

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: 74 (1983)

Heft: 15

Artikel: CAD für Leiterplattenherstellung

Autor: Frick, M. / Gugelberg, C. von / Uttinger, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-904842>

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: 21.01.2026

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

CAD für Leiterplattenherstellung

M. Frick, C. von Gugelberg, W. Uttinger

Der rechnergestützte Entwurf von Leiterplatten gewinnt zunehmend an Bedeutung.

Diese Arbeit vermittelt eine Übersicht über die Möglichkeiten des Rechnereinsatzes in den verschiedenen Phasen des Entwurfes und analysiert das wesentliche Problem der Auswahl von CAD-Systemen für den Leiterplattenentwurf.

La conception de plaques à circuits imprimés usinées, assistée par ordinateur, est de plus en plus fréquente. Aperçu des possibilités d'emploi de l'ordinateur lors des diverses phases de la conception, et analyse des principaux problèmes du choix de l'un des systèmes de CAO pour ces plaques.

1. Einführung

Auf dem Weg zu rationelleren Konstruktions- und Produktionsverfahren werden immer häufiger Rechner eingesetzt. Man spricht dann von *Computer Aided Design (CAD)* bzw. *Computer Aided Manufacturing (CAM)*. Im folgenden Artikel wird der Rechnereinsatz zur Entwicklung und Produktion von Leiterplatten näher beleuchtet. Der Artikel basiert auf einer Diplomarbeit an der Professur für elektrotechnische Entwicklungen und Konstruktionen der ETHZ (Wintersemester 1982). Die Schwerpunkte liegen bei den Fragen: Wo und wie kann ein Computer bei der Leiterplattenherstellung eingesetzt werden? Welche automatischen Hilfen existieren? Welchen Anforderungen muss ein CAD-System zur Leiterplattenherstellung genügen? Wohin zielen wahrscheinliche Weiterentwicklungen?

Es ist schwierig, den Nutzen eines CAD-Systems für den Anwender in absoluten Geldbeträgen auszudrücken, müssen doch für ein passendes, sauber durchdachtes System unter anderem folgende Punkte erwogen werden:

- Qualitätssicherung und Qualitätsverbesserung

Nicht nur in integrierten Schaltungen, auch auf Leiterplatten wächst die Packungsdichte ständig. Dadurch arbeitet man mit immer geringeren Leiterbahnbreiten, komplexeren Leiterverläufen, mit mehrschichtigen Leiterplatten (Multilayer). In der Folge steigen die Ansprüche an die Qualität der Arbeit, speziell der Unterlagen für die eigentliche Plattenherstellung, so stark an, dass sie durch herkömmliche manuelle Techniken gar nicht mehr erfüllt werden können.

- Beschleunigte Durchlaufszeiten

Wenn die Durchlaufszeit verkürzt werden kann, bedeutet dies, dass ein Produkt rascher aus dem Entwicklungslabor auf den Markt gelangt.

- Vereinfachtes Änderungswesen

Änderungen an bestehenden Platten erfordern von allen Beteiligten langweilige und doch exakt und zuverlässig auszuführende Arbeiten: Listen nachtragen, Zeichnungen abändern, die Daten der Herstellungsunterlagen nachführen usw. Derartige Tätigkeiten lassen sich vorteilhaft durch einen Rechner ausführen.

- Rationalisierte Fertigung

Auch in der Fertigung geht die Tendenz in Richtung zunehmender Automatisierung. Aus den im CAD-System gespeicherten Daten über eine Leiterplatte lassen sich, quasi als Nebenprodukt, alle Unterlagen für programmgesteuerte Fertigungsprozesse erstellen.

2. Rechnergestützte Leiterplattenherstellung

Wird ein Rechner eingesetzt, um Leiterplatten herzustellen, so lässt sich der Weg vom Stromlaufplan einer Schaltung zur vollständig dokumentierten Leiterplatte in vier Teilbereiche aufgliedern:

Datenerfassung

Schaltungszusammenhang und Besonderheiten werden an den Computer übergeben. Der Stromlaufplan muss dem Computer bekanntgegeben werden, z.B. als Verbindungsliste. Spezielle Anforderungen an Speiseleitungen, HF-Leitungen usw. müssen eingegeben werden. Alle Dinge, die ein erfahrener Spezialist einfach weiß oder sieht, müssen explizite der Maschine befohlen werden.

Layout

- Schaltungspartitionierung: man fasst funktionell zusammengehörende Schaltungsteile auch örtlich zusammen und verteilt sie als Gruppen auf der Platte.

- Bauelementplazierung: die einzelnen Bauteile werden örtlich auf der Platte plaziert.

Adresse der Autoren

M. Frick, C. von Gugelberg und W. Uttinger, Kontaktadresse: Professur für elektrotechnische Entwicklungen und Konstruktionen, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

- Baustein- und Gatterzuordnung: gleichartige Funktionen, die mehrfach im selben Baustein enthalten sind (z.B. 6 Inverter in einem IC-Block), verteilt man geschickt so, dass eine optimale Leitungsführung möglich ist.

- Entflechten: Auf dem zur Verfügung stehenden Platz verbindet man alle Bauelementenanschlüsse so miteinander, wie es der Stromlaufplan verlangt. Dabei müssen oft Nebenbedingungen beachtet werden, wie möglichst kurze Leiter, Minimalabstände, Busstrukturen.

Prüfen

Die vom Computer vorgeschlagene Lösung wird mit dem Stromlaufplan auf Vollständigkeit verglichen. Werden alle Randbedingungen eingehalten? Kommen sich keine Leiter zu nahe? Oft kann der Vorschlag optimiert werden, indem man Ecken vermeidet oder Durchkontaktierungen ausmerzt.

Unterlagenerstellung

Die Leiterplatte muss für die Herstellung und ihren Einsatz umfassend dokumentiert werden. Dazu liefert das CAD-System alle nötigen Zeichnungen, Filme, Steuerungdaten für NC-Maschinen, Listen usw.

3. Automatisches Plazieren und Entflechten

Die rechnergestützte Leiterplattenherstellung hat viele Aspekte und wirft verschiedene Probleme auf. Der grösste Teil davon muss entsprechend den Gegebenheiten der Firma, welche das System einsetzen will, gelöst werden. Einzig die Vorgänge des Plazierens und Entflechens lassen sich unabhängig theoretisch behandeln.

3.1 Plazieren

Die Bauteile einer Platte geschickt zu plazieren bedeutet, sie örtlich auf der Platte so anzuordnen, dass sich alle Verbindungen zwischen ihnen unter Einhaltung aller Nebenbedingungen realisieren lassen. Ein optimaler Plazierungsvorgang sollte sich auf drei verschiedenen Ebenen abspielen:

- Bauteilebene: Bauteile, die viele gemeinsame Signalleitungen haben, müssen so nahe wie möglich beisammen plaziert werden.

- Gatterebene: Meistens sind mehrere gleichartige Gatter in einem IC-Gehäuse untergebracht. Daher sollte es möglich sein, einzelne Gatter aus einem entfernten IC in näherliegende

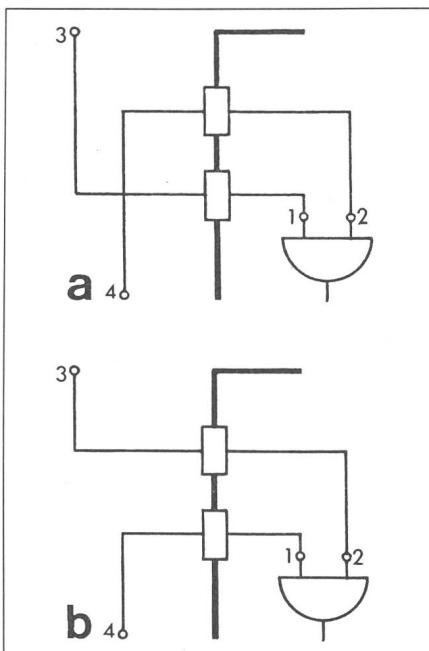


Fig. 1 Austausch gleichwertiger Anschlüsse

- a Entsprechend der Verbindungsliste sind 1 und 3 sowie 4 und 2 zu verbinden. Folge davon ist eine Leiterkreuzung.
- b Durch Austausch gleichwertiger Anschlüsse wird die Leiterkreuzung vermieden.

IC desselben Typs zu transferieren, wenn dort noch freie Plätze existieren. Man nennt dies Gatteraustausch oder Gate Swapping.

- Pinebene: Gleichwertige Anschlusspunkte (Pins) eines Gatters sollen vom automatischen Plazierer erkannt und ausgetauscht werden können: so lassen sich unnötige Kreuzungen vermeiden, wie dies in Figur 1 gezeigt wird. Man bezeichnet dies als Pin austausch oder Pin Swapping.

Beim Plazieren müssen zwei wichtige Optimierungskriterien gleichzeitig berücksichtigt werden:

- Leiterlängen minimieren: Das ist ein Hauptziel aller Plazierungen. Ein zu konsequentes Anwenden dieses Kriteriums kann aber zu lokalen Leiterkonzentrationen führen, die ein erfolgreiches Entflechten verhindern.

- Gleichmässige Leiterdichte: Das Einhalten dieses Kriteriums hat unvermeidlich längere Leiterbahnen zur Folge. Es steht also im Widerspruch zum ersten Kriterium.

Eine sichere Vorhersage der Entflechtbarkeit einer gegebenen Bauteilanzordnung ist nicht möglich. Betrachtet man die Anordnung auf Bildschirm, wobei jede Verbindung als direkte Linie zwischen den Bauteilanschlüssen gezeigt wird (Gummibandtechnik), so erkennt man die kritischen Orte maximaler Leiterdichte. Ebenso erlauben Erfahrungswerte wie Anzahl

IC-Äquivalente pro Flächeneinheit ein grobes Abschätzen, ob noch erfolgreich entflochten werden kann. Ein IC-Äquivalent pro Quadratzoll bedeutet beispielsweise, dass auf einem Quadratzoll im Schnitt ein 14poliger IC-Baustein steht, was heute ein kritischer Wert für erfolgreiches automatisches Entflechten ist. Die beste Vorhersage ist, ein Entflechten probahalber vorzunehmen und zu beobachten, wie erfolgreich der Rechner in einer gewissen Zeit arbeitet. Lässt sich eine Anordnung nicht entflechten, versucht man, mit einer Neuplazierung lokale Leiterkonzentrationen zu umgehen.

Wichtige Eigenschaften, die ein vielseitiger Plazierungsalgorithmus haben muss, sind vor allem:

- Der Benutzer muss Verbindungen kennzeichnen können, die besonders kurz sein müssen, grössere Abstände von andern Leitern haben müssen, da sie HF oder hohe Spannungen führen usw.

- Kreuzungen sollen von Anfang an vermieden werden durch Gatter- und Pin austausch.

- Zusammengehörende Bauteile sollen als solche bezeichnet und als Gruppe plaziert und verschoben werden können.

- Die Wärmeabgabe der einzelnen Bauteile muss schon beim Plazieren berücksichtigt werden. Entweder soll die Wärme gleichmässig über der ganzen Platte erzeugt werden oder bevorzugt an gut gekühlten Teilen der Platte.

- Der Benutzer soll für gewisse Bauteile die Plazierung in speziellen, begrenzten Gebieten der Platte verlangen können: Justierpotentiometer müssen zugänglich sein, Stecker müssen am Plattenrand liegen, Bauteile, die sehr heiss werden, müssen in den Luftstrom des Ventilators ragen. Analog soll der Benutzer Sperrflächen, die frei bleiben müssen, beliebig definieren können. Eine Sperrfläche hält beispielsweise den Platz für Befestigungssteile frei. Ebenso sollen gewisse Bauteile fest vorplaziert werden können, ohne dass der automatische Algorithmus sie noch verschiebt. Muss der Anschlussstecker an einem bestimmten Ort der Platte liegen und sollen gleich dahinter die Treiberstufen folgen, so plaziert der Benutzer diese Teile vor und gibt sie dem Algorithmus als unverrückbar an.

- Der Algorithmus soll Busstrukturen berücksichtigen, um später die Entflechtung vereinfachen zu können. In Figur 2 soll Bauteil A vierfach mit Bauteil B verbunden werden. Plaziert

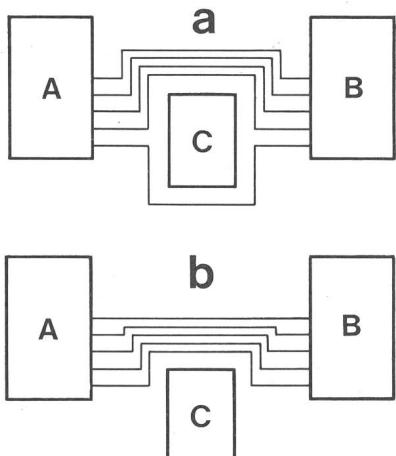


Fig. 2 Berücksichtigen der Busstrukturen

A, B, C Bauelemente Module
a Busstruktur A-B nicht berücksichtigt. Folge: Modul C ist eingeschlossen.
b Busstruktur A-B berücksichtigt. Modul C ist nicht eingeschlossen.

der Algorithmus Bauteil C gemäss Figur 2a, so können die vier Leiter unter Berücksichtigung aller Abstandsregeln nur so verlegt werden, dass viele teure Durchkontaktierungen zum Anschluss von C nötig werden. Berücksichtigt der Algorithmus hingegen die Busstruktur der Verbindungen von A und B und verschiebt C etwas nach unten, so lassen sich die vier Leiter viel besser verlegen und C kann direkt angeschlossen werden (Fig. 2b).

Der Algorithmus soll auf seiner Suche nach einer guten Plazierung Bauteile selbständig drehen und verschieben können.

Der Benutzer soll jederzeit den Stand der Arbeit am Bildschirm abrufen und interaktiv eingreifen können. Dazu soll ihm das System alle Hilfen bieten wie Gummibandtechnik, einfache interaktive Arbeitsweise, Kenndatenberechnung (beispielsweise gesamtheitliche Leiterlänge, Anzahl Kreuzungen).

3.2 Leiterbahnenentflechtung (Routing)

Unter Leiterbahnenentflechtung versteht man umfassend: Verbindungsdaten bestimmen, in Ebenen aufteilen, Reihenfolge bestimmen sowie Entflechten. Im folgenden werden diese vier Schritte kurz skizziert. Probleme und einige Lösungsansätze werden aufgezeigt.

Bestimmung der Verbindungsdaten

Ausgangspunkt dieses Vorganges ist eine Verbindungsliste, durch die bestimmt ist, welche Punkte miteinander verbunden werden müssen. Wie erhält man jedoch eine möglichst kurze Ge-

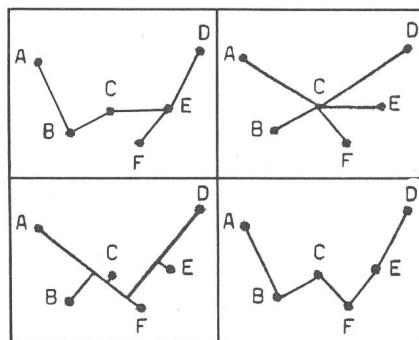


Fig. 3 Einige Möglichkeiten der Verbindung von sechs Punkten

samtleiterlänge? Um sich ein Bild über die Vielzahl der möglichen Lösungen zu machen, soll einmal kurz versucht werden, alle Möglichkeiten, 4 Punkte miteinander zu verbinden, aufzuzeichnen (Fig. 3; Beispiele für 6 Punkte). Zur Lösung dieser Aufgabe existieren diverse mathematische Verfahren.

Aufteilen in Ebenen

Sobald einmal festgelegt worden ist, wie die einzelnen Punkte verbunden werden, stellt sich bei mehrlagigen Leiterplatten die Frage: Wie sollen die verschiedenen Leiter auf die vorhandenen Ebenen aufgeteilt werden, so dass sie sich gegenseitig möglichst wenig behindern? Mit Hilfe der Graphentheorie kann bewiesen werden, dass jeder planare Graph konfliktfrei auf 4 Ebenen aufgeteilt werden kann. Die meisten Leiterplatten bestehen jedoch nur aus zwei Ebenen, und hier hat es sich gezeigt, dass die Aufteilung in horizontale und vertikale Leiterabschnitte sehr günstige Resultate liefert.

Bestimmung der Reihenfolge

Von wesentlicher Bedeutung ist die Reihenfolge, in der die Verbindungen gelegt werden. Eine einzige, ungeschickt verlegte Leitung kann das kreuzungsfreie Verlegen anderer Leiter erschweren oder sogar verunmöglichen. Zur Bestimmung der Reihenfolge existieren keine Regeln, welche in jedem Entwurfsschritt zum optimalen Ergebnis führen. Gute Resultate können häufig mit dem umschreibenden Rechteck (UR) gefunden werden. Figur 4 zeigt hiezu ein Beispiel. Für eine gegebene Konfiguration werden die UR gezeichnet. Würde man beispielsweise die Verbindung A-A zuerst vertikal und dann horizontal legen, dann gäbe es keine Möglichkeit für ein kreuzungsfreies Verlegen kürzester Verbindung B-B. Daher wird zuerst für jedes Netz bestimmt, wieviele Punkte anderer Paare sich in dessen UR befinden

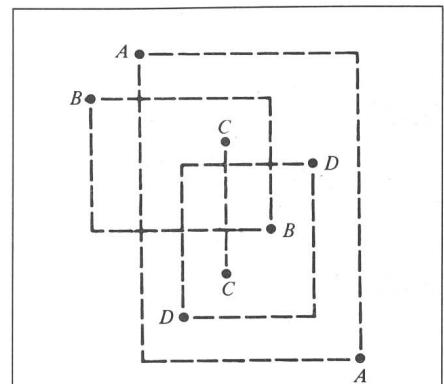


Fig. 4 Ausgangslage eines gegebenen Netzes [1]

(A: 5; B: 1; C: 0; D: 2). Die so erhaltenen Punktzahlen werden geordnet (A: 5; D: 2; B: 1; C: 0). Die Verbindungen werden dann in der Reihenfolge C-B-D-A verlegt (Fig. 5).

Entflechten

Der erste Algorithmus zum automatischen Suchen nach der kürzesten Verbindung zweier Punkte wurde bereits 1961 veröffentlicht. Seither wird ständig nach neuen Algorithmen gesucht oder versucht, die bekannten Algorithmen zu verbessern. So sind bis heute zahlreiche Varianten und Kombinationen entstanden. An dieser Stelle soll das Prinzip der drei wichtigsten Algorithmen: Lee-Algorithmus (1961), Line-Search-Algorithmus (Hightower 1969) sowie Kanalverdrahtung erläutert und deren Schwachstellen aufgezeigt werden.

Lee-Algorithmus: Beim Lee-Algorithmus wird die Leiterplatte mit einem feinen Netz in kleine Quadrate aufgeteilt. Quadrate, die nicht zum Leiterverlegen verwendet werden dürfen, werden gesperrt. Figur 6a zeigt die Ausgangslage für die Suche nach der kürzesten Verbindung von A und B, wobei A der Startpunkt sein soll. In einem ersten Schritt sucht der Algo-

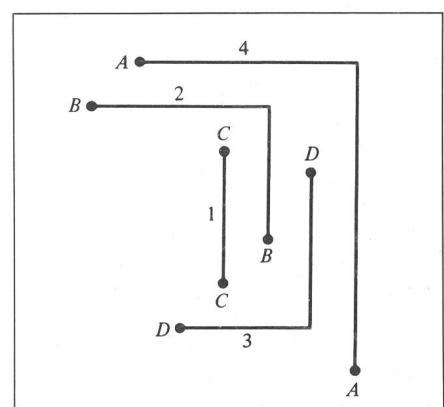
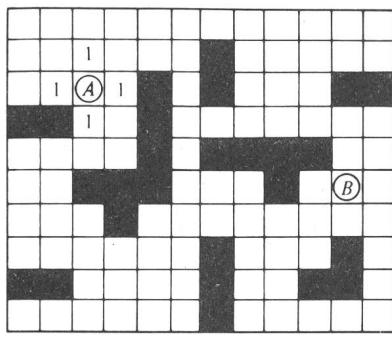
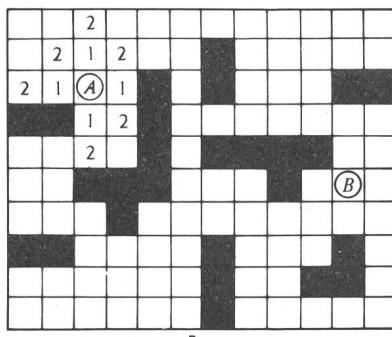


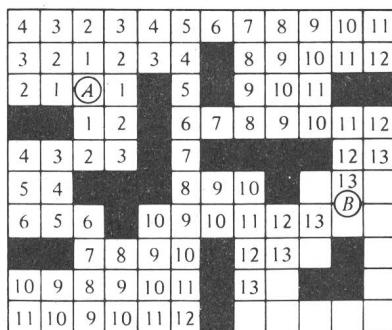
Fig. 5 Ergebnis mit Hilfe der umschreibenden Rechtecke [1]



a



b



c

Fig. 6 Lee-Algorithmus [1]

rithmus alle Felder, die vom Startpunkt aus direkt erreicht werden können, und markiert diese mit einer «1» (Fig. 6a). Alle Felder, die jetzt mit einer 1 gekennzeichnet sind, werden im 2. Schritt als neue Startpunkte genommen und erneut der bereits beschriebene Schritt 1 ausgeführt. Die auf diese Weise erreichten Felder werden mit einer «2» gekennzeichnet (Fig. 6b). Dieses Verfahren wird solange fortgesetzt, bis der Zielpunkt «B» erreicht wird (Fig. 6c). Wird kein Weg zu «B» gefunden, dann weiß man, dass unter diesen Ausgangsbedingungen gar keine Lösung existiert. Ist der Algorithmus aber erfolgreich, so ist das Ergebnis immer die kürzeste Verbindung. Diese Bestimmtheit des Ergebnisses ist der grosse Vorteil dieser Methode. Der Nachteil liegt im sehr großen Speicheraufwand (bereits eine kleine Platte ergibt sehr viele Quadra-

te, da das Netz sehr engmaschig sein muss) und der langen Rechenzeit.

Line-Search-Algorithmen: Die kürzeste, rechtwinklige Verbindung zweier beliebiger Punkte wird gefunden, indem man durch beide Punkte eine horizontale und eine vertikale Gerade zeichnet. Dies ist der Grundgedanke des Line-Search-Algorithmus. Normalerweise werden jedoch Hindernisse diesen kürzesten Weg verunmöglichen. In diesem Fall sucht sich der Algorithmus parallel zum Hindernis alle möglichen Fluchtgeraden, mit denen dem Hindernis ausgewichen werden kann. Unter diesen wird nach einem fixen Kriterium die günstigste ausgewählt. Stößt diese erste Fluchtgerade erneut auf ein Hindernis, so wird nach dem selben Prinzip eine 2. Fluchtgerade bestimmt. Dieser Vorgang wird solange von beiden Seiten fortgesetzt, bis sich zwei Fluchtgeraden schneiden. Der Vorteil gegenüber dem Lee-Algorithmus ist der geringere Speicheraufwand und die viel kürzere Rechenzeit. Den Nachteil bildet der Umstand, dass nur eine Lösung unter vielen gefunden wird. Es kann nichts über die «Qualität» der gefundenen Lösung ausgesagt werden; auch weiß man nach einem Misserfolg nicht, ob trotzdem eine Lösung existiert oder nicht.

Kanalverdrahtung: Im Gegensatz zu den beiden beschriebenen Verfahren, welche die Leiter sequentiell einen nach dem anderen verlegen, geschieht dies bei der Kanalverdrahtung gleichzeitig. Dabei wird nicht der ganze Leiter

zur gleichen Zeit verlegt, sondern nur derjenige Teil des Leiters, der im Kanal liegt, welcher gerade bearbeitet wird. Dadurch können immer alle Leiter eines Kanals verdrahtet werden, sofern dieser eine theoretisch bestimmbarer Minimalbreite hat. Die Breite eines Kanales bestimmt die Anzahl Spuren, d.h. wieviele Leiter maximal parallel verlaufen können. Nun wird mit speziellen Verfahren der Graphentheorie versucht, alle Leiter, die in diesem Kanal verlaufen, in diese Anzahl Spuren zu verpacken. Begonnen wird mit so vielen Spuren wie Leiter vorhanden sind (Fig. 7a). Durch geschicktes Zusammenfassen von Spuren kann deren Zahl erheblich gesenkt werden (Fig. 7b). Bei komplexeren Kanälen werden hierzu entsprechende Algorithmen benötigt.

4. Vorgehen zur Evaluation eines CAD-Systems

4.1 Umfassende Planung des Rechnereinsatzes

Zu Beginn muss ein Gesamtkonzept erarbeitet werden. Die Einführung von CAD/CAM, von Datenverarbeitung im allgemeinen, ist ein weitreichender Eingriff ins Unternehmen. Man muss sich bewusst sein, dass diese Entscheidung auf Jahre hinaus Sachzwänge schafft. Daher soll von Anfang an eine umfassende CAD-Lösung gedacht werden, auch wenn sie nicht sofort in vollem Umfang realisiert werden kann. Sie soll mit dem Betrieb wachsen können, in ihm integriert sein. Ein späterer Systemwechsel ist sehr aufwendig, teuer und kompliziert. Konkret sind folgende Fragen zu beantworten:

– Welche Ziele werden angestrebt? Zur Klärung dieses Punktes durchleuchtet man die bestehenden Abläufe und Organisationsformen der Leiterplattenherstellung genau und stellt fest, wo was quantitativ oder qualitativ verbessерungsfähig ist.

– Sind die gefundenen Mängel mit einem eigenen CAD-System zu beheben? Oft helfen allein schon organisatorische Massnahmen so viel, dass ein hauseigenes CAD-System überflüssig wird. Oder es genügt der Bezug von externen Dienstleistungsunternehmen.

– Welche Entwicklungen werden für den Betrieb in den nächsten fünf Jahren erwartet? Werden neue Technologien eingeführt?

– Welche Anforderungen kommen damit in Zukunft auf das geplante CAD-System zu?

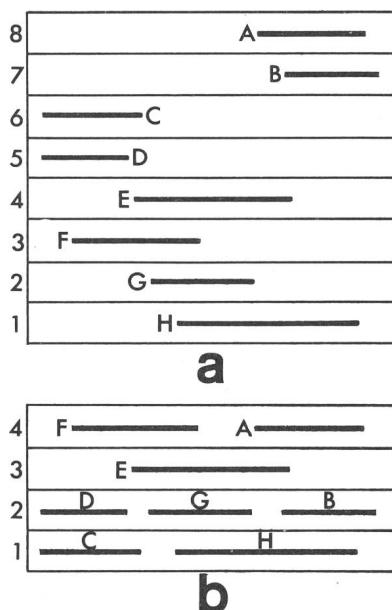


Fig. 7 Kanalverdrahtung
a Ausgangslage: acht Spuren, je Spur ein Leiter
b Ergebnis: minimale Anzahl Spuren

Als Leitgedanken für die Einführung eines CAD-Systems sollen gelten:

CAD ist ein Werkzeug; man soll es anwenden, nicht entwickeln; es muss wirtschaftlich sein und nach kurzer Einführungszeit laufen.

Von Anfang an sollen Herkunft, Weiterverwendung und Austausch von Informationen untersucht werden. Man spricht gelegentlich von umfassenden CAD-Lösungen: je konsequenter CAD im ganzen Produktionsprozess beigezogen wird, von der Entwicklung bis zur Fertigung, um so grösser ist der Nutzen. Damit ein CAD-System brauchbar ist, muss es zu einer grossen Basisdatenmenge Zugriff haben. Diese aufzubauen und zu unterhalten bringt einen grossen Aufwand mit sich. Je weniger daher das CAD-System eine Insel ist, je mehr Leute von dieser Datenmenge profitieren, um so tragbarer und sinnvoller wird der getriebene Aufwand. Dies zusammengefasst heisst: *Daten einmal erfassen, verifizieren, zentral halten und mehrfach weiterverwenden.*

Eine umfassende Betrachtungsweise wird am besten dadurch erreicht, dass in der CAD-Projektgruppe alle betroffenen Bereiche vertreten sind: Entwicklung, Konstruktion, Layout, Normenstelle, Fertigung, EDV-Abteilung, Qualitätssicherung, Einkauf/Lager. So kann die Erkenntnis, ein CAD-System sei notwendig, direkt aus den betroffenen Kreisen herauswachsen; die Anliegen aller Bereiche sind von Anfang an vertreten.

Die CAD-Projektgruppe muss als engagierter Träger der CAD-Idee wirken. Sie hat frühzeitig sowohl die Verantwortlichen als auch die Betroffenen zu informieren und zu motivieren. Die CAD-Einführung wird in der Regel Umstellungsprobleme mit sich bringen. Gelingt es nicht, die entsprechende Motivation sicherzustellen, dann können aus Bequemlichkeit weitere Probleme dazu erfunden werden, welche den Erfolg in Frage stellen.

4.2 Anforderungsliste und Entscheidungsfindung

Als Grundlage einer methodischen Evaluation dient eine Anforderungsliste [2]. Ist man zur Überzeugung gelangt, ein betriebsinternes CAD-System könne eine Lösung sein für die anstehenden Probleme, so überlegt man sich, welche Anforderungen an dieses System gestellt werden müssen. Ein CAD/CAM-System zur Leiterplatten-Herstellung hat verschiedene

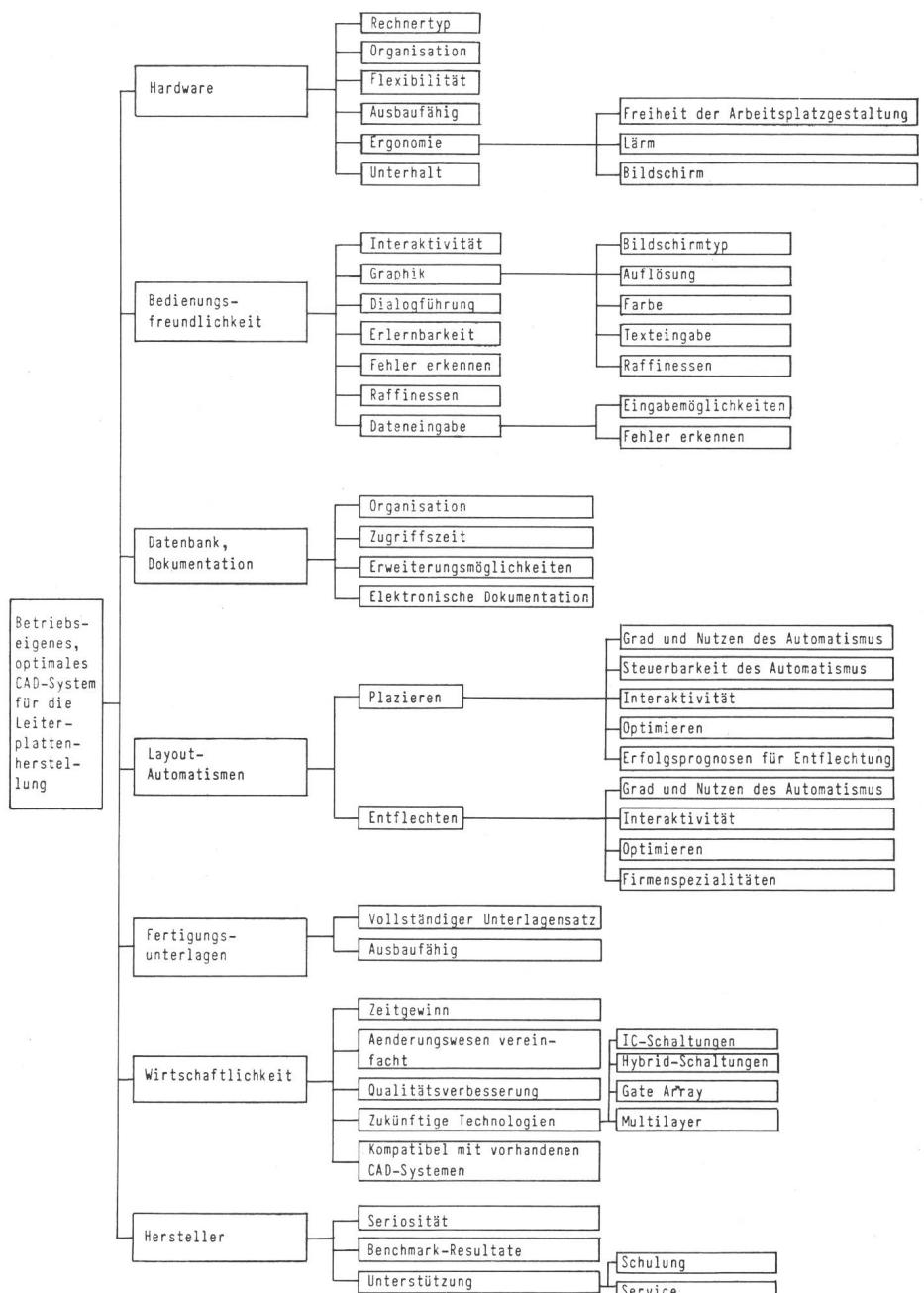


Fig. 8 Zielsystem für eine Nutzwertanalyse von CAD-Systemen für die Leiterplatten-Herstellung

Aspekte: Hardware, Ergonomie, Grafik, Bedienungsfreundlichkeit, Dateneingabe, Datenbank, Plazieren, Entflechten, Fertigungsunterlagen, Dokumentation. Zu jedem dieser Aspekte stellen sich eine Reihe von Fragen.

Aus den aufgezählten Problempekten stellt man sich jene zusammen, die für den betrachteten Fall eine Rolle spielen. Ein allgemein gehaltenes Beispiel einer solchen Zusammenstellung findet sich als Figur 8. Nicht alle Punkte sind gleich bedeutsam: das Evaluationsteam gewichtet daher die einzelnen Punkte (z.B. nach der Methode der Nutzwertanalyse [2]) so, wie dies für den konkreten Fall sinnvoll

scheint. Wegen der Allgemeinheit des Beispiels wird in Figur 8 allerdings keine Gewichtung eingesetzt. Weiter stellt man eine Bewertungsskala für den Erfüllungsgrad der einzelnen Anforderungen auf.

Nachdem diese Vorbereitungsarbeiten abgeschlossen sind, erkundigt man sich erstmals auf dem Markt, bei Herstellern und Anwendern. Hiermit fallen bereits gewisse CAD-Systeme ausser Betracht, da sie grundlegende Anforderungen nicht erfüllen können: zu teuer, nur Insellsungen, zu wenig ausbaufähig usw. Die genaue, aufwendige Beurteilung anhand der Anforderungsliste muss dann nur noch für wenige Varianten durchgeführt werden.

Es ist schwierig, aus Prospekten, Literatur, Diskussionen und Besuchen allein zu einem schlüssigen Urteil zu kommen. Lässt man hingegen ein eigenes Beispiel auf einem CAD-System bearbeiten, so liefert dies weitere wesentliche Anhaltspunkte für die Entscheidung. Wenn diese Phase des Evaluationsprozesses erreicht ist, sollte auch schon bekannt sein, welche Mitarbeiter mit dem CAD-System arbeiten werden. Diese Personen kann man zu Tests und Besprechungen mitnehmen, damit sie direkt am Entscheidungsprozess beteiligt sind.

4.3 Wirtschaftlichkeit

Dieser Problemkreis ist schwierig zu beurteilen, da einerseits alle durch Umstellungen und Schwierigkeiten entstehenden Kosten abzuschätzen sind, andererseits viele Nutzeffekte des CAD-Systems nicht in Geldbeträgen auszudrücken sind. Man kann maschinelle und manuelle Stundenkosten berechnen. Das Produkt CAD-Stundenkosten mal CAD-Einsatzstunden muss deutlich kleiner sein als der gegenwärtig betriebene Aufwand für manuelle Vorgehensweise. Eine Firma, die etwa 300 neue Platten im Jahr erstellt, hat sich die in der Tabelle I angegebenen Ziele gesetzt. Man bezweifelt den Erfolg der Aufwandsreduktionsprognosen, nimmt aber an, jene über die Durchlaufbeschleunigung zu übertreffen.

Die von den Autoren befragten CAD-Anwender haben alle einen Durchsatz von mehr als 80 Europa-Format-Platten pro Jahr. Obwohl in gewissen Prospekten CAD-Rentabilität von viel kleineren Stückzahlen an versprochen wird, vermuten sie die Grenze momentan eher bei dieser Zahl. Auf jeden Fall wird die Wirtschaftlichkeit durch umfassende Einsatzvorbereitung stark verbessert: frühzeitiger Datenbankaufbau, Bilden von speziellen Makros, Sondermenüs, problembezogenen Lösungen. Hierzu

verwendet man bereits die Zeit zwischen dem endgültigen Systementscheid und dem Eintreffen der Hardware. Ebenfalls zur Einsatzvorbereitung gehören das Einrichten geeigneter Arbeitsräume und die Schulung der zukünftigen CAD-Mitarbeiter. So kann man die teure Einführungsphase drastisch verkürzen und die Kosten reduzieren.

Der ganze Evaluationsprozess ist, sorgfältig durchgeführt, ein zeit- und kostenintensiver Vorgang. Nach Angaben verschiedener grösserer Firmen bedeutet er den Einsatz von 2 bis 5 Mannjahren, verteilt auf eine Dauer von ein bis drei Jahren. Angesichts des grossen Investitionsvolumens und der weitreichenden Folgen der Entscheidung ist dieser Aufwand nicht unberechtigt.

Das Gebiet CAD entwickelt sich sehr rasch. Man muss sich mit dem Gedanken abfinden, mit einer gewissen Unvollständigkeit leben zu müssen. Es ist besser, das Augenmerk auf ein ausbaufähiges System zu richten und dies anzuschaffen, als zuzuwarten, bis das «ideale System» kommt, oder in ein endloses Evaluieren zu verfallen.

5. Weiterentwicklung

In zahlreiche Richtungen sind Weiterentwicklungen wünschbar und bereits im Gange:

- Weiterentwicklung der Software zur Leiterbahnfindung im Hinblick auf optimales Anwenden der verschiedenen Algorithmen, optimale Reihenfolge für das Verlegen der Verbindungen, Verschieben von bereits gelegten Leiterbahnen und Bauteilen, Auflösen bereits gelegter Leiter.

- Simulation digitaler Schaltungen: Das CAD-System unterstützt Gatterumwandlungen und -zusammenfassungen und kann die entwickelte Schaltung simulieren.

- Dateneingabe: Der Entwickler entwirft seine Schaltung direkt an einem graphischen Arbeitsplatz. Ein-

tippen von Verbindungslisten oder Abdigitalisieren entfällt.

- Hardware: Schneller Rechner, Netzwerkstrukturen, billigere graphische Arbeitsplätze, spezialisierte Hardware (z.B. Hardware-Router).

6. Problematik der Normen

6.1 Normen für CAD-Systeme

Für den CAD-Anwender wäre es von grossem Vorteil, wenn die verschiedenen CAD-Systeme genormte Schnittstellen hätten. Neu dazugekauft Einheiten, auch anderer Hersteller, wären dann mit den schon vorhandenen sofort kompatibel. Weiter würden Umstellungen einfacher und billiger, Netzwerke mit verschiedenen Rechnern wären möglich, Information könnte direkt auf CAD-Ebene unter Firmen, mit Lizenznehmern, Kunden usw. ausgetauscht werden.

6.2 Normen innerhalb von Anwenderfirmen

Oft schränken firmeneigene Normen die Leistungsfähigkeit eines CAD-Systems stark ein. Die CAD-Programme müssen daher an funktional gereftigerte Firmenwünsche angepasst werden können. Ein weiteres Problem ist der Aufbau einer Bauteilbibliothek. Die CAD-Bibliothek soll so gestaltet sein, dass sie mit der kaufmännischen EDV-Anlage zusammenarbeiten kann. Werden neue Bauteile eingeführt, so sollen alle Informationen dazu gleichzeitig überall erhältlich sein.

6.3 Normen der Bauteilehersteller

Unter den Bauteileherstellern existieren nur wenige allgemein anerkannte Normen. Dies erschwert zusätzlich den Aufbau von umfassenden, firmeninternen Bauteilebibliotheken. Als Fernziel könnte man sich vorstellen, dass die Herstellerfirmen elektronischer Bauteile die Informationen über Neuentwicklungen nicht mehr in voluminösen Katalogen, sondern direkt auf einem elektronischen Datenträger liefern. Solche Informationen wären nur noch in die Rechner der Anwenderfirmen einzulesen, und viel unproduktive Kopierarbeit könnte eingespart werden. Dazu braucht es vorerst aber ein umfassendes Bauteil-Normensystem.

Literatur

- [1] M.A. Breuer: Design automation of digital systems. Vol. 1: Theory and techniques. Englewood-Cliffs, Prentice-Hall, 1972.
- [2] M. Tayefeh-Emamverdi: Methodik technischer Entwicklungen. Vorlesungs-Skript. Zürich, ETH, 1981.

Tabelle I

Arbeitsphase	Reduktion	Aufwandreduktion	Zeitreduktion
Prototypherstellung		10%	30%
Serienplatten	Layout, Originale		
	Arbeitsfilm	20%	20%
	übrige Unterlagen	10%	50%