	■	*	*
11. Qualifikation des Prototyps			■	■	■			*	*
12. Sicherstellung der Fertigungsabläufe und -verfahren				■	■	■		*	
13. Zwischenprüfungen in der Fertigung				■	■	■		*	*
14. End- und Abnahmeprüfung				■	■	■	■	*	*
15. Erfassung und Analyse von Fehlern bzw. Ausfällen, sowie Durchführung von Korrektivmassnahmen					■	■	■	*	*
16. Logistische Unterstützung			■	■	■	■	■	*	*
17. Koordinations und Ueberwachungstätigkeiten	■	■	■	■	■	■	■	*	
18. Erfassung, Analyse und Optimierung der Kosten für die Sicherstellung der Qualität, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit	■	■	■	■	■	■	■	*	*
B) Vorwiegend produkt- bzw. projektunabhängige Aufgaben									
19. Erarbeitung bzw. Untersuchung von Konzepten, Methoden und Verfahren	■			■	■	■	■	*	
20. Schulung	■			■	■	■	■	*	

werden aufgestellt. Es zeigt sich, dass die Zuverlässigkeit nicht ohne weiteres in einem *Abnahmetest* nachgewiesen werden kann. Anstelle einer Zuverlässigkeitskenngrösse (z.B. MTBF) verlangt man vertraglich die Durchführung eines *Zuverlässigkeitssicherungsprogrammplanes*. Die *Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit, logistische Unterstützung* und das *Human-Engineering* gewinnen immer mehr an Bedeutung. Man versucht, die Organisationen für die Qualitäts- und Zuverlässigkeitssicherung unter eine gemeinsame Leitung zu bringen.

Seit 1970: Der Begriff der *Produktsicherung* entwickelt sich weiter im Zusammenhang mit immer komplexer werdenden Systemen. Er beinhaltet das Zuverlässigkeits-, Instandhaltbarkeits-, Sicherheits- und Human-Engineering, die logistische Unterstützung, die Qualitätssicherung und einen Teil der Kostenanalyse. *Qualitätssicherung* fasst alle Sicherungsaktivitäten (Konfigurationsmanagement, Qualitätsprüfung, Qualitätsdatensystem) zusammen. Man ist bestrebt, die Produktsicherung in enger Zusammenarbeit zwischen einer zentralen, unabhängigen Stelle und allen am Projekt beteiligten Linienstellen durchzuführen. Neben der Abwicklung eines Produktsicherungsprogrammplanes versucht man auch, einen *Nachweis* der Zuverlässigkeit und der Instandhaltbarkeit *in der Nutzungsphase* vertraglich zu verankern. Wegen der raschen Zunahme der Instandhaltungskosten gewinnt der Begriff der *Lebenslaufkosten* (Summe der Anschaffungs-, Betriebs-, Instandhaltungs- und Ausscheidungskosten) immer mehr an Bedeutung. Bei der Entwicklung von komplexen Systemen ist man bestrebt, zwischen allen Systemeigenschaften (Leistung, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit usw.) die Termine und die Lebenslaufkosten zu optimieren (Design to Cost Concept). Als Dachbegriff wird in diesem Zusammenhang *Systemwirksamkeit* verwendet.

Literatur

[1] *A. Birolini:* Zusammenhang zwischen Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit. Informationstagung «Qualitätskontrolle und Zuverlässigkeit» vom 21. September 1978, Universität Freiburg. Zürich, SEV, 1978; S. 1...22.

[2] *A. Birolini:* Product assurance: Task and organisation. Proceedings of the European Conference on Quality Control 21(1977)1, p. 316...329.

[3] *H.E. Eccles:* The military and civilian aspects of logistics. Proceedings of the Annual Convention of the Society of Logistics Engineers 3(1968), p. 1...14.

[4] *L.B. Templeton* a.o.: Interface of R and M with logistics engineering. Proceedings of the IEEE Reliability and Maintainability Symposium (1975), p. 120...124.

[5] *T.A. Jäger:* Zur Sicherheitsproblematik technologischer Entwicklungen. Qualität und Zuverlässigkeit 19(1974)1, S. 2...9.

[6] Qualität und Haftung. Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Qualität. DGQ Nr. 27. Berlin, Beuth Verlag, 1976.

[7] *P. Anhalt:* Der Richtlinienvorschlag der EG-Kommission für ein einheitliches Produzentenhaftungsrecht in der EG. Qualität und Zuverlässigkeit 22(1977)–, S. 237.

[8] *L.P. Geoffrion:* Contribution of QC to product liability aversion. Proceedings of the Technical Conference of the American Society for Quality Control (1978), p. 467...473.

[9] Glossary of terms used in quality control. 3001 Bern, European Organization of Quality Control, 1976.

[10] *W.S. Jones:* Is reliability the key to reduce support costs. IEEE Reliability Group Newsletter 25(1978)3, p. 4...9.

[11] *A.A. Lanker* a.o.: Cost effective reliability testing. Proceedings of the IEEE Reliability and Maintainability Symposium (1978), p. 271...278.

[12] *J. de S. Coutinho:* Reprioritizing the weapons acquisition process. Proceedings of the IEEE Reliability and Maintainability Symposium (1975), p. 413...418.

[13] *T.E. Dixon* a.o.: Implementation of the design to cost concept. Proceedings of the IEEE Reliability and Maintainability Symposium (1976), p. 224...229.

[14] *R.K. Gates* a.o.: Quantitative models used in the RIW decision process. Proceedings of the IEEE Reliability and Maintainability Symposium (1978), p. 229...236.

[15] *J.J. Duhig* a.o.: Cost effective improvement of the timeless C–130 Hercules airlifter. Proceedings of the IEEE Reliability and Maintainability Symposium (1978), p. 422...427.

[16] *W. Bohn:* Der Einfluss der Zuverlässigkeit in der Wehrtechnik auf Einsatzbereitschaft und Kosten. Jahrbuch der Wehrtechnik 8(1973), S. 32...38.

[17] *E.W. Aslaksen:* Die Zuverlässigkeit als wirtschaftliche Grösse. Überlegungen am Beispiel von Stromversorgungsanlagen. Bull. SEV/VSE 69(1978)4, S. 157...161.

[18] General provisions for the product assurance of ESA spacecraft. ESA-PSS-01. Noordwijk/Holland, European Space Agency, 1976.

[19] General specification for microcircuits. MIL-Standard 38510C.

[20] Contractor configuration management plans. MIL-Standard 1456.

[21] *H.E. Schock:* Regulatory requirements and product assurance. Proceedings of the IEEE Reliability and Maintainability Symposium (1977), p. 69...72.

[22] *L.G. Jones:* Product assurance. National Defense 59(1974)327, p. 249...250, 60(1975)328, p. 272...274, 60(1975)329, p. 411...412.

[23] Organisation der Qualitätssicherung im Unternehmen. Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Qualität und der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Qualitätsförderung. DGQ Nr. 22+23. Berlin, Beuth-Verlag, 1976.

[24] *C.C. Erhardt:* How to prepare a quality control manual. Industrial Quality Control 21(1965)1, p. 349...352.

[25] *J. Holmes:* Quality manual. Quality 12(1968)4, p. 102...105.

Adresse des Autors

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

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Sitzung des SC 2A, Turbo-alternateurs, vom 30. Oktober bis 1. November 1978, in Sofia

20 Delegierte aus 12 Ländern tagten unter dem Vorsitz von J. Brown (USA).

Nach etlichen Korrekturen am Protokoll der letzten Sitzung (Juni 1977, Moskau), trat das Komitee auf schweizerische Vorschläge zur Neudefinition des Arbeitsgebietes des SC 2A ein: Beim CE 2 ist unser Vorschlag *2(Switzerland)468* hängig. Danach sollte das SC 2A, zur Entlastung des CE 2, die Bearbeitung der *zusätzlichen* (zu Publ. 34–1) Regeln für *alle* Synchronmaschinen ab 10 MVA, sowie deren Erregersysteme, übernehmen. Nach eingehender Diskussion kam das SC 2A mit 9 gegen 2 Stimmen zum Schluss, dem CE 2 die vorgeschlagenen Arbeitsgebietsänderungen zur Annahme zu empfehlen.

Auf der Basis eines weiteren schweizerischen Vorschlages betreffend die Reorganisation der Publ 34–3 wird diese grundsätzlich neu, in selbständige Sektoren aufgeteilt, nämlich: Generelles; luftgekühlte Maschinen: wasserstoffgekühlte und flüssigkeitsdirektgekühlte Maschinen; gasturbinengetriebene Generatoren; rotierende- und statische Erreger.

Im Rahmen der Detailberatungen über gasturbinengetriebene Generatoren wurden einige wichtige grundsätzliche Beschlüsse gefasst.

Erhebliche Schwierigkeiten bereitete dem Komitee die Frage des Nachweises der Fähigkeitskurven durch eventuelle Versuche. Es ist vorerst ein klarer Entscheid gefallen, dass nur *ein* Punkt als Rating gilt, nämlich der Dauerleistungspunkt bei 40 °C des primären Kühlmittels. Alle anderen Werte sind Fähigkeitswerte (capabilities). Auch der Spitzenfähigkeit (peak capability) wurde nach harter Auseinandersetzung nur +15 K zugestanden.

Nach Klarlegung der Grundsatzfragen anerbot sich der Sekretär, nun selbst das neue Kapitel über gasturbinengetriebene Generatoren im Rahmen der neu zu ordnenden Publ. 34–3 zu formulieren.

Die Reorganisation der Publ. 34–3 brachte die Revision der bisherigen Artikel ins Gespräch. Es wird am Prinzip der jetzigen Publ. 34–3 festgehalten, nämlich *ein* Rating-Punkt auf Nennspannung/Nennfrequenz und alle Abweichungen als Fähigkeiten (capabilities) mit höherer nicht konstruktionsbegrenzender Mehrerwärmung.

Mit dem Ziel, alles vorzubereiten, damit an der nächsten Tagung des SC 2A eine revidierte Publ. 34–3 für die 6-Monate-Regel verabschiedet werden kann, wurde eine Arbeitsgruppe gegründet.

R. Walser