

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 56 (1965)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Die Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit elektrischer Maschinen  
**Autor:** Hauenstein, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916401>

#### **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:** 23.02.2026

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

1. und 2. Bergbau (inkl. Kohlengewinnung)	0,1 %
3. Eisen- und Stahlindustrie	1,0 %
6. Chemische Industrie	2,1 %
10. Holz- und Papierindustrie, Papierwaren	2,5 %
8. Nahrungs- und Genussmittelindustrie	2,5 %
5. Maschinenindustrie und Apparatebau	2,6 %
9. Textil-, Leder-, Kautschuk- und Bekleidungsindustrie	3,0 %
7. Glas, Keramik und Baumaterialien	3,6 %
4. Nichteisenmetalle	4,8 %

In den Jahren 1960 bis 1963 hat der Verbrauch für industrielle Zwecke in der Schweiz um 19,7 %, in den 13 Ländern gesamthaft um 17,2 % zugenommen. Da die Wohnbevölkerung der Schweiz doppelt so rasch zugenommen hat, sind die Zuwachsrate des Verbrauches pro Einwohner ungefähr gleich gross. Betrachtet man die Industriegruppen im einzelnen, so stellt man fest, dass die Zuwachsrate bei der Gruppe «Chemische Industrie» und vor allem bei der Gruppe «Herstellung und erste Bearbeitung von Eisenmetallen» in der Schweiz viel geringer ist als die Gesamtzuzuwachsrate der 13 Länder. Anderseits hat der Verbrauch der Gruppe «Herstellung und erste Bearbeitung von Nichteisenmetallen» in der Schweiz erheblich schneller zugenommen.

## Die Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit elektrischer Maschinen

von P. Hauenstein, Zürich

*Der nachfolgende Beitrag wurde uns vom Verfasser zur Publikation zugestellt. Wir geben ihm gerne Raum, obwohl oder gerade weil er bei aller Objektivität den Standpunkt der Hersteller elektrischer Maschinen zum Ausdruck bringt.*

*Sicher haben unsere Mitglieder oder ihre Mitarbeiter etwas zu den im Aufsatz von Herrn P. Hauenstein vertretenen Ansichten zu sagen. Wir werden auch diese Beiträge im Rahmen des Möglichen veröffentlichen, und es würde uns freuen, wenn sich daraus eine angeregte Diskussion ergäbe.*

Die Redaktion

### Einführung

Der Erfolg der schweizerischen Maschinenindustrie lag seit jeher weitgehend in der Zuverlässigkeit ihrer Produkte begründet. Die technische Entwicklung schreitet rasch vorwärts und es werden immer grössere und leistungsfähigere Maschinen hergestellt. Wir müssen deshalb von Zeit zu Zeit zurückblicken und fragen, ob die Betriebssicherheit bei diesem intensiven Streben nach Neuem nicht vernachlässigt wurde. Es ist jedoch schwierig, in objektiver Weise einen Vergleich mit früher anzustellen, da ausser eventuellen Qualitätsänderungen eine grosse Anzahl struktureller Wandlungen eingetreten sind. Die nachfolgenden Gedanken wollen deshalb die wichtigsten Faktoren untersuchen, welche für das Betriebsverhalten elektrischer Maschinen bestimmend sind.

Die Montagekonferenz der Schweiz. Maschinenindustrie, die am kommenden 24. September ihr 50jähriges Bestehen feiert und deren Präsidium der Verfasser bekleidet, hat sich

*L'article suivant nous a été remis par son auteur pour la publication. Nous l'insérons volontiers bien qu'il défende, tout en restant objectif, le point de vue des fabricants de machines électriques.*

*Nous sommes persuadés que nos membres ou leurs collaborateurs ont quelque chose à dire au sujet des thèses qu'expose Mr. P. Hauenstein dans son article. Dans la mesure du possible, nous publierons aussi ces réponses, et nous espérons qu'il s'en suivra une discussion animée.*

La rédaction

in den letzten Jahren mit den betreffenden Fragen befasst. Diese ausschliessliche Behandlung durch Hersteller bringt natürlicherweise die Gefahr einer gewissen Einseitigkeit mit sich. Im folgenden Aufsatz versucht der Verfasser jedoch, die Probleme aus gesamtschweizerischer Sicht zu betrachten und sowohl die Anliegen des Herstellers als auch diejenigen des Benutzers zu Worte kommen zu lassen. Der Akzent liegt dabei auf grösseren elektrischen Maschinen und Apparaten (Investitionsgütern), wobei die geäusserten Tatsachen zum Teil in übertragenem Sinne auch für kleinere Apparate und Haushaltartikel (Konsumgüter) Geltung besitzen.

Selbstverständlich erhebt dieser Aufsatz keinen Anspruch auf Vollständigkeit; er möchte lediglich einige Fragen zur Diskussion stellen, die heute besonders aktuell sind und in Fachkreisen auf ganz verschiedene Arten beantwortet werden.

## I. Der Einfluss von Konstruktion und Fabrikation auf das Betriebsverhalten

### 1. Stärkere Materialausnützung

Die Maschinen sind heute für die gleiche Leistung kleiner als früher, was bedeutet, dass das Material besser ausgenutzt ist. Ein Beispiel soll dies veranschaulichen: In Zufikon (bei Bremgarten AG) laufen die wahrscheinlich ältesten Drehstrom-Generatoren Europas, die im Jahre 1894 in Betrieb gesetzt wurden. Ein Generator wiegt ca. 20 t und lieferte bei der Inbetriebsetzung 270 kVA. Dies ergibt einen spezifischen Materialaufwand von ca. 75 kg/kVA. Ein Generator mit den

gleichen Nenndaten — heute gebaut — hätte einen Materialaufwand von ca. 20 kg/kVA. Man würde aber heute andere, günstigere Nenndaten wählen. Insbesondere hätte die Maschine heute eine grössere Drehzahl, was wiederum höhere Leistung ermöglicht. Vergleichsweise sei erwähnt, dass der 100-MVA-Drehstromgenerator Stalden (Wallis), der vor wenigen Monaten in Betrieb gesetzt wurde, bei voller thermischer Ausnützung 2,5 kg/kVA wiegt, also pro Leistungseinheit 30mal leichter ist als der Zufikon-Generator. Beide

Tatsachen — leichtere Konstruktion bei gleichen Nenndaten sowie die Wahl von höheren Drehzahlen — beanspruchen die verwendeten Materialien stärker, was eine Tendenz zu sinkender Zuverlässigkeit in sich schliesst.

Obwohl auch die Werkstoffe verbessert wurden, stellt sich doch die Frage, ob es überhaupt vernünftig ist, die Materialausnutzung so weit zu treiben. Sollte der Konstrukteur nicht lieber etwas schwerer konstruieren zu Gunsten einer höheren Betriebssicherheit? Wir müssen jedoch bedenken, dass diese Fragen nicht allein vom Konstrukteur, sondern hauptsächlich von der Preisseite her entschieden werden. In unserem freien Wirtschaftssystem entscheidet sich der Käufer meistens für die billigste Konkurrenzofferte. Derjenige Hersteller, der mit der Materialausnutzung an die Grenze geht, kann die kleinste und damit billigste Maschine für die verlangten Leistungsdaten anbieten. Der Käufer müsste in vermehrtem Mass bereit sein, für eine schwerere (bessere) Maschine einen höheren Preis zu zahlen. Dies ist bei Konsumgütern üblich. Jedermann weiß, dass z. B. der billigste elektrische Rasierapparat meistens nicht der beste ist. Erfahrungsgemäss liegen die Verhältnisse bei grösseren elektrischen Produkten etwas anders. Der Käufer entscheidet sich oft für den billigsten Hersteller und setzt einfach voraus, dass sein Produkt ebenso betriebssicher sei wie das teurere.

## 2. Mehr Einzelteile

Die Maschinen sind nicht nur spezifisch kleiner, sondern gleichzeitig auch komplizierter geworden und bestehen heute aus viel mehr Einzelteilen als früher. Der oben erwähnte «Generatorveteran» in Zufikon ist aus ca. 7000 Einzelteilen zusammengesetzt (inkl. notwendiges Zubehör wie Generatorschutz, Erregungskreis usw.). Als Vergleich diene die Tatsache, dass ein moderner 100-MVA-Wasserkraftgenerator mit Zubehör aus ca. einer Million Einzelteilen besteht.

Wie wirkt sich nun die höhere Teilezahl auf die Betriebssicherheit aus? Auch der Laie weiß, dass jeder Maschinenteil eine begrenzte Lebensdauer aufweist. Er stellt sich vor, dass der Konstrukteur einfach sämtliche Maschinenteile auf die gleiche Lebensdauer hin konstruieren müsse. Damit laufe die Maschine während dieser Lebensdauer störungsfrei und anschliessend würden alle Teile gleichzeitig unbrauchbar.

Die folgenden Überlegungen zeigen, dass diese laienhafte Auffassung nicht richtig sein kann. Jedermann empfindet intuitiv, dass ein Grossgenerator, bestehend aus einer Million Einzelteilen, der z. B. nach drei Jahren den ersten Defekt erleidet, qualitativ besser sein muss als ein einfacher Haushaltapparat, der aus 40 Einzelteilen besteht und nach 6 Monaten erstmals defekt wird.

Um dieses Problem wissenschaftlich richtig zu behandeln, muss die Wahrscheinlichkeitsrechnung beigezogen werden. Die Betriebssicherheit tritt bei elektronischen Produkten (z. B. bei der Steuerung einer Weltraumrakete) noch stärker in den Vordergrund als in der Starkstromtechnik. Von dieser Seite her ist in den letzten Jahren der Anstoss zu eingehenden wissenschaftlichen Abhandlungen gegeben worden (Lit. 3). So wurde der Begriff der Zuverlässigkeit folgendermassen definiert: «Die Zuverlässigkeit einer Anlage ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie während einer vorgegebenen Zeit unter vorgegebenen Umweltbedingungen bestimmungsgemäss arbeiten wird». Für ein System, das aus verschiedenen Einzelteilen zusammengesetzt ist, gilt die Produkterregel, d. h.

die Gesamtzuverlässigkeit berechnet sich als Produkt der Zuverlässigkeiten der Einzelteile (Lit. 4). 100 Einzelteile von je 99 % Einzelzuverlässigkeit ergeben, zu einem System zusammengesetzt, demnach nur eine Gesamtzuverlässigkeit von 36,6 %! ( $0,99^{100} = 0,366$ ). Dies ist die wissenschaftliche Begründung des oben genannten Vergleiches zweier Maschinen von 1 000 000 bzw. 40 Komponenten. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die schweizerische Grossmaschinenindustrie sind offensichtlich. In ihren Büros und Werkstätten muss unbedingt die Devise wegleitend sein «Qualität, Qualität und nochmals Qualität».

In der Starkstromtechnik gibt es wenige Systeme, die aus gleichartigen Teilen zusammengesetzt sind. Der Praktiker weiss, dass gewisse Maschinenteile der Abnutzung stärker unterliegen als andere. Ihre Lebensdauer ist dementsprechend früher erschöpft und sie müssen ersetzt werden. Der Benutzer der Maschine wird diese Tatsache nie als Vorwurf an den Hersteller auffassen, sofern letzterer in der Betriebsvorschrift genau festgehalten hat, welche Teile sich abnutzen und in welchen Zeitperioden diese zu kontrollieren sind. Jedermann wird verstehen, dass sich z. B. die Kontakte eines elektrischen Schalters rascher abnutzen als das Gehäuse. Der Benutzer erwartet jedoch vom Hersteller eine Instruktion, wie er diese Kontakte kontrollieren soll und bei welchem Abnutzungszustand er sie zu ersetzen hat. Was den Benutzer erzürnt, ist nicht die vorausgesehene Abnutzung einzelner Maschinenteile, sondern das überraschende Auftreten von Defekten, welche auch der Hersteller nicht erwartet hat.

## 3. Prüfung

Die Prüfung der Maschine vor der Ablieferung an den Käufer übt einen wesentlichen Einfluss auf die zukünftige Betriebssicherheit aus. Je strenger die Prüfung ist, umso sicherer lassen sich vorhandene Schwächen entdecken. Anderseits zwingt eine strenge Prüfung den Hersteller zu einer konstruktiv teureren Lösung. Es liegt also nicht im Interesse des Käufers, die Prüfvorschriften beliebig streng zu formulieren. Tatsächlich versuchen unsere Normenkommissionen, «vernünftige» Prüfvorschriften aufzustellen, d. h. einen Mittelweg zwischen hoher Zuverlässigkeit und geringen Produktkosten zu suchen. Als Beispiel seien die Stossprüfungen der Grosstransformatoren erwähnt. Als diese durch den SEV eingeführt wurden, zwangen sie die Hersteller zur Entwicklung von Konstruktionen, welche die Prüfungen aushielten. Das Resultat ist offensichtlich: Sehr wenig Transformatoren gehen in der Schweiz durch Überspannungen defekt. Anderseits sind die Transformatoren durch diese Vorschriften teurer geworden, eine Ursache, die vom Käufer leicht übersehen wird.

Auch andere Gründe verbieten ein beliebig strenges Formulieren der Prüfvorschriften. Gewisse Prüfungen beanspruchen das Material so stark, dass die zukünftige Betriebssicherheit darunter leiden kann. So führt man z. B. die Wechselspannungsprobe an einem grossen Elektromotor nur einmal aus. Eine Wiederholung darf gemäss SEV-Regeln (Lit. 1) nur mit höchstens 80 % des ursprünglichen Wertes vorgenommen werden.

## 4. Schutzeinrichtungen

Im Hinblick auf Zuverlässigkeit-Überlegungen sollen vier Kategorien von Schutzeinrichtungen unterschieden werden.

**1. Kategorie:** Schutz vor Überbeanspruchung. Als Beispiel sei der Überspannungsableiter genannt, der Überspannungen auf einen Wert begrenzt, welcher das zu schützende Objekt nicht beschädigen kann.

**2. Kategorie:** Redundanzschaltungen. Unter Redundanz wird das Vorhandensein überzähliger, für den Normalfall überflüssiger Elemente verstanden, die beim Versagen von gleichartigen Arbeitselementen automatisch deren Aufgabe übernehmen. Redundanz ist in der Elektronik ein oft gebrauchtes Mittel zur Erhöhung der Zuverlässigkeit. In der Starkstromtechnik wurde die Redundanz bisher in Maschinen wenig angewendet. Hingegen sind Redundanzschaltungen in Systemen seit längerem bekannt. Beispiel: Beim Ausfall einer Wechselstrompumpe schaltet ein Druckwächter automatisch die in Reserve gehaltene Gleichstrompumpe ein.

**3. Kategorie:** Alarmierende Schutzapparate. Diese machen darauf aufmerksam, dass ein Maschinenteil gefährdet ist und überlassen die weiteren Massnahmen dem Bedienungspersonal. Beispiel: Thermostat in einem Gleitlager, der bei zu hoher Temperatur ein Alarmhorn zum Ertönen bringt.

**4. Kategorie:** Auslösende Schutzapparate. Diese setzen die zu schützende Maschine beim Auftreten einer Gefährdung, bzw. nach erfolgtem Defekt, still. Beispiel: Differentialschutz eines Grossgenerators.

Jede der vier genannten Kategorien erhöht die Zuverlässigkeit, jede jedoch auf eine andere Art. Die auslösenden Schutzapparate können einen Defekt oft überhaupt nicht mehr verhindern. Sie reduzieren jedoch dessen Ausmass und verringern dadurch die Reparaturkosten.

Wie haben sich nun die Schutzeinrichtungen seit der Jahrhundertwende verändert? Damals waren nur wenige davon bekannt, sie mussten zuerst erfunden und entwickelt werden. Neben den technischen Möglichkeiten sind aber auch die wirtschaftlichen Überlegungen massgebend, die sich in folgender Formel ausdrücken lassen:

Preis der Maschine mal Wahrscheinlichkeit des zu hindernden Defektes gleich Konstante mal Preis der Schutzeinrichtung.

Da Leistung und Preis einer modernen Maschine bedeutend höher sind als früher, lohnt sich infolgedessen ein gröserer Aufwand für die Schutzeinrichtungen. Nur nebenbei soll die Frage gestellt werden, ob wir Schweizer auf diesem Gebiet nicht manchmal zu übertriebenem Perfektionismus neigen. Eine Schutzeinrichtung hat auch nur eine begrenzte eigene Zuverlässigkeit. Je komplizierter die Schutzeinrichtung ist, desto höher ist folglich ihre eigene Ausfallrate. Im weiteren dürfte die Bedingung sinnvoll sein, eine Schutzeinrichtung nur so kompliziert auszulegen, dass sie vom Bedienungspersonal noch einigermassen verstanden wird. Sind wohl diese Anliegen in jedem schweizerischen Betrieb erfüllt?

## 5. Geplanter Verschleiss?

Die Ansicht ist schon geäussert worden, die Maschinenindustrie begrenze die Qualität bewusst, um nach kurzer Lebensdauer das Produkt durch ein neues ersetzen zu können. Vance Packard hat in seinem Buch «Die grosse Verschwendungen» (Lit. 2) entsprechende Massnahmen amerikanischer Hersteller von Haushaltartikeln beschrieben. Er bezeichnet diese Massnahme mit «geplanter qualitativer Obsoleszenz» (vom lateinischen obsolescere, abnützen, veralten, ausser Gebrauch kommen). Wer die Verhältnisse in schweizerischen Fabrikationsbetrieben elektrischer Maschinen kennt, kann mit voller Überzeugung bestätigen, dass die geplante Obsoleszenz hier keinen Eingang gefunden hat. Wenn der Konstrukteur nicht in jedem Fall die besten Materialien und Fabrikationsmethoden verwendet, so geschieht dies aus Preisgründen, die vom Kunden mitbestimmt werden. Daneben jedoch strebt man nach grösstmöglicher Qualität im vollen Bewusstsein, dass nur sie der Schweizer Industrie eine erfolgreiche Zukunft sichern kann.

# II. Der Einfluss der Betriebsführung auf die Defektwahrscheinlichkeit

## 6. Weniger Überwachung

Der ältere Leser erinnert sich gewiss an die Betriebsführung elektrischer Zentralen um die Jahrhundertwende. Mehrere Maschinisten bildeten die Schicht, die für den Betrieb eines Generators von wenigen kVA verantwortlich war. Einer von ihnen hatte die Aufgabe, alle Messingteile dauernd mit Sigolin zu reinigen, da Ordnung und Sauberkeit höchstes Gebot war. Ein zweiter kontrollierte die Betriebseigenschaften der Maschine und ein dritter las in regelmässigen Abständen die Messinstrumente ab.

Seither sind die Verhältnisse wesentlich anders geworden. Die Benutzer der Maschine haben vom Konstrukteur verlangt, dass weniger Überwachung notwendig sei. Es ist heute keine Ausnahme mehr, dass auch grösste Maschinen fernbedient, ohne direkte Überwachung durch Menschen, im Dauerbetrieb befriedigen müssen.

## 7. Betriebsvorschriften

Aus den bis hier angestellten Überlegungen geht hervor, dass die heutigen Anlagen im Vergleich zu früher aus mehr Einzelteilen bestehen und weitgehend fernbedient und auto-

matisiert sind. Es ist nun für die Betriebssicherheit der Maschinen wesentlich, dass geschultes Betriebspersonal vorhanden ist, das evtl. Defekte in kürzester Zeit beheben kann. Die schriftliche Betriebsinstruktion, die der Hersteller seiner Maschine beifügt, hat deshalb stark an Bedeutung gewonnen. Viele Benutzer werfen dem Hersteller vor, seine Betriebsvorschriften seien zu kurz oder schwer verständlich, wobei als gute Beispiele oft amerikanische Muster beigezogen werden. Tatsächlich war der Ruf der Schweizer Betriebsinstruktionen seit jeher weniger gut als der Ruf der entsprechenden Produkte. An sich ist diese Tatsache nicht unverständlich. Das Fähigkeitsniveau des Schweizer Bedienungspersonals elektrischer Maschinen war immer sehr gehoben. Instruktionen, die man ausländischen Maschinisten schriftlich übergeben musste, waren für unser Betriebspersonal selbstverständlich. Heute jedoch gilt diese Überlegung nur noch in beschränktem Mass. Die Anlagen sind so kompliziert geworden, dass nur spezifisch geschulte und instruierte Fachkräfte zur Pannenbehebung eingesetzt werden dürfen. Zu ihrer Instruktion sind ausführliche und leichtfasslich geschriebene Vorschriften unerlässlich. Zusammen mit der

persönlichen Einführung des Kundenpersonals, die meistens bei der Inbetriebnahme durchgeführt wird, bilden sie eine wesentliche Voraussetzung für die richtige Wartung und beeinflussen dadurch die Betriebssicherheit.

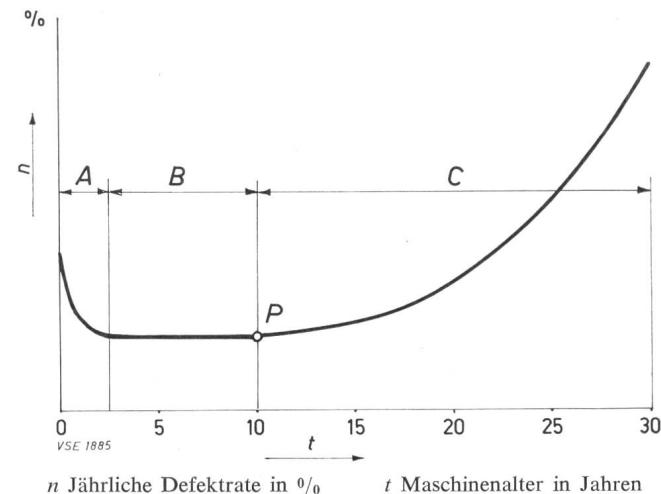
## 8. Die erste Revision

Eine wichtige Massnahme für den zuverlässigen Betrieb grosser Maschinen — wir reden in diesem Abschnitt nur von grösseren und grössten rotierenden Einheiten — ist die erste Revision (Lit. 9). Die meisten Hersteller schlagen vor, dass die Maschine im Verlaufe der ersten 1—3 Jahre (je nach Benützungsdauer) einer gründlichen Kontrolle unterzogen werden soll. In der Schweiz wird dieser Empfehlung im allgemeinen gut entsprochen. Es kommt jedoch gelegentlich vor, dass sie nicht beachtet oder in vollem Bewusstsein nicht befolgt wird, so dass z. B. ein Generator seinen Dienst nach der Inbetriebnahme während mehrerer Jahre ohne Kontrolle und Revision versehen muss. Der verantwortliche Betriebsleiter macht in solchen Fällen geltend, er benötige die Maschine täglich so dringend, dass er sich einen längeren Unterbruch einfach nicht leisten könne. Diese Haltung ist wiederum dem Hersteller unverständlich, da der gleiche Besitzer sein Auto diskussionslos nach den ersten 10 000 km einer gründlichen Revision unterwirft, weil diese vom Autofabrikanten so vorgeschrieben wurde. Für einen Bäcker oder Metzger, der sein Geschäftsauto täglich benötigt, wäre es ebenso naheliegend, auf den Wagenservice zu verzichten mit der Begründung, er könne sich die Nichtbenützbarkeit des Autos nicht leisten. Es scheint, dass diese Benutzer an elektrische Maschinen andere Ansprüche stellen als an ihre Transportmittel.

Für beide Kategorien technischer Produkte gelten jedoch die gleichen Grundregeln der Technik. Man kann wohl ein technisches Erzeugnis vor der Ablieferung an den Kunden prüfen und damit beweisen, dass es in einwandfreiem Zustand ist. Die beste Qualität kann aber nicht verhindern, dass gewisse definitive Einstellungen, Fixierungen, Korrekturen usw. erst nach einigen Betriebsperioden vorgenommen werden. Wir können die Notwendigkeit der ersten Kontrolle mit dem alt bekannten «Sockenhalt» im Militärdienst vergleichen. Der erste Halt auf einem längeren Marsch wird nach 10—15 Minuten eingeschaltet, damit jeder Wehrmann die Möglichkeit hat, seine zum Marschieren notwendige Ausrüstung in «betriebstüchtigen» Zustand zu bringen. Auch hier könnte man theoretisch argumentieren, eine solche Kontrolle sei nicht nötig, da sich ja alles vor dem Abmarsch kontrollieren lasse. Die Erfahrung zeigt jedoch immer wieder, dass sich trotz peinlicher Kontrolle gewisse Mängel der Marschausrüstung erst nach dem ersten zurückgelegten Kilometer zeigen.

Nehmen wir ein Beispiel aus dem Gebiet der Maschinen: Alle verwendbaren Isolierstoffe schwinden, d. h. die beanspruchten Dimensionen werden langsam kleiner. Wohl sind während der letzten Jahre neue Materialien entwickelt worden, die ein wesentlich geringeres Schwindmass aufweisen. Anderseits wird, wie oben erwähnt, das Isoliermaterial in den modernen Maschinen stärker ausgenützt als früher. Das Schwinden tritt vor allem in der ersten Betriebszeit auf und wird durch Wärmezyklen und mechanische Beanspruchungen begünstigt. Es ist deshalb noch heute, wie schon vor 50 Jahren, notwendig, eine grosse elektrische Maschine nach

den ersten 1—3 Jahren zu kontrollieren und eventuell losgewordene Isolationsteile (z. B. Abstützungen der Spulenköpfe) neu zu fixieren. Wird dies unterlassen, so tritt vielleicht für einige Jahre noch kein Defekt auf; die losen Isoliersteile vibrieren jedoch und nützen sich ab. Beim schliesslichen Auftreten des ersten Defektes ist bereits so viel Schaden entstanden, dass die nun notwendigen Reparaturarbeiten bedeutend mehr Zeit beanspruchen und mehr kosten als die empfohlene Kontrolle.



Die meisten grossen Maschinen (nicht nur die elektrischen) sind mit Bezug auf Defekte durch eine Kurve gemäss Abb. gekennzeichnet. Diese ist folgendermassen zu verstehen: Im 10. Lebensjahr einer gegebenen Maschine beträgt die jährliche Defektrate z. B. 4 % (Punkt P). Dies bedeutet, dass von 100 gleichen Einheiten vier einen jährlichen Defekt erleiden. Diese Zahlenwerte sind selbstverständlich nur als Beispiel aufzufassen; zu jedem Maschinentyp gehört eine andere Kurve (Lit. 5). Vor Festlegung des Ordinatenmaßstabes muss das Ausmass der betrachteten Defekte definiert werden; wollen wir alle oder nur schwerwiegende Defekte erfassen?

Der Bereich A beschreibt die sog. Frühdefekte, die durch die erwähnten Veränderungen während der Einlaufperiode bedingt sein können. Es kann sich auch um «Kinderkrankheiten» handeln, die bei Erstkonstruktionen gelegentlich vorkommen. Durch Auswertung der Betriebserfahrungen immer gleicher Produkte lässt sich der Kurvenast A allmählich etwas senken. Die technische Entwicklung (neue Methoden, neue Werkstoffe) sowie individuelle Kundenwünsche bringen es jedoch mit sich, dass grosse Maschinen nur selten Wiederholungen darstellen. Das wirksamste Mittel zur Reduktion der Frühdefekte sind in jedem Fall die empfohlenen periodischen Kontrollen.

Der Benutzer erwartet vom Hersteller Richtlinien über die Durchführung der Kontrollen. Nach der persönlichen Erfahrung des Verfassers haben sich Wartungstabellen am besten bewährt, in denen jede einzelne Wartungsmassnahme und deren zeitliche Durchführung angegeben ist. Der Lieferant darf sich nur dann über mangelnden Unterhalt beklagen, wenn er schriftliche Instruktionen irgendwelcher Art geliefert hat und diese nicht befolgt werden.

Diese verschiedenen Überlegungen haben dazu geführt, dass in einigen Ländern die erste Revision als sog. «Garantierevision» vom Käufer bereits in der Offertanfrage spezifiziert

und deshalb vom Lieferanten im Lieferpreis eingeschlossen wird. Vor allem wurde dies bei Turbogruppen gemacht. In der Schweiz war diese Praxis bisher nicht üblich. Nach Ansicht des Verfassers könnte sie die Lösung der Diskussionen und Missverständnisse darstellen, die manchmal mit Bezug auf die erste Revision auftreten.

### 9. Rechtliche Fragen

Auch der Begriff «versteckter Mangel» bildet eine Ursache gelegentlicher Meinungsverschiedenheiten. Der Definition nach ist ein versteckter Mangel eine Unzulänglichkeit, die schon bei der Ablieferung vorhanden ist, aber erst später entdeckt wird. Es wird manchmal die Ansicht vertreten, der Lieferant hafte für verdeckte Mängel über Jahre hinaus; dies ist jedoch falsch (Lit. 6). Bei jähriger oder überjähriger Garantiedauer erlischt die Rügefrist für verdeckte Mängel gleichzeitig mit dem Ablauf der Garantieperiode. Das Schweiz. Obligationenrecht (OR) legt nämlich die Verjährungsfrist für Mängelrügen in Art. 210 und 371 grundsätzlich auf ein Jahr nach Ablieferung fest. Da es sich um dispositive Recht handelt, kann diese Verjährung durch die in der Maschinenindustrie übliche Garantieklausel wegbedungen werden, wodurch dem Kunden das Recht zusteht, offene und verdeckte Mängel spätestens bis zum Ablauf der Garantieperiode zu rügen (Lit. 7). Zur Klarstellung sei erwähnt, dass die in Art. 371 OR erwähnte 5jährige Haftung nur für unbewegliche Bauwerke gilt. Elektrische Maschinen und Apparate gehören in der Regel nicht dazu, da sie auf einfache Weise, z. B. durch Lösen von Schrauben, entfernt und versetzt werden können (Lit. 10). Vorbehalten bleibt allerdings die 10jährige Frist für die absichtliche Täuschung, die jedoch im Rahmen dieses Aufsatzes bedeutungslos ist.

Dieser kurze Exkurs über rechtliche Fragen richtet sich an Betriebsleute und nicht an Juristen; er stellt deshalb nur das grundsätzliche Prinzip dar und geht auf mögliche Sonderfälle nicht ein. Die erwähnten Tatsachen müssen nun im Zusammenhang mit der oben empfohlenen ersten Revision gesehen werden. Nehmen wir an, der Besitzer eines Generators revidiere seine Maschine erst nach fünf Jahren. Durch das Abschwinden des Isoliermaterials und andere Erscheinungen sind bereits umfangreiche Arbeiten notwendig geworden. Der Käufer vertritt in solchen Fällen oft die Auffassung, dieser Schaden sei auf einen verdeckten Mangel zurückzuführen und der Hersteller sei deshalb verpflichtet,

die Kosten dafür zu bezahlen. Der Hersteller wird dem gegenüberhalten, er hätte eine erste Kontrolle nach 1—2 Jahren empfohlen, diese sei nicht durchgeführt worden und die Schuld liege deshalb beim Benutzer. Im weiteren verweise er auf den Vertrag und auf das OR.

Durch das in unserem Land traditionelle gute Einvernehmen zwischen Benutzern und Herstellern wird immer eine Einigung bzw. ein gutschweizerischer Kompromiss gefunden, bevor es zu einem Streitfall kommt. Die Diskussionen sind jedoch unerfreulich. Die im Preis eingeschlossene Garantie-Revision, wie sie oben vorgeschlagen wurde, liesse dieselben vermeiden.

Es ist schon angeregt worden, das OR so abzuändern, dass die Rügefrist für verdeckte Mängel verlängert wird. Als Begründung wurde angegeben, die modernen Maschinen seien so gross und kompliziert geworden, dass es nicht möglich sei, verdeckte Mängel innerhalb der üblichen Garantiefrist von 1—2 Jahren zu entdecken. Nach Ansicht des Verfassers ist dieses Argument jedoch nicht stichhaltig. Die Erfahrung zeigt, dass bei einer gründlichen Kontrolle und Revision elektrischer Maschinen vor Ablauf der Garantiedauer praktisch alle verdeckten Mängel ans Licht kommen. Ausnahmen sind so selten, dass dieselben eine Änderung des OR nicht rechtfertigen würden.

### 10. Reserveteile

Für den Betriebsmann ist nicht nur die Defektrate massgebend, sondern auch die zur Behebung des Defektes notwendige Zeit. Diese wird sehr oft durch Reserveteile bestimmt, die der Benutzer einer Maschine angeschafft und auf Lager gelegt hat. Die Hersteller empfehlen deshalb die Reserveteile meistens schon in der Offertphase. Der Schweizer nimmt im allgemeinen diese Empfehlungen ernst, was gewiss auch zu den bekannten kleinen Ausfallzeiten beiträgt. Es sei als Beispiel erwähnt, dass ein durchschnittlicher Wicklungsschaden eines Grossgenerators mit vorhandenen Reservespulen in 1—4 Wochen behoben werden kann, während 5—10mal soviel Zeit benötigt wird, falls die Fabrikation neuer Spulen erforderlich ist. Schlimm ist die Situation in Entwicklungsländern, wo das begrenzte Kapital ausschliesslich für «sichtbare» Produkte eingesetzt werden darf. Reserveteile gehören leider nicht dazu, da sie vorerst in einem dunklen Keller gelagert werden!

## III. Die Lebensdauer elektrischer Maschinen

### 11. Die Ausserdienstsetzung der Maschine

Vorerst sei daran erinnert, dass ein grundsätzlicher Unterschied besteht zwischen dem «Tod» einer Maschine und dem Tod von Tieren und Menschen. Bei höheren Lebewesen wird der Tod durch biologische Faktoren bestimmt; er ist durch das Absterben zentraler Organe eindeutig definiert. Eine Maschine lässt sich jedoch, von Ausnahmefällen abgesehen, durch Reparaturen und durch Ersatz defekter Teile immer wieder in betriebstüchtigen Zustand versetzen. Wie die Abb. zeigt, nimmt die Ausfallrate im höheren Lebensalter der Maschine dauernd zu (Bereich C). Die Reparaturkosten steigen von Jahr zu Jahr. Die Ausserdienstsetzung ist dadurch definiert, dass die jährlichen Reparatur- und Ausfallkosten

höher werden als die auf das Jahr umgerechneten Kosten einer neuen, gleichen Maschine. Es zeigt sich also, dass die wirtschaftliche Lebensdauer direkt gekoppelt ist mit der Zuverlässigkeit, welche auch als Defektunwahrscheinlichkeit aufgefasst werden kann.

Im heutigen Zeitalter der raschen technischen Entwicklung kommt es allerdings selten vor, dass eine Maschine nach Ablauf ihrer Lebensdauer durch eine *gleiche* Maschine ersetzt wird. Wie im ersten Teil dieses Aufsatzes dargelegt wurde, werden immer wieder leistungsfähigere Maschinen entwickelt. Diese machen sich durch den höheren Wirkungsgrad von selbst bezahlt und bewirken damit die Ausserdienstsetzung ihres Vorläufers schon vor dem oben definierten

Zeitpunkt. Im Gegensatz zur früher erwähnten qualitativen Obsoleszenz nennt man diese Tatsache «Funktionelle Obsoleszenz» (d. h. die Veraltung eines vorhandenen Erzeugnisses durch Einführung eines neuen, das seine Funktion besser erfüllt). Als Beispiel sei der Ersatz eines alten Transformators durch einen neuen mit kleineren Eisen- und Kupferverlusten erwähnt. Wegen seines höheren Wirkungsgrades lohnt sich die Anschaffung eines neuen Trafos meistens lange bevor der alte technisch betriebsuntüchtig geworden ist.

Eine weitere Ursache der Ausserdienstsetzung kann die «Psychologische Obsoleszenz» bilden, d. h. die Veraltung eines Produktes, das qualitativ und in seiner Leistung noch gut ist, weil es aus Modegründen oder wegen anderer Veränderungen weniger begehrenswert erscheint. Dieses Prinzip bestimmt z. B. die Lebensdauer eines Damenkleides. Während es in USA auch in technische Belange eingedrungen ist (z. B. Ersatz eines alten, schwarzen Telephonapparates, weil jetzt rote Telephone Mode sind), kam es bisher bei elektrischen Maschinen in der Schweiz kaum zur Anwendung.

## 12. Der Umbau alter Maschinen

Es liegt in der Art des Schweizers, zu alten Gegenständen Sorge zu tragen und sie erst dann zu eliminieren, wenn sie wirklich unbrauchbar geworden sind. Diese Haltung tendiert darauf, die Lebensdauer alter und ältester Maschinen künstlich zu verlängern, indem sie kurz vor dem Tod noch umgebaut werden. In vielen Fällen ist dies richtig und sinnvoll, z. B. beim Einbau einer neuen Wicklung in einen alten Generator, dessen übrige Teile noch gut sind. Oft gehen jedoch die Meinungen von Herstellern und Benutzer in dieser Sache auseinander. Ein Beispiel aus der Praxis ist am besten geeignet, die damit zusammenhängenden Gesichtspunkte zu erläutern.

Der Besitzer eines 32jährigen Transformators (mit Stufenschalter) wünscht diesen durch den ehemaligen Hersteller von Innenraum- auf Freiluftaufstellung umbauen zu lassen. Aufgrund einer Wirtschaftlichkeitsrechnung kam er zum Schluss, dass dies trotz des hohen Alters lohnend sei. Wie oben dargelegt, bildet jedoch die Prognose der zukünftigen Defektwahrscheinlichkeit einen wesentlichen Bestandteil einer solchen Wirtschaftlichkeitsrechnung. Der Kunde hatte jedoch einfach angenommen, die Maschine verhalte sich nach dem Umbau bezüglich Zuverlässigkeit wie eine neue.

Der Hersteller hingegen hätte den Umbau am liebsten abgelehnt, da Lehren und andere Fabrikationseinrichtungen sowie die mit diesen veralteten Produkten vertrauten Fachkräfte fehlten. Eine Garantie für die Umbauarbeiten lehnte der Hersteller ab mit der Begründung, der qualitative Zustand der alten Teile könne durch den Umbau nicht verbessert werden.

Solche Beispiele gibt es in der täglichen Praxis sehr oft. Der Anspruch des Besitzers an den Hersteller, zu seinen früher verkauften Produkten zu stehen, ist gewiss berechtigt. Er gehört zum Service-Gedanken, der in der modernen Zeit an Wichtigkeit noch massgeblich gewonnen hat und nach Ansicht des Verfassers oberstes Prinzip jeder verantwortungsbewussten Firma darstellen muss. Anderseits müssen auch wir Schweizer uns der raschen Entwicklung der Technik anpassen; im Jahre 1965 liebt es der Sohn nicht mehr, in Vaters umgeschneiderter Hose zur Schule zu gehen, wie dies früher während Generationen Brauch und Sitte war.

## 13. Der Belastungseinfluss

Die Lebensdauer wird auch durch die Art der Betriebsführung, vor allem durch die Belastung, bestimmt. In besonderem Masse trifft dies für die Wicklung zu, welche ganz allgemein als zentraler Teil elektrischer Maschinen aufgefasst werden kann.

Das Gesetz von Montsinger besagt, dass die Lebensdauer einer Wicklung durch 10 °C Temperaturerhöhung auf die Hälfte reduziert wird. Da die Temperatur einer gegebenen Maschine von der Belastung abhängt, ist dadurch der Zusammenhang zwischen Lebensdauer und Belastung gegeben (wobei natürlich in der Praxis noch weitere Faktoren beachtet werden müssen). In der Offertphase, d. h. bei der Festlegung der Nenndaten und Dimensionen ist man noch frei und die Maschine kann z. B. so ausgelegt werden, dass durch stärkere Ventilation die Temperatur niedrig gehalten wird. Dadurch steigen jedoch die Ventilationsverluste, was den Wirkungsgrad erniedrigt. Beide Größen, Lebensdauer und Wirkungsgrad, wirken sich kostenmäßig aus. Leider wird allzu oft nur an den Wirkungsgrad gedacht, d. h. an das Geld, das schon morgen gespart werden kann, ohne den Einfluss auf die Lebensdauer zu berücksichtigen.

Grosse Synchronmotoren werden häufig so ausgelegt, dass wegen der Erwärmung der Dämpferwicklung nur eine begrenzte Anzahl Anläufe pro Stunde oder pro Tag zugelassen werden. Tritt ein Defekt auf, so gilt es vorerst zu untersuchen, ob diese Bedingung nicht überschritten wurde. Jeder Betriebsleiter weiß, wie schwierig solche Erhebungen sind, die auf einige Jahre zurück angestellt werden müssen.

Die Lebensdauer der Wicklungen von Turbogeneratoren wird unter anderem durch die Anzahl der An- und Abstellungen bestimmt. Kupfer und Eisen dehnen sich verschieden stark, wodurch die Isolation beansprucht wird. Die Hersteller formulieren hier meistens keine Bedingungen, sondern überlassen die vernünftige Betriebsführung dem Benutzer. Dieser gewinnt damit wiederum einen wesentlichen Einfluss auf die Lebensdauer.

## 14. Alterungskontrollen

Da, wie eben erwähnt, der Hersteller nur einen beschränkten Einfluss auf die Betriebsführung ausübt, kann er in den meisten Fällen keine fixen Regeln für durchzuführende Revisionen aufstellen. Es ist deshalb nach Methoden gesucht worden, durch Messungen eine Prognose über die zukünftige Lebensdauer zu erhalten. Als Beispiel seien die Alterungsmessungen an Wicklungen erwähnt, die in den letzten Jahren in der Schweiz Eingang gefunden haben. Mit einer bestimmten (begrenzten) Wahrscheinlichkeit lässt sich damit der Alterungszustand feststellen. Wenn die Messungen auf das nahende Ende der Lebensdauer hinweisen, so ist es Zeit, eine neue Wicklung in Auftrag zu geben und diese in einer Betriebspause einzubauen. So wird es möglich, durch Beurteilung der Lebensdauer eines Einzelteiles (z. B. der Wicklung) die Lebensdauer des gesamten Objektes (z. B. des Generators) zu erhöhen. Auch wenn es in Zukunft kaum möglich sein dürfte, den Ausfall genau vorauszubestimmen, so weisen Alterungskontrollen doch eindeutig auf Materialveränderungen hin, reduzieren die Zahl der unerwarteten Störungen während des Betriebes und erhöhen dadurch die Zuverlässigkeit.

## 15. Statistische Erfahrungswerte

Zusammenfassend drängt sich nun die Frage auf, wie sich schweizerische Produkte bezüglich Zuverlässigkeit und Lebensdauer mit ausländischen Produkten vergleichen. Statistiken, welche einen Querschnitt über verschiedene Länder vermitteln, gibt es wenige. Hingegen existieren mehrere nationale Auswertungen (Lit. 5, 8). Diese lassen den Schluss zu, dass die Ausfallrate in schweizerischen Betrieben nach wie vor kleiner ist als im Ausland. Der Verfasser kennt die Verhältnisse in mehreren Ländern aus eigenem Erleben; auch seine (subjektiven) Erfahrungen deuten in der gleichen Richtung. Dieser Schluss darf nicht nur als gutes Zeugnis unserer Hersteller, sondern ebenso sehr als Lob der guten Betriebsführung der Benutzer aufgefasst werden. Qualität wurde in der Schweiz seit jeher gross geschrieben und muss in der Zukunft noch an Bedeutung gewinnen. Hingegen ist zu fragen, ob die Probleme der Defekte nicht manchmal in falschen Proportionen gesehen werden. Untersuchungen in den USA (Lit. 5) zeigen, dass die jährlich aufzubringenden Instandsetzungskosten für

Radio und Fernsehen	5 bis	15 %
Haushaltmaschinen	10 bis	15 %
Militärische elektronische		
Ausrüstung	60 bis	1000 % (!)

vom ursprünglichen Beschaffungspreis betragen (von grossen elektrischen Maschinen waren keine Zahlen erhältlich). Als Vergleich dazu sei der Betriebsleiter eines schweizerischen Kraftwerkes erwähnt, der sich über die hohen Revisionskosten seines Generators bitter beklagte. Nach 4 Jahren praktisch störungsfreien Betriebes (wobei die vom Lieferant empfohlenen jährlichen Kontrollen nicht durchgeführt wurden waren), wurde eine Überholung nötig, die ca. 2,5 % des Beschaffungspreises kostete, d. h. 0,6 % pro Jahr!

Auch wir Schweizer, die wir auf den Qualitätsbegriff (notwendigerweise) versessen sind, müssen uns von Zeit zu Zeit den bekannten Vergleich vom Waschbrett und der Waschmaschine zu Gemüte führen. Ohne Zweifel sind Zuverlässigkeit und Lebensdauer eines Waschbrettes wesentlich höher als die entsprechenden Daten einer Waschmaschine. Trotzdem verzichten wir alle freiwillig auf das Waschbrett. Es wäre technisch und wirtschaftlich falsch, den Hersteller von Waschmaschinen zu einer Fabrikation zu zwingen, welche der Zuverlässigkeit des Waschbrettes nahe kommt. Der Konsument wäre niemals bereit, Umfang, Gewicht und Preis eines solchen «Waschwunders» zu akzeptieren.

Der Betriebsmann, der nach der mittleren Defektrate seiner Maschine befragt wird, schätzt diese subjektiv meistens zu hoch ein, d. h. er empfindet die Defekte stärker als die Statistik. Dies ist nicht unverständlich, befasst er sich doch in seinem täglichen Arbeitslauf vorwiegend mit Störungen; der ungestörte Betrieb läuft ja von selbst. Im weiteren ist zu beachten, dass der Ausfall einer modernen 100-MVA-Maschine heute bedeutend schwerere Folgen hat als der Ausfall eines 270-kVA-Generators im Jahre 1900. Damals wurde einfach die Petrollampe angezündet, wenn der elektrische Strom fehlte. Die heutige Abhängigkeit der Bevölkerung und der Wirtschaft vom Funktionieren der Energieversorgung bringt es mit sich, dass bei einem Stromunterbruch eine unerhörte Last der Verantwortung auf dem zuständigen Betriebsleiter ruht. Dieser empfindet deshalb einen Defekt

subjektiv viel intensiver als seine Kollegen um die Jahrhundertwende.

## 16. Schlussbetrachtungen

Das Streben nach höherer Zuverlässigkeit elektrischer Maschinen bildete den Ausgangspunkt und das Hauptanliegen der vorliegenden Betrachtungen. Wenn wir unter Qualität das Vorhandensein bestimmter Eigenschaften zu irgend einem Zeitpunkt und unter Zuverlässigkeit die hinreichende Aufrechterhaltung dieser Eigenschaften über eine bestimmte Zeit verstehen, so ergeben sich daraus zweifache Anforderungen an die Qualität; nämlich einerseits an die eingebaute Qualität, die der Hersteller bestimmt, und anderseits an die Qualität der Betriebsführung, für die der Benutzer verantwortlich ist. Nur beide zusammen, Hersteller und Benutzer, können den guten Klang, den die Schweizer Qualität heute besitzt, auch in der Zukunft aufrechterhalten. Die Hochkonjunktur, der grosse Fremdarbeiterbestand und einige andere Erscheinungen unserer heutigen raschlebigen Zeit schliessen die Gefahr in sich, dass in unseren Fabriken, Kraftwerken und Dienstleistungsbetrieben schlechtere Arbeit geleistet wird als in den Krisenjahren, wo jeder Angst hatte, bei ungenügender Leistung seine Stelle zu verlieren.

Auf der einen Seite muss es deshalb das dauernde Bestreben der Geschäftsleitungen sein, das Qualitätsniveau in ihren Fabrikationsbetrieben elektrischer Maschinen hochzuhalten. Die Benutzer ihrer Produkte haben einen berechtigten Anspruch darauf. Auf der andern Seite richten die Hersteller auch einen Wunsch an ihre Kunden. Sie müssen ebenso hart darnach trachten, die Betriebsführung mit höchster Qualität zu erfüllen. Beim Auftreten eines Defektes sei nicht einfach in leidenschaftlicher Erregung die minderwertige Arbeit in der Fabrik angeklagt. Die vielen strukturellen Faktoren, die in der vorliegenden Abhandlung aufgezeigt wurden, wollen nüchtern betrachtet und erwogen sein. Dadurch dürfte das gegenseitige Verständnis zwischen Benutzer und Hersteller gefördert werden, was ein weiteres Anliegen dieses Aufsatzes war.

### Literaturverzeichnis

- [1] Regeln für elektrische Maschinen. SEV-Publikation 3009.1962.
- [2] Vance Packard: Die grosse Verschwendug. Fischer Bücherei, 1964.
- [3] Ackmann/Deixler: Die Zuverlässigkeit elektronischer Bauelemente. ETZ-B, Heft 6, 1964.
- [4] Masing: Die Zuverlässigkeit elektronisch gesteuerter maschineller Anlagen. ETZ-B, Heft 10, 1964.
- [5] Etzrodt: Technische Zuverlässigkeit in Einzeldarstellungen. Oldenbourg Verlag, München, 1964.
- [6] H. J. Reber: Die Garantieklauseln der Maschinenindustrie. Technische Rundschau Nr. 17, April 1952.
- [7] Guhl: Das Schweiz. Obligationenrecht. Polygraphischer Verlag, Zürich, 1956.
- [8] Dickinson: How reliable is electric equipment in industrial plants? Power, June 1962.
- [9] R. Spieser: Krankheiten elektrischer Maschinen, Transformatoren und Apparate. Springer-Verlag, 1960, Seite 191.
- [10] R. Haab: Kommentar zum Sachenrecht, Note 1—17 zu Art. 642 ZGB.

### Adresse des Verfassers:

P. Hauenstein, dipl. Ing., Chef der Abt. für Montage, Inbetriebsetzung und Service, Maschinenfabrik Oerlikon, 8050 Zürich.