

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: 67 (1976)

Heft: 10

Artikel: Prüfmethodik im modernen, digitalen Elektronikbau

Autor: Kühne, R.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915163>

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: 16.01.2026

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

Die Entwicklung eines komplexen digitalen Systems erfordert zur rationellen Durchführung Arbeitsteilung und den Einsatz modernster Hilfsmittel. Besonders wichtig ist die möglichst eingehende Prüfung der Pläne und der Erzeugnisse auf allen Stufen. Die elektronische Datenverarbeitung spielt dabei eine hervorragende Rolle zur Aufstellung von Fabrikations- und Prüfunterlagen. Insbesondere die Prüfung von elektronischen Einschüben und Gestellen hat in den letzten Jahren grosse Fortschritte gemacht, über die in kurzer Übersicht berichtet wird.

Pour son exécution rationnelle, la conception d'un système digital complexe nécessite une répartition de travail judicieuse et l'emploi des moyens les plus modernes. Il importe surtout que les plans et les produits soient soumis à des contrôles aussi détaillés que possible, cela à tous les stades. Le traitement électronique des données joue un très grand rôle pour l'établissement de documents de fabrication et de contrôle. Ces dernières années, le contrôle des unités enfichables et des bâtis a notamment fait de grands progrès, qui sont brièvement décrits.

1. Entwicklungsablauf für ein elektronisches System

Die Entwicklung eines komplexen digitalen Systems ist eine umfangreiche Aufgabe, die nur durch Arbeitsteilung und Einsatz modernster Hilfsmittel rationell gelöst werden kann. Die Lösung der Aufgabe beginnt im allgemeinen damit, dass der Systemingenieur das Systemkonzept ausarbeitet. Dieses wird dann in Teilsysteme zerlegt, die einzeln und parallel weiterbearbeitet werden können. Jedes Teilsystem ist definiert durch seine Funktion, die in Pflichtenheft und Flussdiagramm dargestellt wird, und durch die Schnittstellen gegenüber anderen Teilsystemen.

Der Entwicklungsablauf ist in Fig. 1 skizziert, worin in den Kästchen die Arbeiten der einzelnen Abteilungen und dazwischen die von Abteilung zu Abteilung weitergegebenen Schriftstücke, Lochstreifen, Geräte usw. angegeben sind [1]¹⁾. Gezeigt ist der Idealverlauf. Rückführungen infolge Fehlern und Änderungen sind nicht dargestellt.

Es beginnt mit der Arbeit des Laboringenieurs, der die Schaltung des Teilsystems entwirft. Moderne digitale elektronische Geräte sind aus Einschüben, meist Printplatten, aufgebaut, die in Steckvorrichtungen in einem Gestell eingesetzt werden. Die mechanische Konstruktion der Einschübe und Gestelle ist meist durch Normen, Bauweise genannt, vorgegeben.

Der Laboringenieur verteilt die Schaltungselemente auf Einschübe und legt die Schaltungen und Anschlüsse der einzelnen Einschübe sowie die Verbindungen der Einschübe untereinander schaltungsmässig fest, wobei die räumliche Anordnung frei bleibt. Nach Möglichkeit verwendet er dabei schon vorhandene Einschübe, um Entwicklungskosten zu sparen. Daher müssen auch die Einschübe klar definierte und begrenzte Funktionen aufweisen. Die Einschubverbindungen entstehen dann in Form einer Signalliste mit symbolischen Anschlusspunkten; für diese ist jeweils angegeben, ob es sich um einen Ausgang oder einen Eingang (Quelle oder Senke) handelt und wie die Belastbarkeit bzw. die durch den Anschluss verursachte Last ist.

Der Laboringenieur liefert die Schaltungen (b) aller Einschübe mit symbolischen Ein- und Ausgangsbezeichnungen, ferner eine Liste der verwendeten, symbolisch bezeichneten Einschübe sowie eine Signalliste (c).

Aufgrund der erhaltenen Unterlagen legt der Konstrukteur die Lage der Schaltelemente auf der Printplatte fest (g) und zeichnet schematisch die Anordnung der Verbindungen (f). Damit ist die räumliche Anordnung der Anschlüsse des Einschubs festgelegt, und jedem Anschluss ist eine Steckkontakt Nummer zugeordnet.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Die Positionierung der Einzelteile und der Verbindungsleitungen ist eine Arbeit, die die Datenverarbeitungsanlage übernehmen könnte, jedoch ist die diesbezügliche Programmierung noch recht schwierig.

Sehr nützlich ist dagegen eine Anlage zur geometrischen Datenverarbeitung für die Herstellung der Schablone für die Fabrikation der Druckschaltungsplatte nach der schematischen Zeichnung. Hierzu wird ein grosses Tastenbrett benutzt, auf das die schematische Zeichnung gelegt wird. Durch Betätigung der Tasten an den Koordinatenpunkten der Verbindungen entstehen Eingabesignale für das System zur geometrischen Datenverarbeitung, welches die vollständige Schablone zur Herstellung der Printplatten zeichnet (i).

Für die Fabrikation der Einschübe stehen damit die von der Datenverarbeitungsanlage ausgedruckte Liste der Bauelemente, die auch für Beschaffung und Lagerverwaltung dient, die Angaben über die räumliche Anordnung der Bauelemente auf der Platte, das geometrische Muster der Leiterbahnen und eine Liste der Anschlusspunkte je Platte fest.

2. Gestellkonstruktion

Nach Wahl der Gestellgrösse ist die räumliche Anordnung der Einschübe im Gestell festzulegen, und zwar so, dass die Länge der Verbindungsleitungen und insbesondere empfindlicher Leitungen möglichst klein wird. Auch diese Aufgabe kann durch ein Datenverarbeitungsprogramm erledigt werden. Mit Hilfe der Signalliste (c), der von der Datenverarbeitungsanlage durch Umrechnung von symbolischen Anschlussnummern in Kontakt Nummern aus der Signalliste erhaltenen Drahtliste (h), einer Ausrüstungsliste (m), die die effektive Anordnung der Einschübe angibt, sowie allgemeiner, das Bausystem beschreibender Daten, gibt die Datenverarbeitungsanlage eine vollständige Drahtliste (n) aus, die alle in das Gestell einzubauenden Drähte mit ihren effektiven Anschlusspunkten angibt. Sie berechnet ferner bei Wickelverdrahtungen sämtliche Drahtlängen und bei Lötverdrahtungen die Angaben für den Kabelbaum einschliesslich der Drahtfarben. Damit kann die Gestellverdrahtung hergestellt und die Ausrüstung der Gestelle vorgenommen werden.

3. Prüfsystem

Der Herstellungsvorgang elektronischer Geräte schliesst notwendigerweise Prüfungen in jeder Entwicklungs- und Herstellungsstufe ein. Eine Faustformel besagt, dass die Kosten für die Entdeckung eines Fehlers von Stufe zu Stufe – Bauelement, Einschub- und Gestellverdrahtung, ausgerüstetes Gestell, Gesamtanlage – je um den Faktor 10 anwachsen.

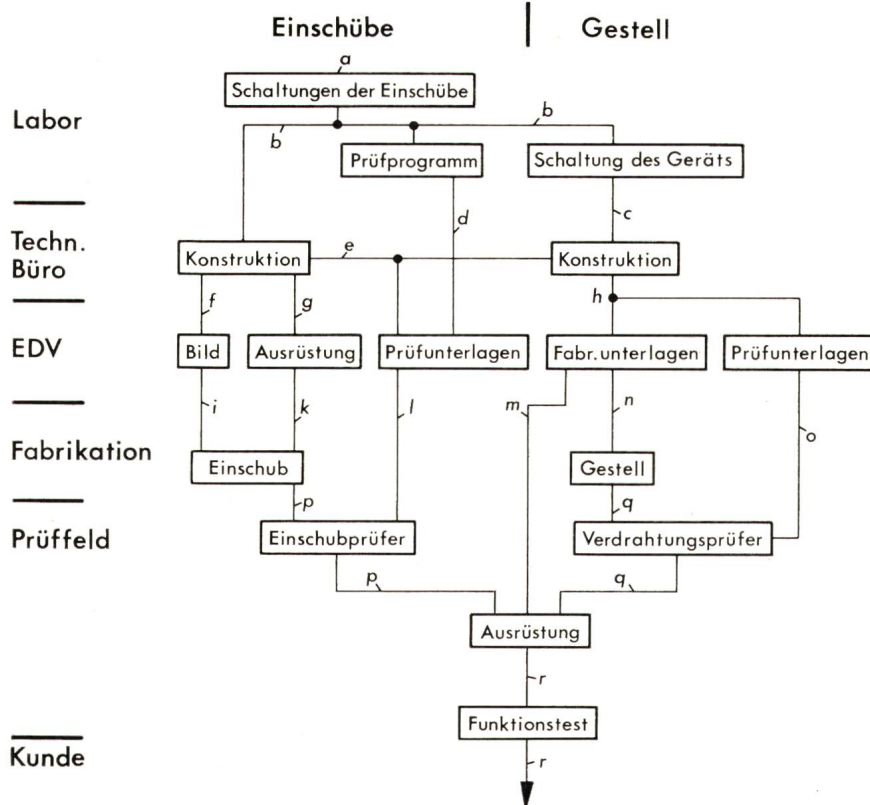


Fig. 1

Schema der Entwicklung eines digitalen elektronischen Gerätes

(Daten über die verwendete Bauweise werden auf allen Stufen verwendet)

- a Unterlagen des Systemingenieurs
- b Einschubschemata mit symbolischen Ein- und Ausgangsbezeichnungen
- c Liste der symbolisch bezeichneten Einschübe, Signalliste
- d Prüfanweisung und Prüfprogramme mit symbolischen Ein- und Ausgangsbezeichnungen
- e Liste der effektiven Anschlüsse der Einschübe; Zuordnung der symbolischen und effektiven Anschlussbezeichnungen
- f Zeichnung der Druckschaltung
- g Liste der Bauelemente und deren Position auf den Platten
- h Drahtliste mit effektiven Anschlusspunkten
- i Lochstreifen zur Herstellung der Druckschaltungsmuster
- k Einzelteilliste, Bestückungsanweisung
- l Prüfvorschrift, Prüflochstreifen
- m Ausrüstungsliste für Gestell
- n Gestellaufbau, Drahtliste für Verdrahtung evtl. Lochstreifen für halbautomatische oder automatische Verdrahtung
- o Steckliste für Kabelverbindungen, Prüflochstreifen
- p Einschübe
- q verdrahtetes Gestell
- r fertiges Gestell

Die Prüfung der ersten Stufe und der letzten Stufe soll hier nicht betrachtet werden, da Anordnungen zur Bauelementeprüfung seit langem bekannt und Einrichtungen zu Anlageprüfung stets speziell auf die Funktion der Anlage zugeschnitten sind. Beschrieben werden die Verdrahtungsprüfung und die Einschubprüfung.

Für die Verdrahtungsprüfung ist die Art der einzelnen Prüfschritte sehr einfach. Die Frage lautet jeweils: Verbindung oder nicht, Zahl der Verbindungspunkte richtig? Dabei kann die Zahl der Prüfpunkte sehr gross sein und bis zu einigen zehntausend betragen.

Bei der Einschubprüfung ist die Zahl der Anschlüsse viel kleiner (höchstens etwa 300), doch die Art der Prüfung kann sehr kompliziert sein.

4. Verdrahtungsprüfung

Es ist kaum möglich, fehlerfreie Gestellverdrahtungen mit einigen tausend Anschlusspunkten rationell herzustellen. Bei Handverdrahtungen rechnet man mit einer Fehlerzahl von etwa 1 %. Beim Ausläten der Verdrahtung von Hand nach einer Drahtliste bleiben etwa 3 % der Fehler unentdeckt, so dass bei 3000 Anschlüssen mit einem unentdeckten Fehler zu rechnen ist. Ausserdem ist das Ausläten eine langwierige Arbeit, die hohe Aufmerksamkeit erfordert. Sie ist dem Menschen nur schlecht angepasst, eignet sich aber gut für die Automatisierung.

Zur automatischen Verdrahtungsprüfung gehören das fertig verdrahtete Gestell (q), ein Verdrahtungsprüfgerät (Fig. 2) sowie ein Prüflochstreifen (o), der die Angaben sämtlicher Steckerpunkte mit Verbindungen enthält.

Vorteile der automatischen Verdrahtungsprüfung sind Schnelligkeit, Zuverlässigkeit, Ermittlung von überzähligen Verbindungen, Erstellung eines Prüfprotokolls. Nachteilig ist der ziemlich hohe Aufwand, der vor allem dadurch bedingt

ist, dass alle Anschlusspunkte der Gestellverdrahtung gleichzeitig mit dem Prüfgerät verbunden sein müssen. Der Anschluss erfolgt meist über Stecker, die den Steckern der Einschübe nachgebildet sind; es gibt aber auch Einrichtungen, die den Anschluss von der Verdrahtungsseite her vornehmen.

Das Prüfverfahren ist sehr einfach: Zuerst werden nacheinander alle nichtbenutzten Steckerpunkte an ein bestimmtes Potential gelegt und alle anderen Anschlusspunkte darauf geprüft, ob sie das genannte Potential annehmen. Ist dies bei einem Punkt der Fall, so existiert eine überzählige Verbindung. Danach wird das Potential an den ersten Punkt eines Drahtes angelegt, wieder alle Steckerpunkte auf Verbindung mit dem Punkt abgefragt und dabei gezählt, mit wieviel weiteren Anschlusspunkten er verbunden ist. Diese Zahl wird mit der Sollzahl verglichen. Hierauf wird festgestellt, ob der Punkt mit dem zweiten Verbindungspunkt des Drahtzuges, der zweite Verbindungspunkt mit dem dritten, der dritte mit dem vierten usw. verbunden ist. Stimmt die Zahl der Anschlüsse nicht oder wird ein Unterbruch festgestellt, wo eine Verbindung sein sollte, so erfolgt ein Fehlerrückmeldung. Auf diese Weise kann eine Adresse nach der anderen vom Band gelesen werden. Der Vorteil des Verfahrens liegt darin, dass nicht mehr als zwei Adressen gleichzeitig gespeichert werden müssen, was eine enorme Einsparung an Speicherplätzen gestattet gegenüber Systemen, bei denen die ganze Verdrahtungsliste in einem Magnetspeicher gespeichert ist.

Die vollständige Prüfung dauert bei einer Anschaltzeit von 10 ms, einer Prüfzeit pro Anschlusspunkt von 1 µs und einer Verdrahtung mit zehntausend Punkten etwa 3 min. Die gefundenen Fehler werden mit Hilfe eines Fernschreibers ausgedruckt und aufgrund dieser Aufzeichnung sofort repariert.

Die Steuerung erfolgt durch eine Prüfliste, die in Form eines Lochstreifens oder einer Magnetbandkassette vorliegt.

Diese Liste wird durch das technische Büro zugleich mit der Drahtliste hergestellt. Es gibt auch Geräte, welche mit «Autoprogrammierung» arbeiten: Es wird eine fehlerfreie Verdrahtung angeschlossen und automatisch Punkt für Punkt abgefragt, wobei eine Drahtliste und ein Prüfband hergestellt werden, die alle Verbindungen enthalten. Dieses Verfahren der Programmherstellung fügt sich nicht in das beschriebene Fabrikationsverfahren ein, da es keine Hilfe für die Herstellung der «fehlerfreien Verdrahtung» bietet. Auch ist kaum mit Sicherheit festzustellen, ob diese mit der von Hand angefertigten Drahtliste, nach welcher sie geschaltet ist, übereinstimmt.

5. Einschubprüfung

In der letzten Zeit sind viele Veröffentlichungen über Einschubprüfer erschienen. Die einfachste Prüfmöglichkeit ist eine Funktionskontrolle unter Normalbedingungen. Hierzu wird an die Eingänge der Schaltung eine Folge von digitalen Mustern (Bitkombinationen, auch Eingangsvektoren genannt) gelegt und die Ausgangsmuster mit den von einer Normalschaltung (known good board), die das gleiche Eingangsmuster erhält, oder einer gespeicherten Folge verglichen. Erweiterte Prüfmöglichkeiten bieten die von Hand oder durch Programme eingestellten Veränderungen von Parametern wie z. B. der Speisespannung, die Kontrolle von Schaltzeiten und schliesslich die Messung von Analoggrössen.

Der Prüfungsverlauf wird im allgemeinen durch den Laboringenieur sofort nach der Schaltungsentwicklung festgelegt (d). Dies ist sehr wichtig, weil der Laboringenieur die beste Kenntnis der Schaltung hat und weil nur er die Schaltung so gestalten kann, dass sie leicht prüfbar ist [2]. Zur Erstellung des Prüfprogramms wird im allgemeinen die erwartete Funktion der Schaltung zugrunde gelegt.

Zunächst enthält die Prüfanweisung nur die symbolischen Anschlusspunkte. Die Datenverarbeitungsanlage erstellt daraus unter Benutzung der vom technischen Büro erstellten

Zuordnungsliste (e) von symbolischen und effektiven Anschlusspunkten das Prüfband (l), das den Einschubprüfer steuert.

Ausser durch ein Loch- oder Magnetband kann die Eingabe der Prüfprogramme bei einfachen Geräten durch Steckbretter oder Schalter, bei weiter entwickelten Geräten aus einem Datenspeicher oder schliesslich für mehrere Prüfanlagen zugleich im Multiplexverfahren durch einen Computer erfolgen.

Geprüfte Einschübe und geprüfte Verdrahtung werden vereinigt und sind nach einem Funktionstest zur Ablieferung an den Kunden bereit (r).

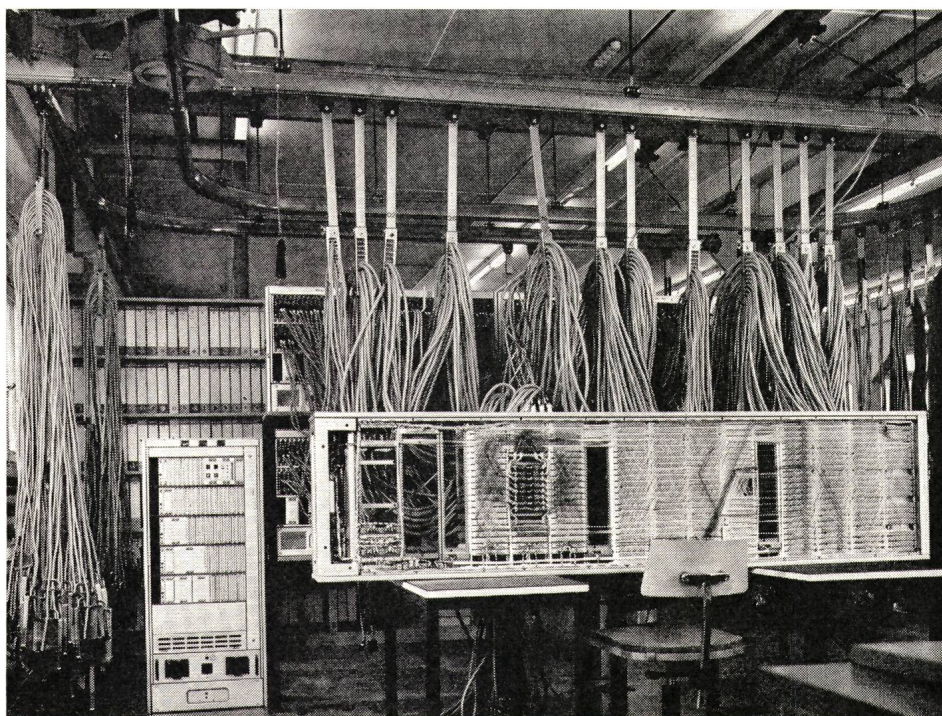
6. Erweiterte Prüfmöglichkeiten

Die Ausweitung der Prüfmöglichkeiten über das genannte System hinaus ist dann gegeben, wenn nicht nur die Anschlüsse der Einschübe in die Datenverarbeitungsanlage eingegeben werden, sondern auch die Verbindungen innerhalb der Einschübe und die logischen Funktionen der Schaltelemente. Dies geschieht beispielsweise in dem LAMP (Logic Analyzer for Maintenance Planning) genannten System der *Bell Laboratories* [3]. Damit lässt sich die vollständige logische Funktion der Schaltung simulieren. Der Gebrauch der Simulation beginnt in der Entwicklungsphase mit der Ermittlung von logischen Fehlern und mit der Prüfung der logischen Zeitfunktionen. So kann die logische Funktion der Schaltung ausgeprüft werden, ehe auch nur eine Verbindung gelötet wird. Änderungen lassen sich leicht einfügen. Dies bringt wesentliche Vorteile, da auch kleine Änderungen bei der Verwendung hochintegrierter Schaltungen manchmal sehr umfangreiche Umarbeitungen erfordern. Ausserdem kann die Möglichkeit des Auftretens von Störimpulsen beim gleichzeitigen Schalten zweier Toreingänge und von Schwingungen in Rückkopplungskreisen ermittelt werden, Fehler die bei der Hardwareprüfung von Schaltungen häufig nicht ermittelt werden, da sie von den Schaltgeschwindigkeiten der betreffenden Elemente abhängen.

Fig. 2

Verdrahtungsprüfgerät VERAM

Im Vordergrund der Prüfling mit Wickelverdrahtung: die Anschlusspunkte auf der Rückseite sind mittels Steckern und Kabeln mit der Schaltvorrichtung im Hintergrund verbunden. Links das Steuergerät



Mit Hilfe der Computer-Simulation kann zudem die Wirkung von Fehlern nachgebildet werden. Auf diese Weise lassen sich Fehlerortungs- und Diagnoseprogramme aufbauen, welche es auch ungelerten Kräften gestatten, Fehler zu lokalisieren und Reparaturanweisungen zu geben. Voraussetzung dafür ist eine ausreichende Zugänglichkeit zu wichtigen Punkten der Schaltung. Es gibt Programme, die auf einem Sichtgerät den Prüfer anweisen, an welchen Stellen der Schaltung er den logischen Zustand mit einer Prüfspitze abfragen soll. Je nach dem Ergebnis geben sie die nächste Anweisung, bis das fehlerhafte Element gefunden ist. Solche Diagnoseprogramme werden jedoch selbst bei automatischer Herstellung erst bei grösseren Stückzahlen eines Einschubes rentabel.

7. Software

Je weiter die Entwicklung der Prüfgeräte und Prüfungssysteme fortschreitet, desto umfangreicher wird der Anteil der Aufwendungen für die Entwicklung spezieller Programme [4]. LAMP [3] enthält z. B. folgende Programmsysteme:

- Compiler Programme zur Umsetzung der eingegebenen Stromkreisdaten in Maschinensprache;
- Interpretationsprogramme für die Befehlssprache;
- Systeme zur automatischen Herstellung von Prüfprogrammen, zur Feststellung der Prüfbarkeit und zur Beobachtung und Wartung von Geräten; eine Familie von Simulatorprogrammen;
- Ausgabesystem.

Andere Hersteller von Prüfgeräten bieten ebenfalls umfangreiche Programmpakete zur Benutzung ihrer Geräte an. Schwierigkeiten treten vor allem dann auf, wenn umfangreiche Prüfprogramme von verschiedenartigen Prüfgeräten benutzt werden sollen. Für diesen Zweck sind besondere Prüfungssprachen entworfen worden, die allgemein gültig sein sollen (z. B. ATLAS, von der es wiederum mehrere vereinfachte Dialekte gibt) [4].

8. Integration von Fabrikations- und Prüfunterlagen

Die Veröffentlichungen über Prüfgeräte lassen sich in zwei Gruppen einteilen. Die Beiträge der ersten Gruppe stammen von Herstellern digitaler elektronischer Geräte und beschreiben integrierte Fabrikations- und Prüfungssysteme analog den vorstehend beschriebenen. Die Integration der Fabrikationsunterlagen und der Prüfunterlagen ist dabei nicht so

sehr deswegen wichtig, weil die Eingabe der Daten in zwei verschiedene Systeme erspart wird, sondern weil nur bei einer einzigen Eingabe sichergestellt ist, dass die Grunddaten für Fabrikation und Prüfung übereinstimmen. Die Gefahr, dass dies nicht mehr der Fall ist, besteht bei jeder Änderung.

Wenn zwei verschiedene Systeme nebeneinander bestehen, ist nie die volle Sicherheit gegeben, dass eine Änderung in beiden Systemen in gleicher Art nachgetragen wurde. Eine Hilfslösung könnte darin bestehen, dass durch ein Umrechnungsprogramm eine Umrechnung vom einen System in das andere erfolgt, doch müssen zu diesem Zweck die beiden Systeme kompatibel sein, was durchaus nicht selbstverständlich ist.

Die zweite Gruppe von Veröffentlichungen umfasst Artikel und Gerätebeschreibungen von Prüfgeräteherstellern, die teilweise raffinierte Prüfmöglichkeiten und Programmiermöglichkeiten anbieten. Bei keiner einzigen Veröffentlichung wurde jedoch auch nur eine Andeutung darüber gefunden, dass die Programme zur Herstellung von Fabrikationsunterlagen ausbaufähig oder mit einem System zur Herstellung von Fabrikationsunterlagen kompatibel seien. Dies ist vielleicht der Grund dafür, dass die Elektronikhersteller heute noch häufig ihre einfacheren, selbst hergestellten Prüfgeräte vorziehen.

Literatur

- [1] P. Keller: Das Signalkarten-Verdrahtungssystem SIVES. Hasler Mitt. 35(1976)1, S. 2...8.
- [2] G. Gruber: Die «Testbarkeit» digitaler Leiterplatten. Von Minicomputern gesteuerte Testsysteme mit On-line-Simulation modifizieren Entwurf und Layout von Logikschaltungen. Elektronikpraxis 9(1974)10, S. 16...23.
- [3a] H. Y. Chang, G. W. Smith and R. B. Walford: LAMP: Logic analyzer for maintenance planning. System description. Bell Syst. Techn. J. 53(1974)8, p. 1431...1449.
- [3b] S. G. Chappell, C. H. Elmendorf and L. D. Schmidt: LAMP: Logic analyzer for maintenance planning. Logic-circuits simulators. Bell Syst. Techn. J. 53(1974)8, p. 1451...1476.
- [3c] S. G. Chappell: LAMP: Logic analyzer for maintenance planning. Automatic test generation for asynchronous digital circuits. Bell Syst. Techn. J. 53(1974)8, p. 1477...1503.
- [3d] H. Y. Chang and G. W. Heimbigner: LAMP: Logic analyzer for maintenance planning. Controllability, observability, and maintenance engineering technique (COMET). Bell Syst. Techn. J. 53(1974)8, p. 1505...1534.
- [3e] T. T. Butler a. o.: LAMP: Logic analyzer for maintenance planning. Application to switching-system development. Bell. Syst. Techn. J. 53(1974)8, p. 1535...1555.
- [4] D. Martens: Software für automatische Prüfungssysteme. Elektronik 23(1974)4, S. 109...115.

Adresse des Autors

Rudolf Kühne, Abt. 39, Hasler AG, 3000 Bern 14.