



Kapitel 7  
**Flächenverdrahtung**

**7**

# 7

---

<b>7</b>	<b>Flächenverdrahtung.....</b>	<b>187</b>
7.1	Einführung.....	187
7.2	Begriffsbestimmungen.....	189
7.3	Festlegung der Netzreihenfolge.....	191
7.4	Manhattan- und euklidische Metrik.....	193
7.5	Verdrahtung der Versorgungsnetze.....	194
7.6	Optimierungsziele.....	196
7.7	Sequentielle Verdrahtungsalgorithmen.....	197
7.7.1	Rasterverdrahtung nach <i>Lee</i> .....	197
7.7.2	Rasterverdrahtung mit Wegwichtung.....	203
7.7.3	Linienverdrahtung.....	207
7.8	Quasiparallele Verdrahtung.....	211
7.8.1	Hierarchische Verdrahtung.....	211
7.8.2	Rip-Up and Reroute.....	212
7.9	Dreidimensionale Verdrahtung.....	215
7.9.1	Rasterverdrahtung.....	216
7.9.2	Mehrstufen-Verdrahtung.....	217
7.9.3	Planarverdrahtung.....	217
7.9.4	Turmverdrahtung.....	218
7.10	X-Verdrahtung.....	220
7.10.1	Oktilineare Steinerbäume.....	220
7.10.2	Oktilineare Wegsuche.....	222
	Aufgaben zu Kapitel 7.....	223
	Literatur zu Kapitel 7.....	225

## 7 Flächenverdrahtung

### 7.1 Einführung

### 7.1

Die Verdrahtung einer Baugruppe schließt sich an die Platzierung an. Sie erfolgt entweder in zwei Schritten (Global- und Feinverdrahtung, s. Kap. 5 und 6), oder sie wird direkt in einem Schritt durchgeführt. In diesem Fall spricht man von Flächenverdrahtung (Area routing), welche Gegenstand dieses Kapitels ist.

Die Aufteilung in Global- und Feinverdrahtung wird bei digitalen Schaltkreisen und teilweise auch bei Multichip-Modulen (MCMs) vorgenommen, da diese aufgrund der Entwurfskomplexität nicht in einem Schritt verdrahtet werden können. Bei analogen Schaltkreisen, bei Leiterplatten und gegebenenfalls auch bei MCMs wendet man dagegen bevorzugt die Flächenverdrahtung an. Bei dieser werden die in der Netzliste enthaltenen Verbindungsinformationen direkt in ein Verdrahtungsergebnis umgesetzt.

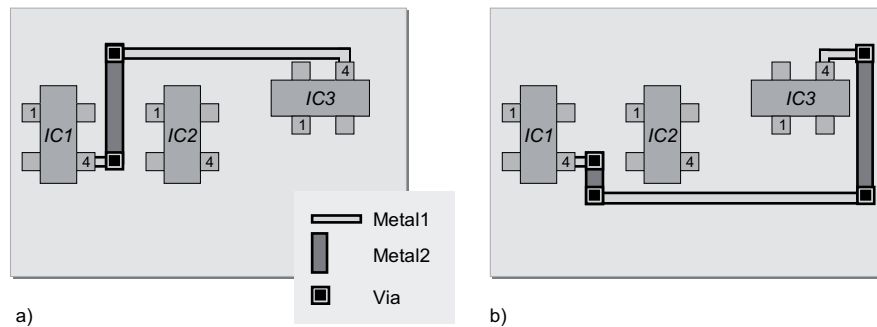
*Die Aufgabe bei der Flächenverdrahtung besteht in der erfolgreichen Einbettung aller Netze auf technologisch und elektrisch sinnvollen Verdrahtungswegen, wobei die Layoutfläche in ihrer Gesamtheit betrachtet wird und die Einbettung ohne eine vorherige globale Zuweisung (Globalverdrahtung) erfolgt. Dabei sind Randbedingungen einzuhalten, und die Optimierung von Zielfunktionen (z.B. minimale Verbindungslänge) ist anzustreben.*

Die zu berücksichtigenden Randbedingungen lassen sich in technologische (Anzahl von Verdrahtungsebenen, minimale Leiterzugbreite, minimaler Leiterzugabstand usw.) und elektrische (Einhaltung von maximalen Signallaufzeiten, Verhinderung von Kopplungen usw.) unterteilen. Dazu kommen entwurfsmethodische Randbedingungen (z.B. die Vorgabe einer festen Platzierung oder die Einhaltung von Vorzugsrichtungen), welche künstlich eingeführt werden, um die Lösung der Verdrahtungsaufgabe zu erleichtern.

In einem automatischen Verdrahtungswerkzeug sind diese verschiedenen Randbedingungen in Form von geometrischen Regeln abgebildet. Sie entsprechen im Wesentlichen den Entwurfsregeln (Design rules), die technologieabhängig bei jeder Entwurfsaufgabe vorgegeben sind. Moderne Verdrahtungswerkzeuge sind darüber hinaus in der Lage, elektrische Randbedingungen *direkt* zu berücksichtigen, indem z.B. die Signalverzögerung eines Netzes während der Verdrahtung, gegebenenfalls unter Einschluss von benachbarten Leitungen, berechnet wird.

Verallgemeinert gilt, dass bei der Verbindung eines Netzes eine kurze Netzlänge anzustreben ist, weil damit die benötigte Verdrahtungsfläche minimiert und die Signaleigenschaften verbessert werden. So ist z.B. in Abb. 7.1 der linke Verbindungsweg zu bevorzugen, da dieser der kürzest mögliche ist. Seine Länge entspricht

der Manhattan-Entfernung beider Punkte, also der halben Länge des umschließenden Rechtecks, und ist demzufolge in Manhattan-Metrik nicht zu unterbieten.



**Abb. 7.1** Zwei mögliche Verbindungswege eines 2-Punkt-Netzes, welches die Pins  $IC1_4$  und  $IC3_4$  verbindet.

Die Komplexität des Verdrahtungsproblems führt dazu, dass die Netze bei den meisten Verdrahtungswerkzeugen sequentiell verlegt werden. Damit hat die Verdrahtungsreihenfolge der Netze einen maßgeblichen Einfluss auf die Gesamtqualität des Verdrahtungsergebnisses. So könnte z.B. in Abb. 7.1 die bei bloßer Einzelbetrachtung bevorzugte Verbindung in (a) eventuell nachfolgende Verbindungen des Bauelementes  $IC2$  behindern und damit die unter (b) dargestellte Verbindung, im Gesamtkontext betrachtet, besser sein. Neben dieser Beachtung der Netzreihenfolge ist auch noch die interne Abarbeitung eines Mehrpunktnetzes zu berücksichtigen, d.h. bei mehr als zwei Netzanschlüssen ist deren sinnvolle Verbindungsreihenfolge zu ermitteln.

Damit sind vor der eigentlichen Wegfindung bzw. ggf. auch zeitgleich mit dieser folgende Aufgaben zu lösen:

1. Festlegen der Abarbeitungsfolge der Netze (Netzreihenfolge) und
2. Festlegen der Reihenfolge, in der die einzelnen Anschlüsse eines Netzes miteinander zu verbinden sind (Anschlussfolge).

Auf die Festlegung der Netzreihenfolge im Rahmen der Flächenverdrahtung wird in Kap. 7.3 eingegangen.

Zur Festlegung der Anschlussfolge innerhalb eines Netzes bestehen verschiedene Möglichkeiten, z.B.:

- Nutzung von Steinerbaum-basierten Algorithmen (s. Kap. 5) oder anderer Methoden, die ein Netz in 2-Punkt-Verbindungen aufspalten.
- Anwendung von geometrischen Kriterien. Beispielsweise lassen sich Anschlüsse nach aufsteigenden  $x$ -Koordinaten ordnen, um sie dann von links nach rechts zu verbinden, oder es wird vom geometrischen Mittelpunkt des Netzes nach außen hin verdrahtet.

Oftmals unterstützt man das Ermitteln einer geeigneten Anschlussfolge innerhalb eines Netzes, indem das bereits verdrahtete Teilnetz *vollständig* als Ziel- oder Ausgangspunkt bei der Wegsuche berücksichtigt wird. Unter Anwendung eines Wegsuche-Algorithmus mit kürzester Weglänge ergeben sich so Steinerpunkte, welche Netzlängen verkürzen und auch bei ungünstig gewählter Anschlussfolge im Sinne einer „Selbstregulierung“ ausgleichend wirken.

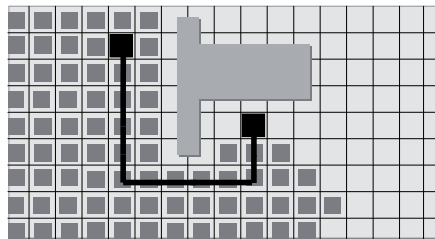
Im Allgemeinen gilt, dass die Abarbeitungsreihenfolge von Netzanschlüssen stark vom Charakter des jeweiligen Verdrahtungsalgorithmus abhängt, womit generelle Aussagen, wie sie z.B. in Kap. 7.3 zur Netzreihenfolge getroffen werden, nicht möglich sind.

## 7.2 Begriffsbestimmungen

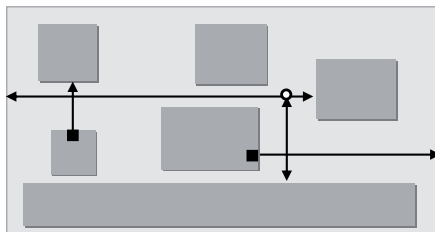
---

 7.2

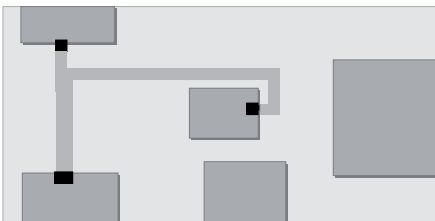
**Rasterverdrahtung bzw. Labyrinthverdrahtung (Grid routing, maze routing):** Wegsuche-Algorithmus arbeitet rasterbasiert, d.h. Finden des Verdrahtungsweges beruht auf der Suche in einem Raster.



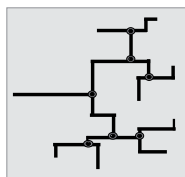
**Linienverdrahtung (Line probe routing):** Wegsuche-Algorithmus arbeitet linienbasiert, d.h. Finden des Verdrahtungsweges beruht auf sich ausbreitenden Strahlen bzw. Geraden.



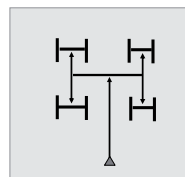
**Rasterunabhängige bzw. rasterfreie Verdrahtung (Shape based routing):** Reale Formen und Abmessungen der Verdrahtungsbahnen werden (rasterunabhängig) berücksichtigt (anstelle von abstrakten, rasterabhängigen „Strichmodellen“).



**Verdrahtung der Taktnetze (Clock routing):** Verdrahtung des Takt- bzw. Clock-Signals, wobei zum Erzielen identischer Signallaufzeiten die Ankunftszeit des Signals an den jeweiligen Senken genau abgestimmt erfolgen muss. Verwendung finden insbesondere der Gleichgewichtsbaum (Balanced tree, links) und der H-Baum (H tree, rechts).

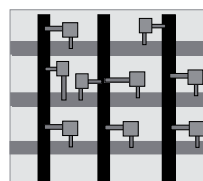


Gleichgewichtsbaum

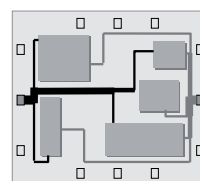


H-Baum

**Verdrahtung der Versorgungsnetze (Power routing):** Verdrahtung der Stromversorgungs- und Masseleitungen, wobei auf gleiches Spannungs- und Massepotential in allen Layoutgebieten geachtet werden muss. Im Wesentlichen bieten sich dazu ein Versorgungsgitter (Power mesh, links), Ringverdrahtung (Power ring), Sternverdrahtung (Star routing) und verschiedene Baumstrukturen (Interdigitated trees, rechts) an.



Versorgungsgitter

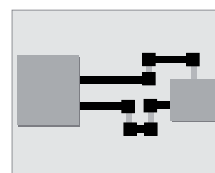
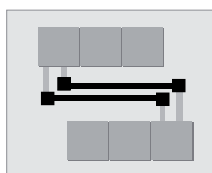


Baumstruktur

**Bus-Verdrahtung (Bus routing):** Verdrahtung von Busleitungen.



**Differential-Pair-Verdrahtung (Differential pair routing):** Verdrahtung zweier Leitungen, deren Kapazitäts- oder Widerstandswerte sich nicht unterscheiden dürfen. Zur Erzielung identischer Eigenschaften werden i.Allg. Längenabgleiche durch den Einbau von Umwegen durchgeführt.<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Wenn man bei *konstanter* Leiterbahnbreite die Längen abgleicht, d.h. über Umwege identische Längen erzwingt, so werden automatisch Kapazität (über gleiche Flächen) und Widerstand (über gleiche Längen) symmetrisiert, womit sich gleiche Leitungsimpedanzen ergeben.