

**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:** 72 (1981)

**Heft:** 15

**Artikel:** Das Prüfen von bestückten Leiterplatten

**Autor:** Luchsinger, M.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-905137>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.01.2025

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

# Das Prüfen von bestückten Leiterplatten

Von M. Luchsinger

621.3 049.7;

Dieser Beitrag soll dem Nichtfachmann einen Überblick über die Probleme vermitteln, mit denen ein Hersteller von elektronischen Systemen beim Prüfen von bestückten Leiterplatten konfrontiert wird. Der Schwerpunkt liegt auf dem Einsatz von automatischen Prüfsystemen, die einen hohen Investitionsaufwand erfordern.

Le but de cet article est de donner aux non-spécialistes un aperçu des problèmes qui se posent à un fabricant de systèmes électroniques, lors du contrôle des plaques à circuit imprimé équipées. L'accent est mis sur l'emploi de systèmes automatiques de contrôle qui représentent un investissement important.

## 1. Einleitung

Die an ein fertiges Produkt gestellten Anforderungen bezüglich Qualität (Konformität) und Zuverlässigkeit können nicht allein dadurch erreicht werden, dass man ein ganzes System fertigt und am Schluss auf seine Funktion überprüft. Dieses Vorgehen wäre theoretisch wohl möglich, doch sprechen wirtschaftliche und qualitätssichernde Überlegungen dagegen. Figur 1 zeigt, wie sich der Aufwand für die Fehlerlokalisierung und Fehlerbehebung desselben Fehlers auf den sich folgenden Fertigungsstufen erhöht: jedesmal um ungefähr den Faktor 10.

In den letzten Jahren ist durch die Entwicklung von neuen Technologien auf der Stufe der Bauelemente die Komplexität von bestückten Leiterplatten (Baugruppen) und Systemen rasant angestiegen. Diese Entwicklung wirkte sich natürlich auch auf die Prüfung dieser Baugruppen aus. Parallel dazu hat sich der Anteil der Prüfkosten an den gesamten Herstellungskosten stark erhöht. Dieser Anteil ist abhängig von der Komplexität, der Stückzahl und vom gewählten Prüfkonzept. Die Prüfvorbereitung, die Amortisation der teuren Testsysteme und die Fehlerlokalisierung tragen im wesentlichen zu der Höhe dieser Prüfkosten bei.

Von der Qualitätssicherungsorganisation kann die Konformität und Zuverlässigkeit für ein Endprodukt nur sichergestellt werden, wenn auf jeder Fertigungsstufe, sei es Bauelement, Baugruppe, Modul (Fertigungseinheit) oder System, die spezifische Istqualität erfasst und gemäss den Sollwerten verbes-

sert wird. Ein Produkt einer dieser Fertigungsstufen ist die Baugruppe. Die Prüfung einer Baugruppe darf nicht einzeln als solche betrachtet, sondern sie muss immer im Zusammenhang mit den vorgängigen und den folgenden Prüfungen gebracht werden und auf diese abgestimmt sein.

## 2. Prüfkonzept

Es ist für eine Firma mit einem breiten Spektrum von verschiedenartigen Baugruppen sehr schwer, jeweils das kostengünstigste Prüfkonzept anzuwenden, zumal Firmen nicht über unbeschränkte Mittel für Investitionen verfügen. So muss von Fall zu Fall untersucht werden, welches Prüfverfahren in welcher Reihenfolge das effizienteste Resultat bezüglich Prüfkosten und Fehlerabdeckung (Prüftiefe) ermöglicht. Daraus ergibt sich, dass für die Baugruppe ein Prüfplan erstellt wird. Figur 2 zeigt eine mögliche Kombination von Prüfverfahren.

## 3. Prüfverfahren

Bei der Prüfung von Baugruppen haben in den letzten Jahren die automatischen Prüfverfahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Sie bieten gegenüber den manuellen Prüfverfahren verschiedene Vorteile, erfordern jedoch einen viel höheren Investitionsaufwand.

### 3.1 Visuelle Prüfung

Das Ziel der visuellen Prüfung ist das Auffinden von Fehlern, die während des Fertigungsablaufs entstehen; es sind dies vor allem Kurzschlüsse und Unterbrüche von Leiterbahnen, schlechte Lötstellen sowie fehlende oder falsch bestückte Bauelemente. Die Güte der visuellen Prüfung ist stark von der Person, die diese Prüfung vornimmt, abhängig. Somit kann nicht in jedem Fall eine vollkommene Reproduzierbarkeit der Prüfung erreicht werden. Diese Prüfart bietet den Vorteil, dass die Investitionen und der Aufwand für die Vorbereitung niedrig gehalten werden können.

### 3.2 Individuelle Prüfplätze für die Funktionsprüfung

Beim individuellen Prüfen wird der Prüfplatz dem Bedürfnis entsprechend aus verschiedenen einzelnen Prüfgeräten aufgebaut. Dieses Prüfverfahren war früher die einzige Möglichkeit, Baugruppen zu prüfen, und wird heute noch vielerorts bei kleineren Stückzahlen, aber auch bei sehr grossen Stückzahlen identischer Baugruppen angewendet. Warum dieser vermeintliche Widerspruch?

Beim Prüfen von kleinen Stückzahlen lohnt es sich vielfach nicht, ein Prüfprogramm, das je nach Komplexität der Schaltung einige zehntausend Franken kosten kann, herzustellen. Andererseits stehen für gewisse Prüfungen, vor allem an mit

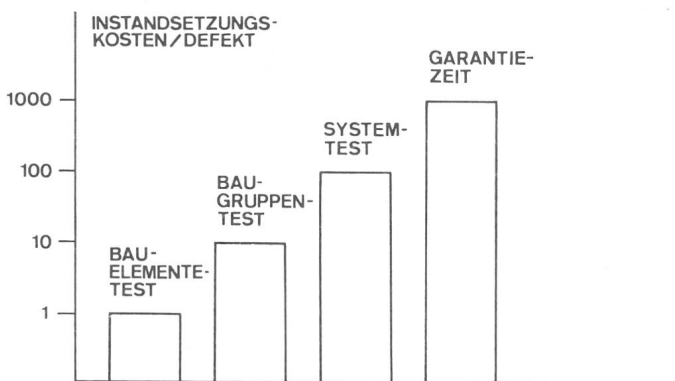


Fig. 1 Relative Entwicklung des Aufwandes für die Fehlerlokalisierung und Fehlerbehebung eines bestimmten Fehlers im Verlauf der Fertigung und Garantiezeit



Fig. 2 Mögliche Kombination der Prüfverfahren einer Baugruppe

analogen Bauelementen bestückten Leiterplatten, überhaupt keine geeigneten automatischen Prüfsysteme zur Verfügung. In diesem Fall hilft auch bei grossen Stückzahlen nur der individuelle Prüfaufbau, wobei es heute möglich ist, steuerbare Prüfgeräte einzusetzen. Diese können von einem Tischrechner über den «IEC-Bus» angesteuert werden. Der Prüftechniker erhält dadurch eine gewisse Hilfe, die ihm die Arbeit erleichtert. Doch ist es stets von seinem Können abhängig, wie rationell und wirtschaftlich eine Prüfung anhand der Prüfanweisung ausgeführt wird.

Für Baugruppen, die in grosser Stückzahl gefertigt werden und bei denen während des Prüfens zusätzlich auch noch Abgleiche vorgenommen werden müssen, lohnt es sich vielfach, individuelle Prüfgeräte zu entwickeln und zu bauen. Ein derartiges Prüfgerät kann optimal an die jeweiligen Bedürfnisse angepasst werden. Die Bedienung ist einfacher und kann durch angeleitetes Personal erfolgen. Die Entwicklung und der Bau solcher Prüfgeräte ist aufwendig. Im weiteren besteht die Gefahr, dass der Entwickler alle technischen Möglichkeiten, die ihm der Markt anbietet, in seinem Projekt zu verwirklichen versucht. Das Resultat ist dann meist ein universelles Prüfsystem, das wiederum von einem Prüfgerätehersteller billiger gekauft werden könnte.

Eine Alternative zu den beiden beschriebenen Prüfverfahren ist das Prüfen einer Baugruppe in einem ausgeprägten System oder Systemteil unter den tatsächlichen Betriebsbedingungen, wobei sich die Fehlerlokalisierung ohne entsprechende technische Massnahmen recht schwierig gestaltet. Bei grösseren Stückzahlen ist es von Vorteil, eine geeignete Adaptionmöglichkeit der Baugruppe ausserhalb des Systems zu schaffen (Abnutzung, kürzere Handlungzeit).

Der Stand der heutigen Technik erlaubt, bei gewissen Anwendungen die Software der Baugruppe so aufzubauen, dass sich die Baugruppe selbst prüft und auch mögliche Fehlerursachen angezeigt werden. Dabei kann der «externe» Prüfaufwand auf die Prüfung der «Prüfschaltung» und auf die abschliessende Auswertung der Eigenprüfresultate reduziert werden.

### 3.3 Automatische Prüfsysteme

Was sind nun eigentlich die Stärken der automatischen Prüfsysteme, was rechtfertigt ihre hohen Kosten?

Die Vorteile sind:

- hohe Prüfgeschwindigkeit bei Gut/schlecht-Prüfung und damit ein hoher Durchsatz,
- hohe Reproduzierbarkeit,
- hohe Prüfzuverlässigkeit (keine Einstell- und Ablesefehler, hohe Prüftiefe) durch lange und automatische Prüffolgen,
- Zeiteinsparung bei der Programmierung und bei der Fehlersuche dank Softwareunterstützung,
- niedrige Bedienungs- und Ausbildungskosten des Bedienungs-personals (nur bei Gut/schlecht-Prüfung).

In den letzten Jahren hat der Prüfgerätemarkt stark expandiert, wodurch es für den Anwender recht schwer geworden ist, den richtigen Entscheid beim Einkauf eines Prüfsystems zu treffen. Die Investitionen für ein universelles Prüfsystem reichen von Fr. 150000.- bis über Fr. 1 Mio., wobei die Preise für ähnlich leistungsfähige Systeme nicht stark differieren. Die Aufwendungen beschränken sich jedoch nicht nur auf die einmaligen Systemkosten. Weitere Ausgaben, die im Zusammenhang mit der Anschaffung eines Prüfsystems stehen, sind:

- Bereitstellungskosten (Infrastruktur, Organisation),
- Ausbildungskosten für Programmierer, Operateure und Entwickler,
- Programmierkosten,
- Adaptionkosten,
- Wartungskosten (ca. 10% des Kaufpreises pro Jahr),
- Kosten bei der Erneuerung der Betriebssoftware.

Diese Aufwendungen können die Systemkosten übersteigen. Dabei entfällt ein grosser Anteil auf die Einführung des Systems in den Fabrikationsprozess. Für einen komplexen Funktionstester muss bei der erstmaligen Einführung mit einer Dauer von etwa zwei Jahren gerechnet werden, bis man das System einigermaßen «im Griff» hat. Bewährt hat sich das Vorgehen, dass für diese Zeit ein Ingenieur vollamtlich als Systembetreuer eingesetzt wird.

Ein wichtiger Punkt, an den beim Kauf eines Prüfsystems gedacht werden muss, ist der, dass auch die Entwicklung in den Entscheidungsprozess miteinbezogen wird. Die Entwicklungsabteilung trägt später die Verantwortung für die Entwicklung prüfbarer Baugruppen. Die Prüfbarkeit einer Baugruppe muss unbedingt in der Entwicklungsphase eines Produktes mitberücksichtigt werden, wenn man erreichen will, dass die Prüfung rationell und wirtschaftlich durchgeführt werden kann. In der Schaltung sind Prüfzugriffe vorzusehen, die dem Programmierer erlauben, ein strukturiertes Programm aufzubauen, das dem Prüftechniker die Fehlerlokalisierung erleichtert.

#### Der Verbindungstester

Bei der Durchgangsprüfung von Baugruppen werden Kurzschluss, Unterbrüche und falsche Widerstandswerte festgestellt. Mit einem Verbindungstester kann ein grosser Anteil der Fertigungsfehler gefunden werden. Die meisten Verbindungstester programmieren «sich selbst», das heisst, das Prüfprogramm wird innerhalb kurzer Zeit mit Hilfe eines «Gut-Musters» vom Prüfsystem selbst erstellt. Das Vorgehen hat den Vorteil, dass Widerstände auf der Baugruppe mitprogrammiert werden und somit ein Bestandteil des Vergleichsprogrammes sind.

Das Miteinbeziehen der Bauelemente in diese Prüfung führte zur Entwicklung der In-circuit-Tester.

#### Der «In-circuit-Tester»

Mit dem In-circuit-Tester können analoge und mit den neueren Modellen auch digitale Bausteine in LSI-Technologie (Large Scale Integration), wie Mikroprozessoren und Speicher, «in circuit», also in der Schaltung geprüft werden. Bei dieser Art von Prüfung wird nicht die Funktion der Baugruppe als solche, sondern das korrekte Bestücken und das richtige Funktionieren der Bauelemente überprüft.

Das Erstellen der Prüfprogramme erfolgt mit Hilfe des Systems und mit einem «Gut-Muster» oder frei durch den Programmierer, wobei diesem vielfach eine gut ausgebaute Bauelemente-Bibliothek zur Verfügung steht. Fehler werden schnell und eindeutig erkannt, mit gewissen Einschränkungen; z.B. muss bei der Kurzschlussprüfung untersucht werden, ob es sich um einen Fertigungs- oder Bauelementefehler handelt. Der relativ teure Funktionstester wird durch das Vorschalten eines In-circuit-Testers bei der Diagnose von Fertigungsfehlern stark entlastet (Fig. 3). Ein wichtiger Faktor, der nicht umgangen werden kann, sind die – wie beim Durchgangstester – relativ hohen Adapterkosten. Die Vorbereitung eines Nadelbett-Adapters muss gut überlegt werden. Sie bildet die Basis für einen späteren erfolgreichen Einsatz des gesamten Systems.

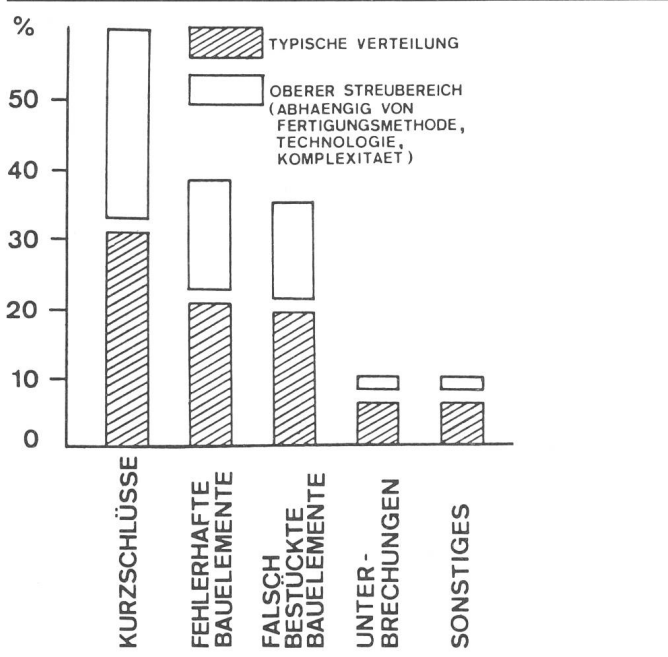


Fig. 3 Typische prozentuale Verteilung von Fehlerarten an defekten Baugruppen

#### Der Funktionstester

Im Anschluss an eine visuelle Prüfung oder einen In-circuit-Test folgt eine Funktionsprüfung. Bei komplexen Baugruppen kann praktisch darauf nicht verzichtet werden.

Für die Funktionsprüfung werden Funktionstester angeboten, die die Prüfung von analogen, digitalen und analog/digital gemischten (hybriden) Baugruppen erlauben. Weiter werden spezielle Testsysteme eingesetzt, unter anderem für die Speicherprüfung, in der Funktechnik und für HF/NF-Anwendungen.

Der Funktionstester ist im Prinzip ein gesteuerter Bus-Messplatz, bei dem die Rechnermöglichkeiten voll genutzt und die Geräteeigenschaften optimiert werden. Das Kernstück eines Funktionstesters ist der Prozessrechner mit seiner Betriebs- und Testsoftware. Sein Vorteil liegt in der Datenverarbeitungsgeschwindigkeit und der kürzeren Zugriffszeit zu grossen Datenspeichern. Die Programmiersprache für die Betriebssoftware ist systembezogen und von Hersteller zu Hersteller verschieden. Die Stärke der Funktionstester liegt vor allem im digitalen Bereich, bei der statischen und dynamischen Prüfung von mit SSI/MSI- oder LSI-Logik bestückten Baugruppen.

In diesem Bereich bieten die Systeme, mit Hilfe von Simulationsprogrammen, Unterstützung bei der Programmerstellung. Sie ersetzen nicht den qualifizierten Programmierer, ermöglichen diesem jedoch eine schnelle und präzise Aussage über die Güte des erstellten Programmes. Für die Fehlerlokalisierung sind verschiedene Verfahren entwickelt worden, z.B. Transition-Count, Signatur-Analyse, IC-Clip, Guided-Probe, die dem Prüftechniker helfen, Fehler innerhalb der Schaltung interaktiv mit dem System zu lokalisieren. Für Analog- und Hybrid-Baugruppen kann das Prüfprogramm so aufgebaut werden, dass zusätzlich zur Prüfung ein interaktiver Abgleich von Arbeitspunkten geschaffen wird. Obwohl die Adaption nur über die Baugruppen-Stecker oft genügt, kann ein Nadelbett-Adapter, vor allem bei Analog- und Hybrid-Baugruppen,

beim Aufbau der Prüfprogramme und bei der Fehlersuche Vorteile bieten, die die Investitionen rechtfertigen.

Für schnelle dynamische Prüfungen sind im Adapter zum Teil aufwendige Vorkehrungen zu treffen.

#### 4. Die Prüfvorbereitung

Die Prüfvorbereitung nimmt bei der Prüfung von Baugruppen nicht nur kostenmässig, sondern auch technisch eine zentrale Stelle ein. Das explosive Wachstum der Baugruppen-Komplexität macht die Arbeit der Prüfvorbereitung recht schwer und verlangt gut ausgebildetes und qualifiziertes Personal.

Während der Prüfvorbereitung müssen auf der einen Seite die Anforderungen an die Baugruppen bezüglich Konformität und Zuverlässigkeit, die einen immer höheren Prüfaufwand erfordern, und auf der anderen Seite die Prüfkosten berücksichtigt werden. Die Prüfvorbereitung hat die Aufgabe, Prüf-anweisungen für das Prüfen von Baugruppen zu erstellen. Die Prüfspezifikationen und die Fabrikationsunterlagen, z.B. Schema, Blockschaltbild, Stücklisten, Schaltungsbeschreibung, bilden die Grundlage, auf der der Prüfvorbereiter seine Prüf-anweisung aufbaut. Bereits in diesen Unterlagen muss der Entwickler die prüftechnischen Probleme, die «Prüfbarkeit» der Schaltung, berücksichtigt haben. Das erfordert, dass im Zeitpunkt des Schaltungsentwurfes mit dem Entwickler das Prüfkonzept und die Prüfverfahren diskutiert und ein Prüfplan für die Baugruppe erstellt wird.

##### 4.1 Prüfanweisung für die individuelle Prüfung

Die Prüfanweisung enthält für den Prüftechniker die folgenden Angaben:

- Benötigte Prüfgeräte und deren Zusammenschaltung,
- Angaben, wie die einzelnen Prüfungen und Abgleiche durchgeführt werden müssen,
- Angaben über die Prüfdatenerfassung.

Im weiteren gehören Angaben über das Vorgehen bei der Fehlerdiagnose und Fehlerbehebung dazu (Fehlerbibliothek). Diese Fehlerbibliothek kann durch den Prüftechniker erstellt werden, indem er auftretende Fehler und die daraus nötig gewordenen Reparaturmassnahmen handschriftlich erfasst.

##### 4.2 Prüfanweisung für die automatische Prüfung

Die Prüfanweisung für die automatische Prüfung besteht im wesentlichen aus einem Prüfprogramm, das den Prüfvorgang im Prüfsystem steuert, sowie aus dem Fehlersuchprogramm zur Lokalisierung von Fehlern, sofern dieses Programm nicht in der Betriebssoftware enthalten ist. Bei der Erstellung dieser Prüfprogramme wird der Programmierer in den meisten Fällen durch das System unterstützt. Verschiedene Hersteller bieten zu diesem Zweck Programmierstationen an, die unabhängig vom Testsystem arbeiten.

#### 5. Was wird die Zukunft bringen?

##### 5.1 Technologie

Die LSI-Technologie wird durch die VLSI-Technologie (Very Large Scale Integration) im Laufe der Zeit abgelöst. Der Schwerpunkt dieser Entwicklung liegt bei der Digitalisierung der Systemfunktionen von Speichern, Mikroprozessoren und Logikbausteinen. Diese Technik wird die Integration von digitalen und analogen Funktionen auf einem Chip ermög-

lichen. Die Integrationsdichte wird weiter stark zunehmen und somit die Komplexität der IC weiter erhöhen. Man rechnet mit über  $10^6$  Bauelementen für einen Speicherbaustein.

Diese Entwicklung wird sich auch auf die Baugruppen übertragen, die wohl nicht grösser in den Abmessungen werden, deren logischer Inhalt jedoch grösser sein wird (man rechnet mit einem Faktor 100). Der Einsatz von Mehrschicht-Leiterplatten und neuen Bestückungstechniken wird sich weiter verstärken.

### 5.2 Prüfaufwand

Infolge dieser neuen Technologien und Techniken wird die Fehlerlokalisierung und -behebung immer schwieriger und aufwendiger. Geeignete Massnahmen zur Fehlerverhütung in allen Entstehungsphasen eines Produktes werden unerlässlich. Die komplexen Prüfprobleme verlangen eine zielgerichtete, kontinuierliche Ausbildung der Leute in der Prüfvorbereitung. Der Prüfaufwand wird weiter ansteigen und einen immer höheren Anteil an den Herstellungskosten ausmachen.

Beim Einsatz von kundenspezifischen Bauelementen ist der Aufwand zur Generierung eines entsprechenden Bauelementemodells (in der Bibliothek) nicht zu vernachlässigen.

Um die steigenden Qualitätskosten komplexer elektronischer Systeme in vernünftigen Grenzen halten zu können, ist eine Qualitätsplanung, die von der Projektierung über die Entwicklung, die Fabrikation bis zum Kunden hin reicht, ausserordentlich wichtig. Für die Baugruppenprüfung sind die folgenden Faktoren immer wieder zu analysieren:

- Erwartetes Produktvolumen
- Fehlerverteilung
- Anteil der fehlerhaften Baugruppen an der Gesamtheit aller zu prüfenden Baugruppen
- Geschätzte Prüf-, Fehlersuch- und Behebungszeit
- Prüfvorbereitungszeit
- Prüflingstypische Kosten
- Personalkosten

Diese Faktoren ermöglichen die Wahl eines wirtschaftlichen Prüfkonzeptes.

#### Adresse des Autors

*Mathias Luchsinger*, Leiter Q-Technik Elektrik, Standard Telephon und Radio AG, Werk Au, Seestrasse, 8804 Au/Wädenswil.