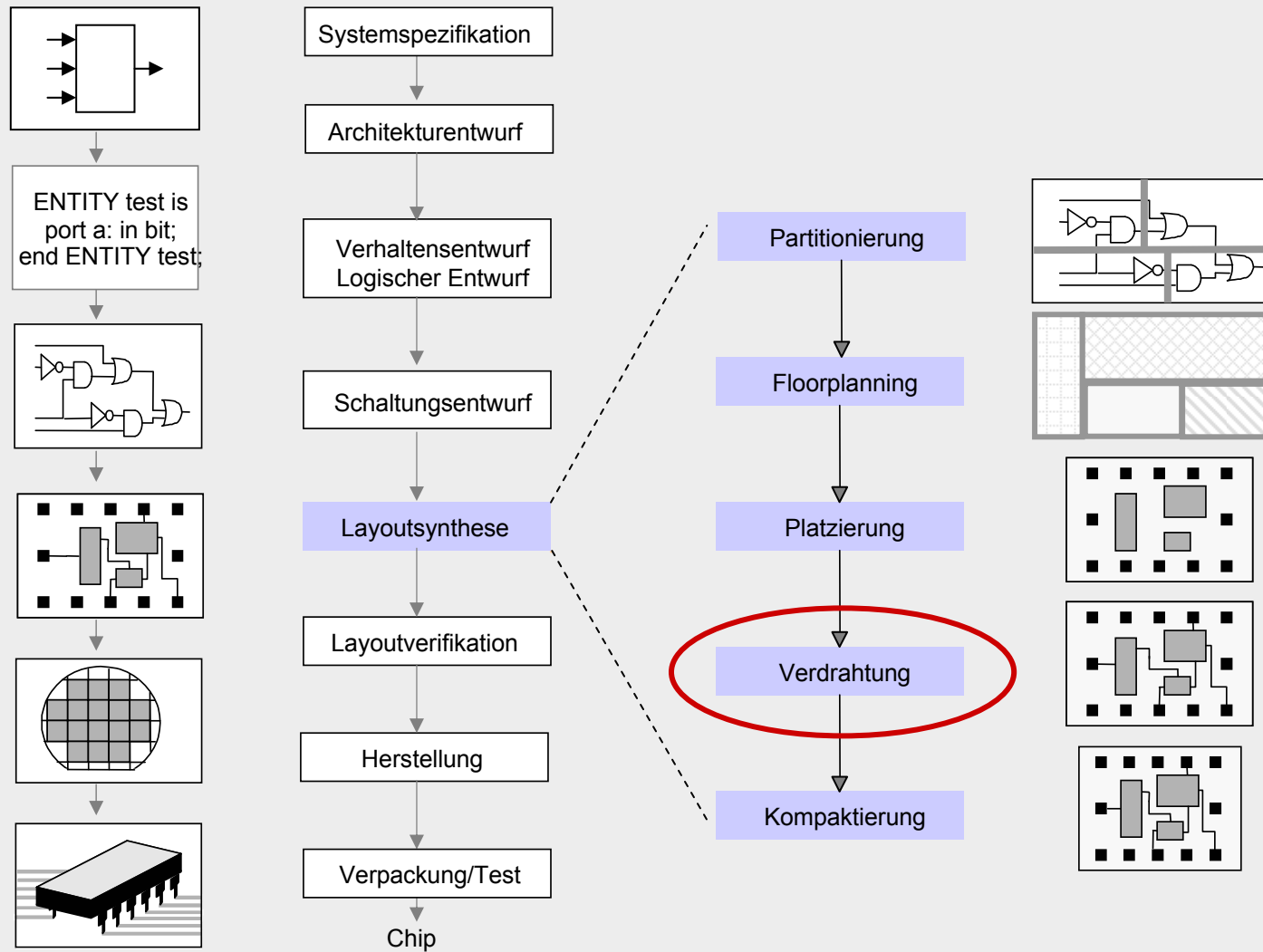


- 5.1 Einführung
  - 5.1.1 Allgemeines Verdrahtungsproblem
  - 5.1.2 Globalverdrahtung
- 5.2 Begriffsbestimmungen
- 5.3 Optimierungsziele
  - 5.3.1 Kundenspezifischer Entwurf
  - 5.3.2 Standardzellen-Entwurf
  - 5.3.3 Gate-Array-Entwurf
- 5.4 Abbildung von Verdrahtungsregionen
- 5.5 Ablauf der Globalverdrahtung
- 5.6 Algorithmen für die Globalverdrahtung
  - 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung
  - 5.6.2 Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen
  - 5.6.3 Wegsuche mit dem Dijkstra-Algorithmus

## 5.1.1 Allgemeines Verdrahtungsproblem



## 5.1.1 Allgemeines Verdrahtungsproblem

Netzliste:

Netze mit den durch sie jeweils zu verbindenden Bauelemente-Anschlüssen

$$N_1 = \{C_4, D_6, B_3\}$$

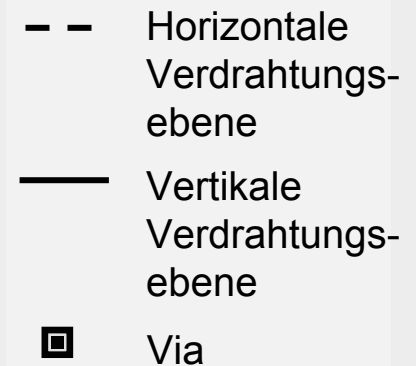
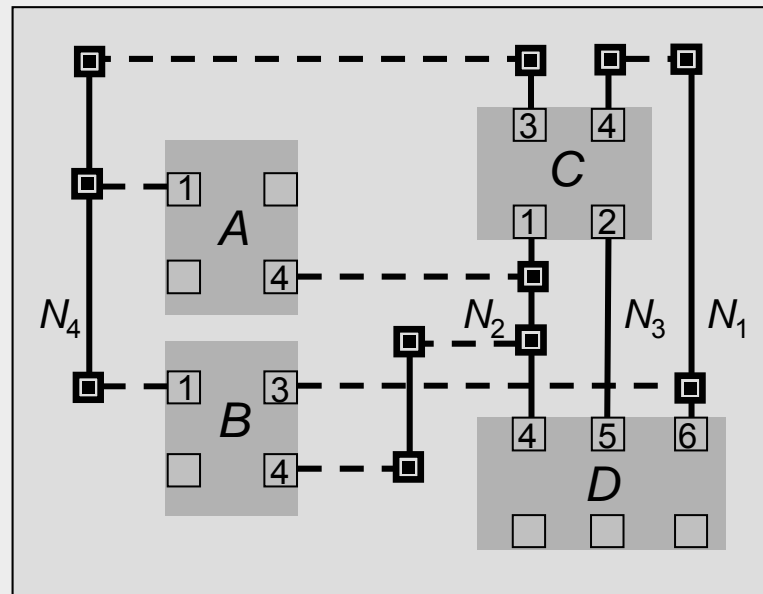
$$N_2 = \{D_4, B_4, C_1, A_4\}$$

$$N_3 = \{C_2, D_5\}$$

$$N_4 = \{B_1, A_1, C_3\}$$

Technologie-Informationen:

Abstandsregeln  
Breitenregeln usw.



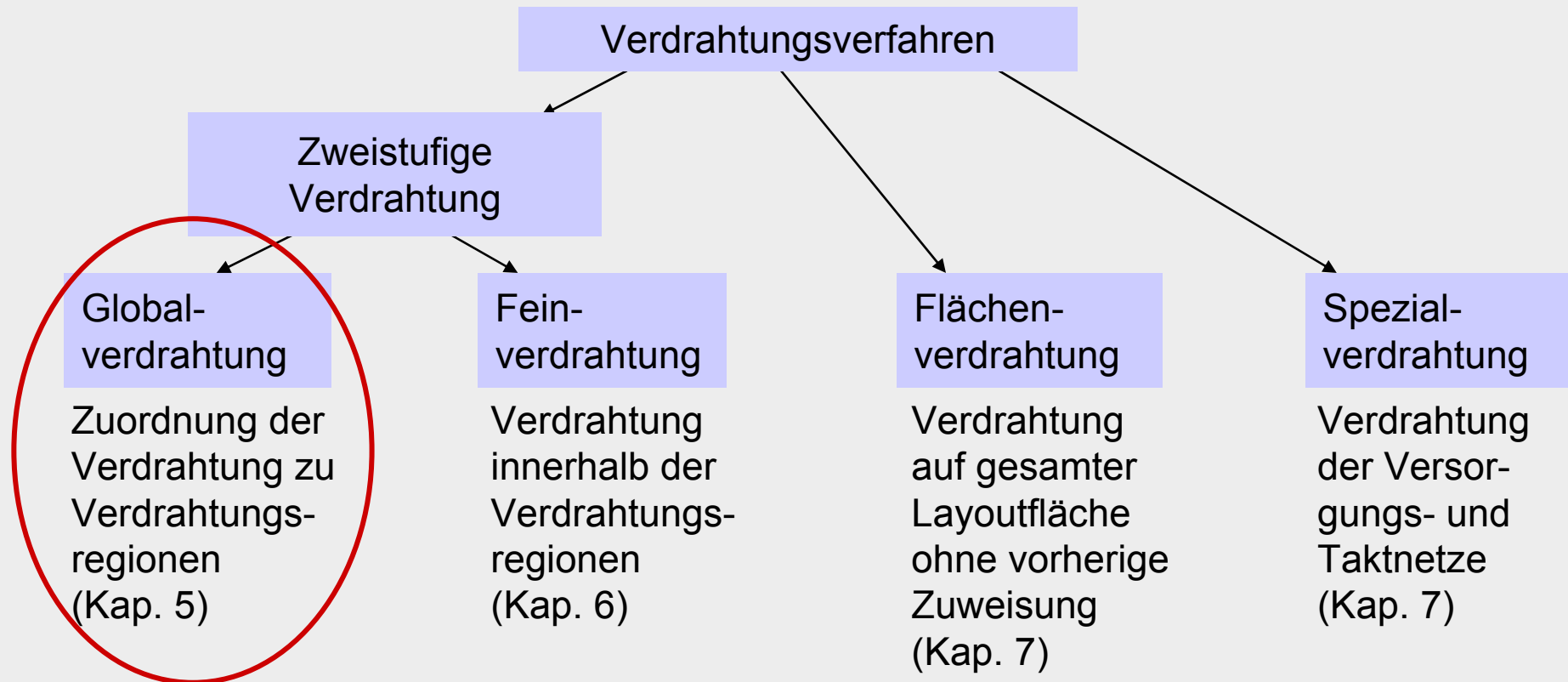
## 5.1.1 Allgemeines Verdrahtungsproblem

Bei der Verdrahtung sind alle Zellen- bzw. Bauelementeanschlüsse gleichen Potentials, die damit zu einem Netz gehören, miteinander zu verbinden.

Dies beinhaltet das **Festlegen von Verdrahtungswegen** sowie die **Zuordnung der Leiterzugsegmente zu Verdrahtungsebenen**.

Dabei sind **Randbedingungen** (z.B. Kreuzungsfreiheit) einzuhalten und **Optimierungsziele** (z.B. minimale Verbindungslänge) anzustreben.

## 5.1.1 Allgemeines Verdrahtungsproblem

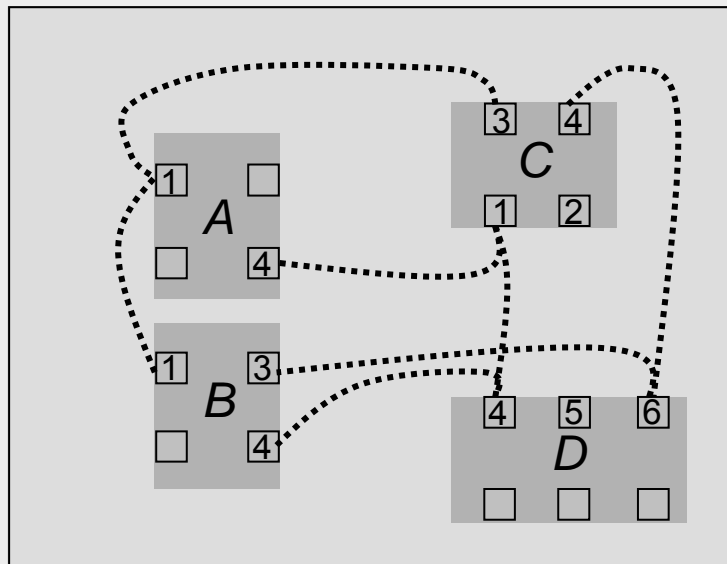


## 5.1.2 Globalverdrahtung

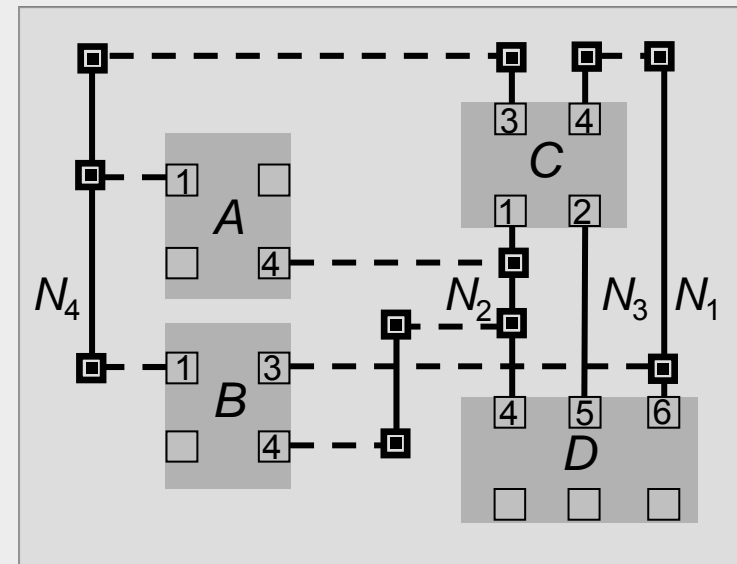
Bei der Globalverdrahtung werden **ungefähre Verbindungswege auf einer Layoutoberfläche** festgelegt.

Dies geschieht meist durch Zuweisung der Netzsegmente in sog. **Verdrahtungsregionen** unter Berücksichtigung der jeweiligen Verdrahtungskapazitäten dieser Regionen.

## 5.1.2 Globalverdrahtung



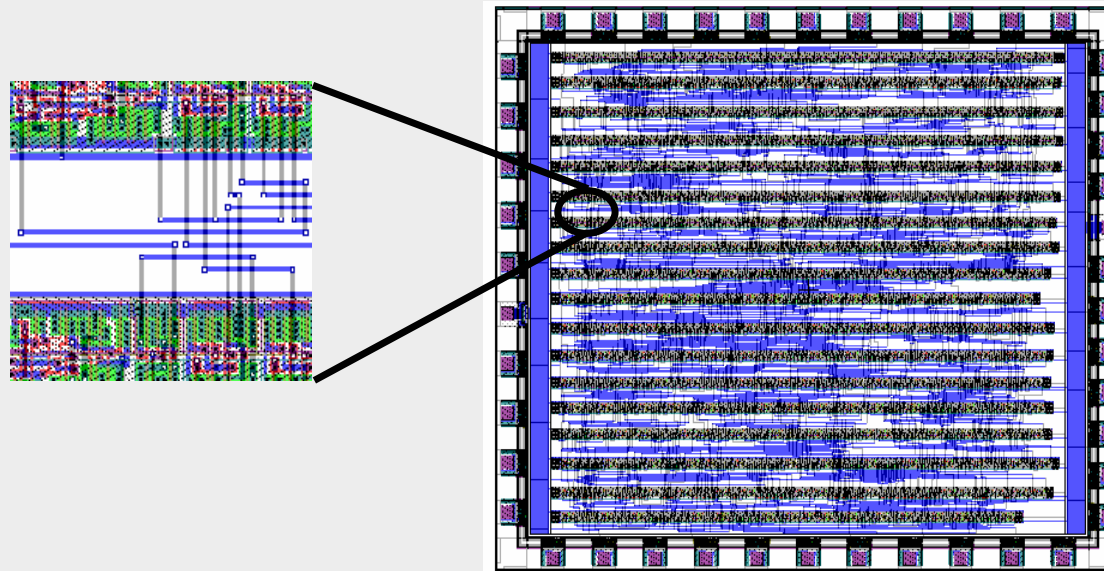
Globalverdrahtung



Feinverdrahtung

## 5.2 Begriffsbestimmungen

### Kanal (Channel)

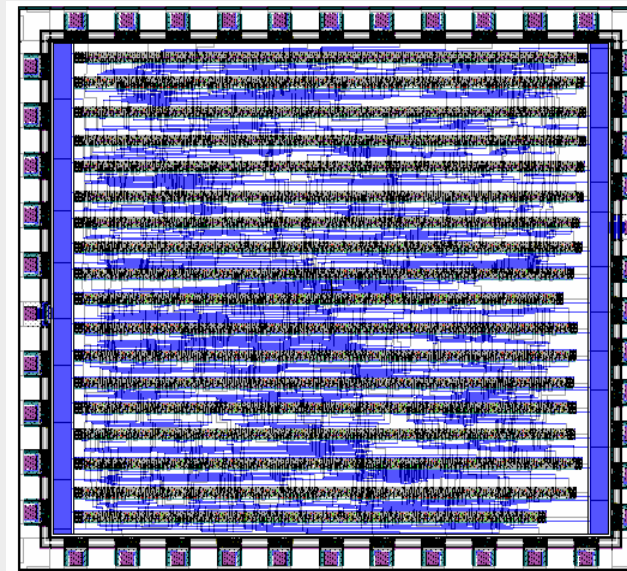
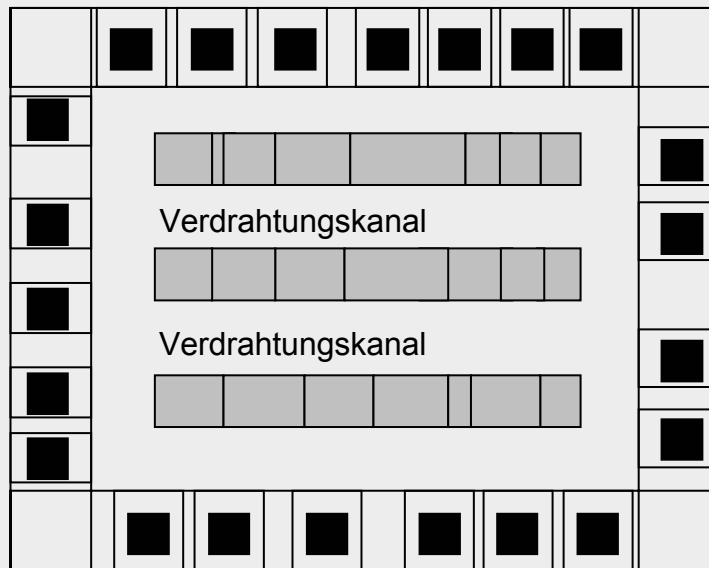


Standardzellenlayout (Zweilag-Verdrahtung)



## 5.2 Begriffsbestimmungen

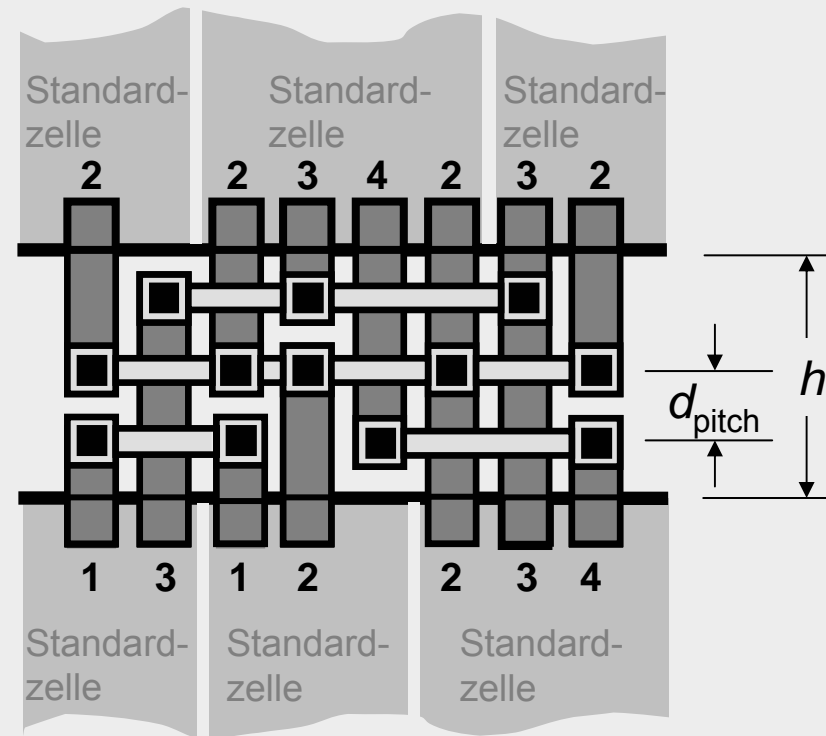
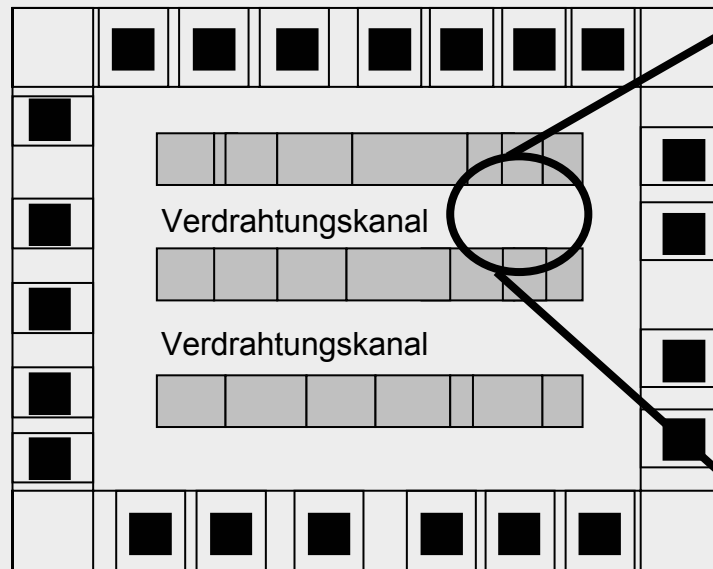
### Kanal (Channel)



Standardzellenlayout (Zweilag-Verdrahtung)

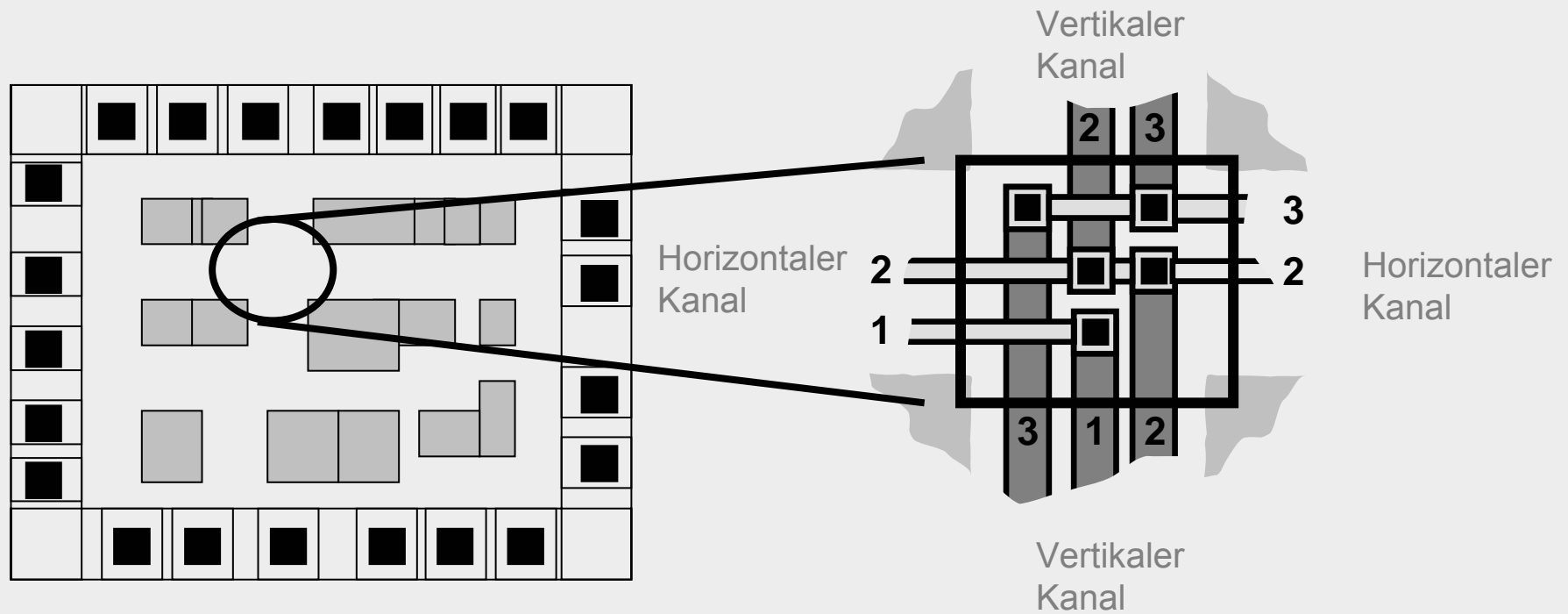
## 5.2 Begriffsbestimmungen

### Kapazität (Capacity)



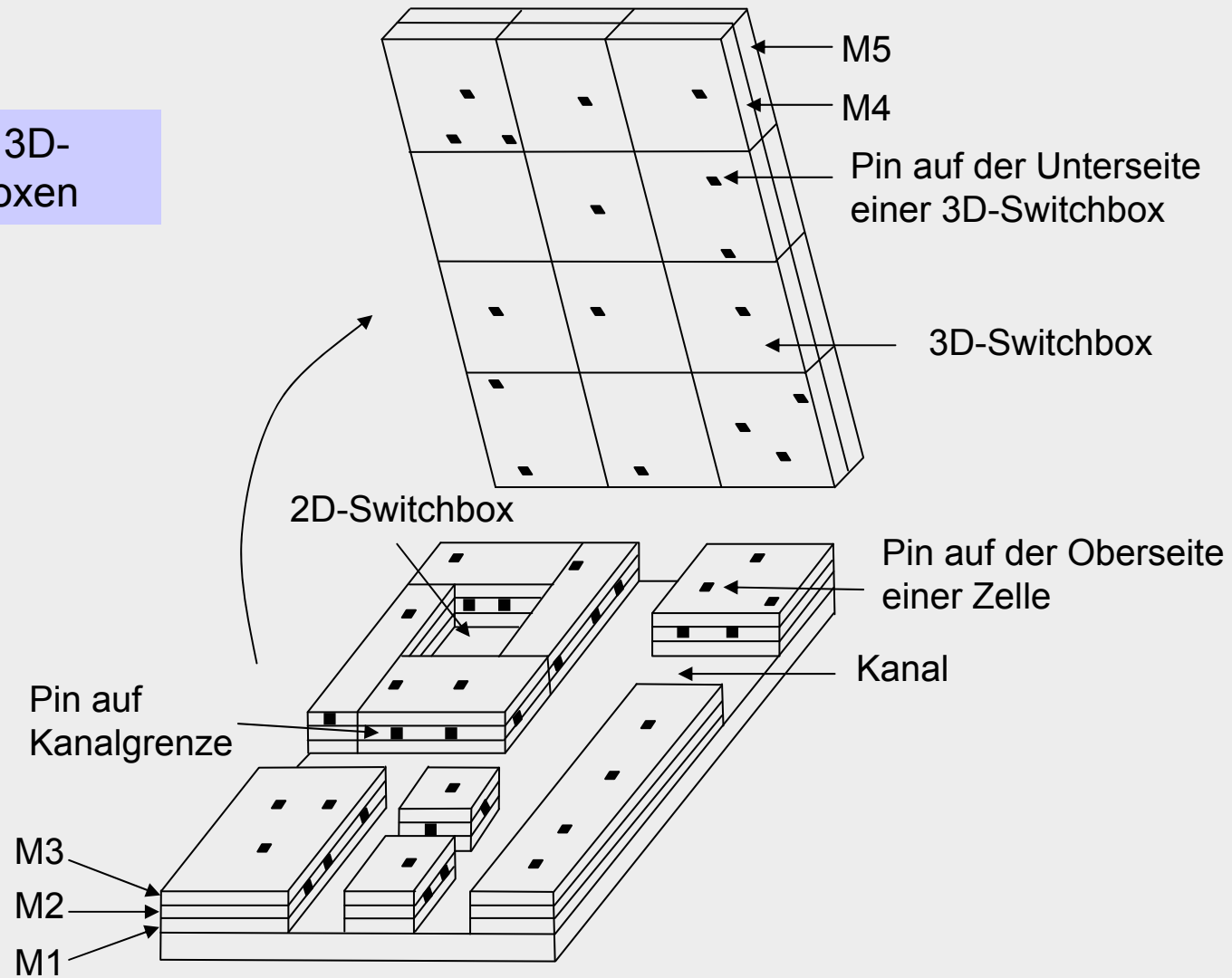
## 5.2 Begriffsbestimmungen

### Switchbox (Zweilagige-Verdrahtung)



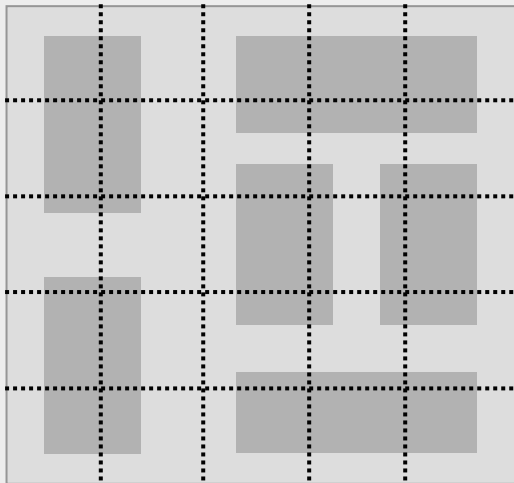
## 5.2 Begriffsbestimmungen

2D- und 3D-Switchboxen



Nach Sherwani, N.: Algorithms for VLSI Physical Design Automation

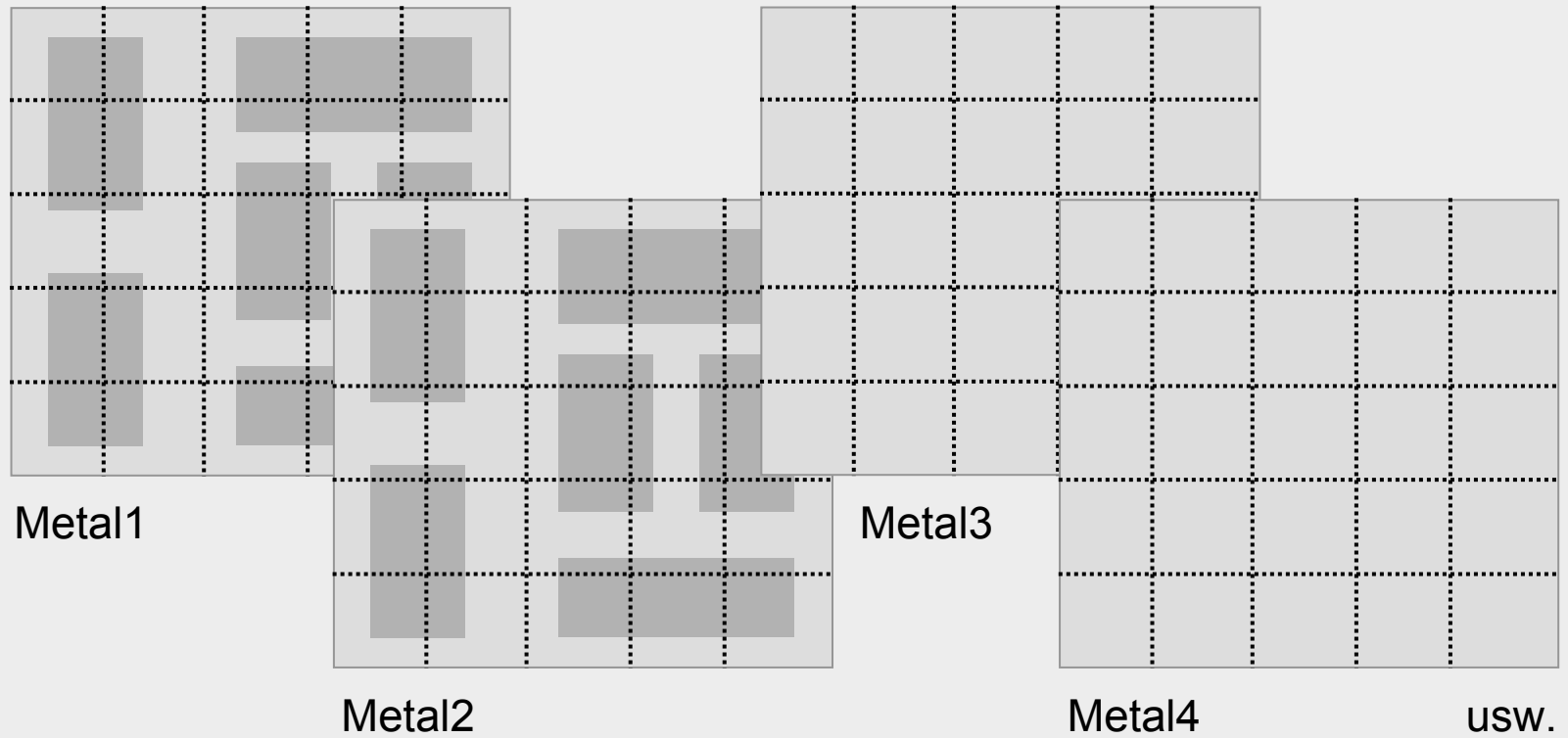
### Verdrahtungsregion (Tile, Box)



- Kanal- und klassische Switchboxdefinition nur bei Zweilagigen-Verdrahtung sinnvoll
- Mehrlagen-Verdrahtung oftmals mit zellenunabhängigen Verdrahtungsbereichen (Verdrahtungsregion, Tile, Box usw.) auf allen Ebenen zur Netzzuweisung

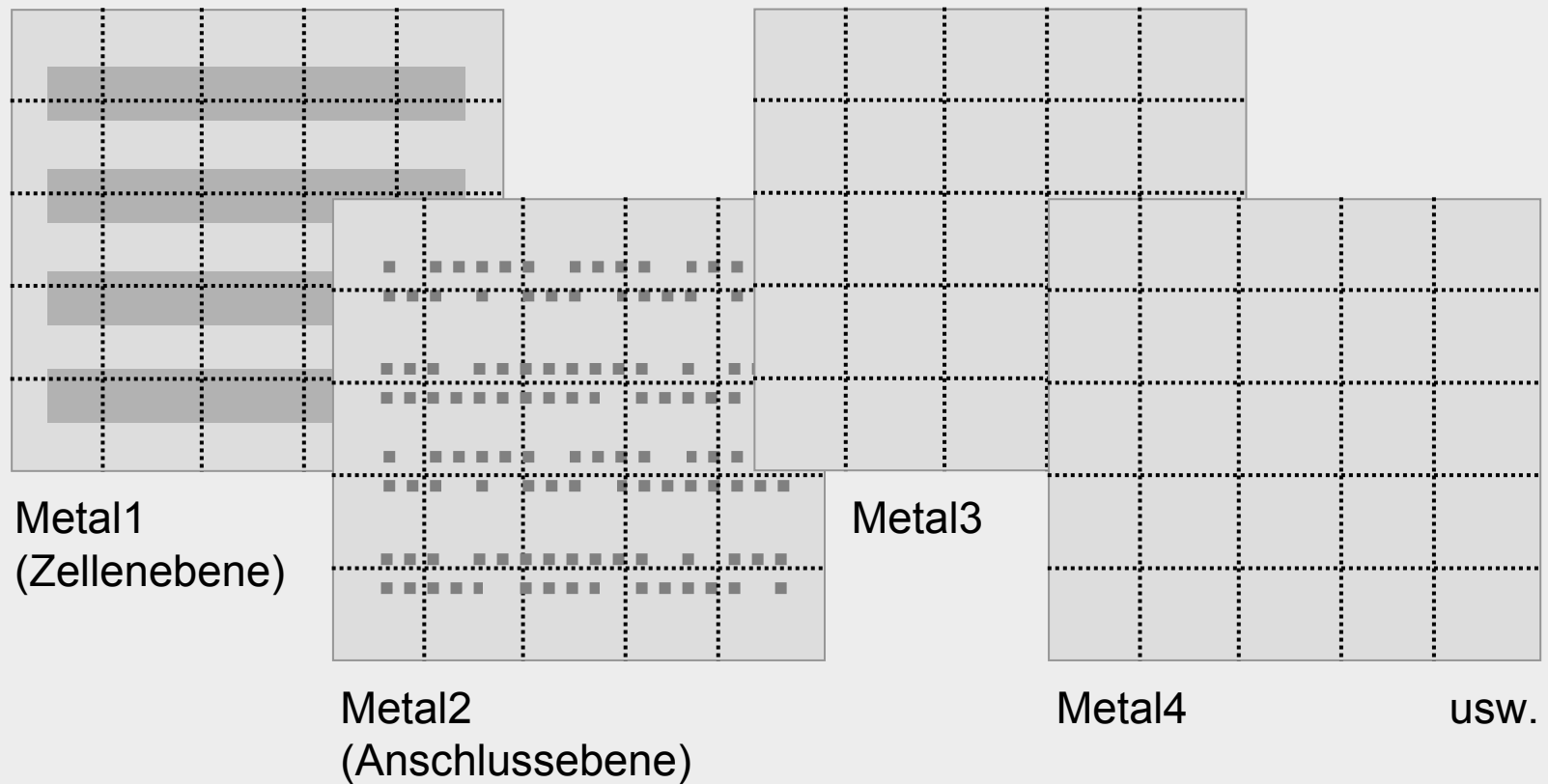
## 5.2 Begriffsbestimmungen

Verdrahtungsregion (Tile, Box)  
bei Makrozellen



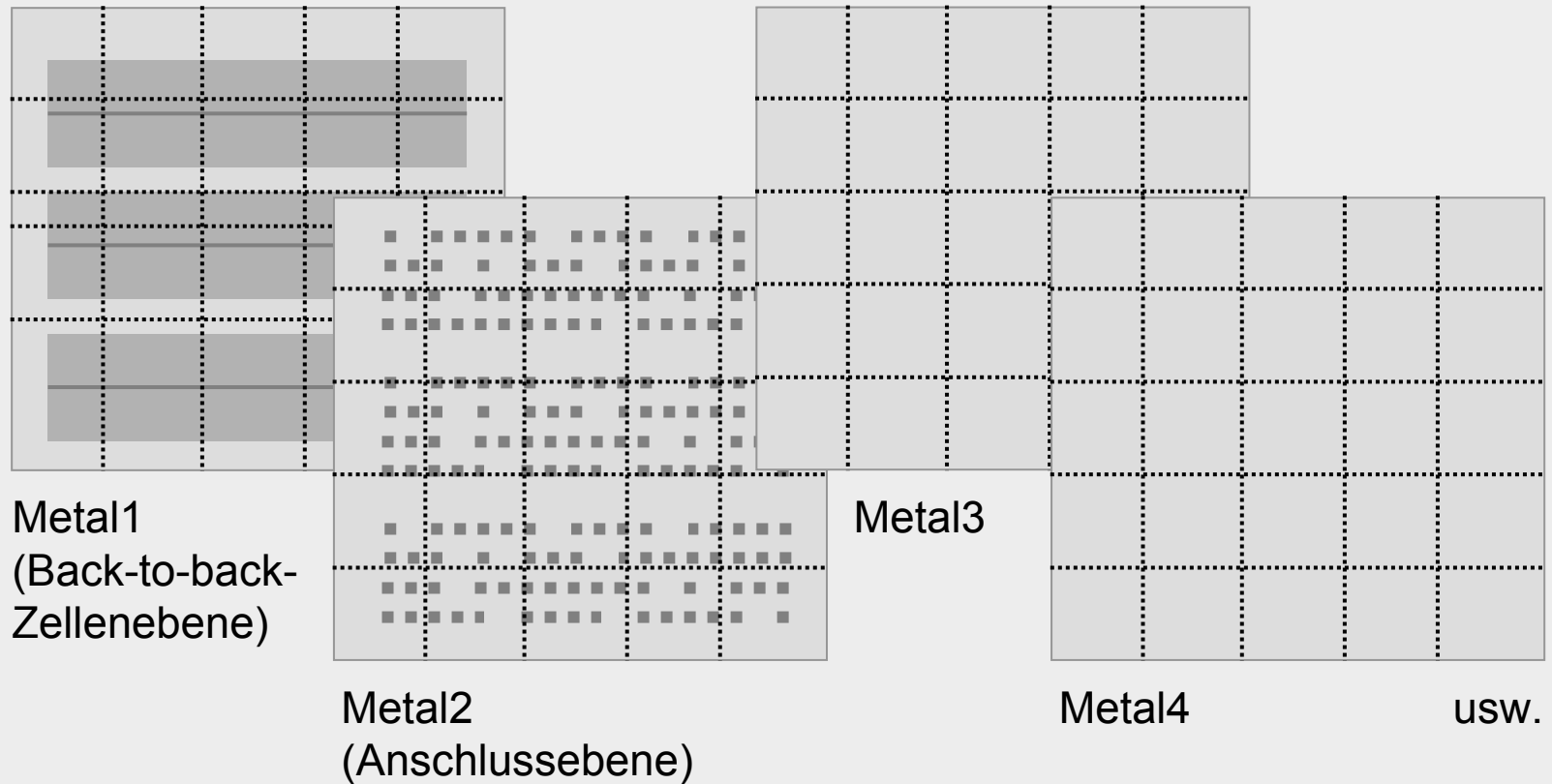
## 5.2 Begriffsbestimmungen

Verdrahtungsregion (Tile, Box)  
bei Standardzellen



## 5.2 Begriffsbestimmungen

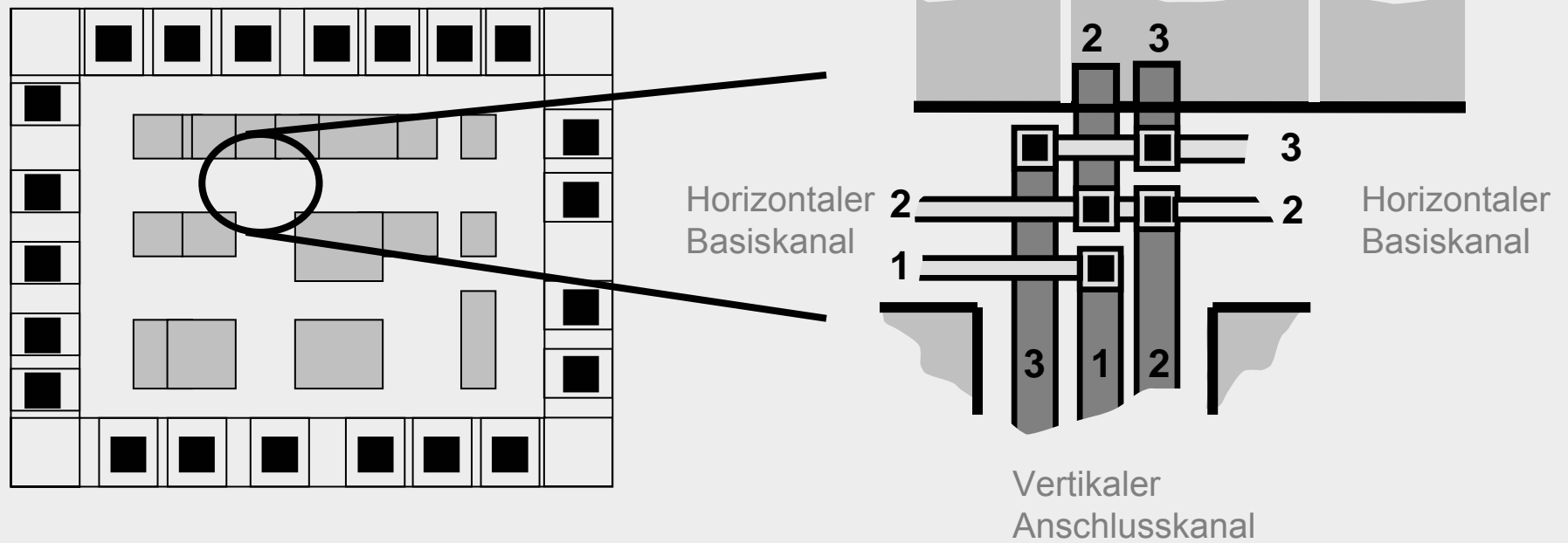
Verdrahtungsregion (Tile, Box)  
bei Back-to-back-Standardzellen





## 5.2 Begriffsbestimmungen

### T-Kreuzung (T-Junction, Zweilag-Verdrahtung)



### 5.1 Einführung

#### 5.1.1 Allgemeines Verdrahtungsproblem

#### 5.1.2 Globalverdrahtung

### 5.2 Begriffsbestimmungen

### 5.3 Optimierungsziele

#### 5.3.1 Kundenspezifischer Entwurf

#### 5.3.2 Standardzellen-Entwurf

#### 5.3.3 Gate-Array-Entwurf

### 5.4 Abbildung von Verdrahtungsregionen

### 5.5 Ablauf der Globalverdrahtung

### 5.6 Algorithmen für die Globalverdrahtung

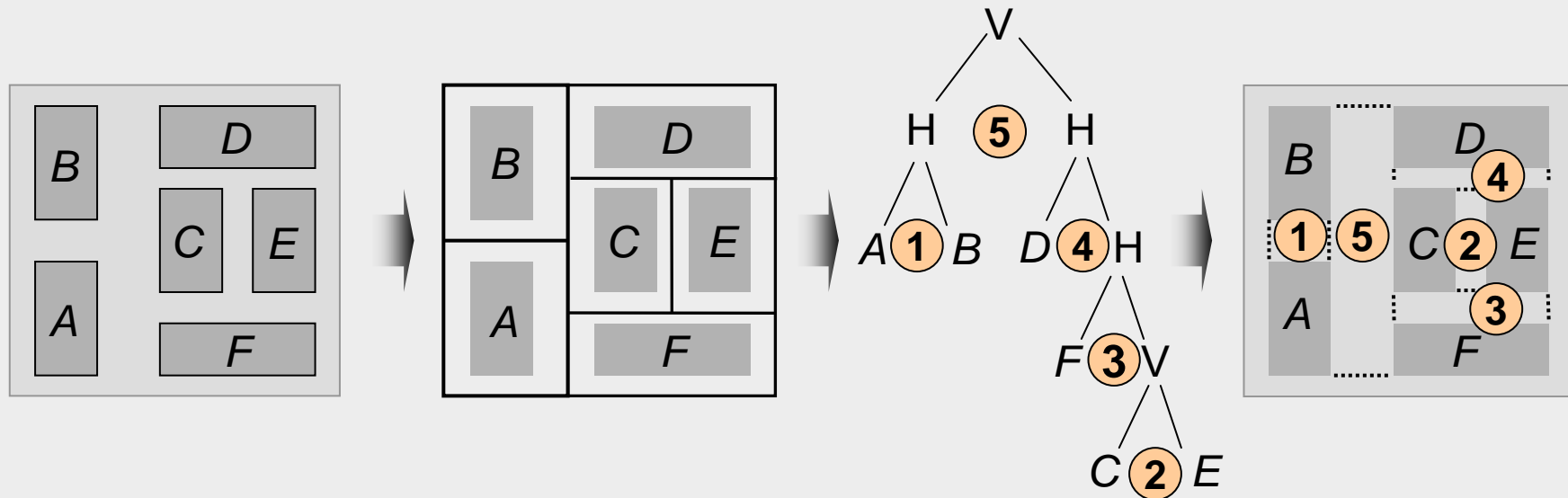
#### 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung

#### 5.6.2 Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen

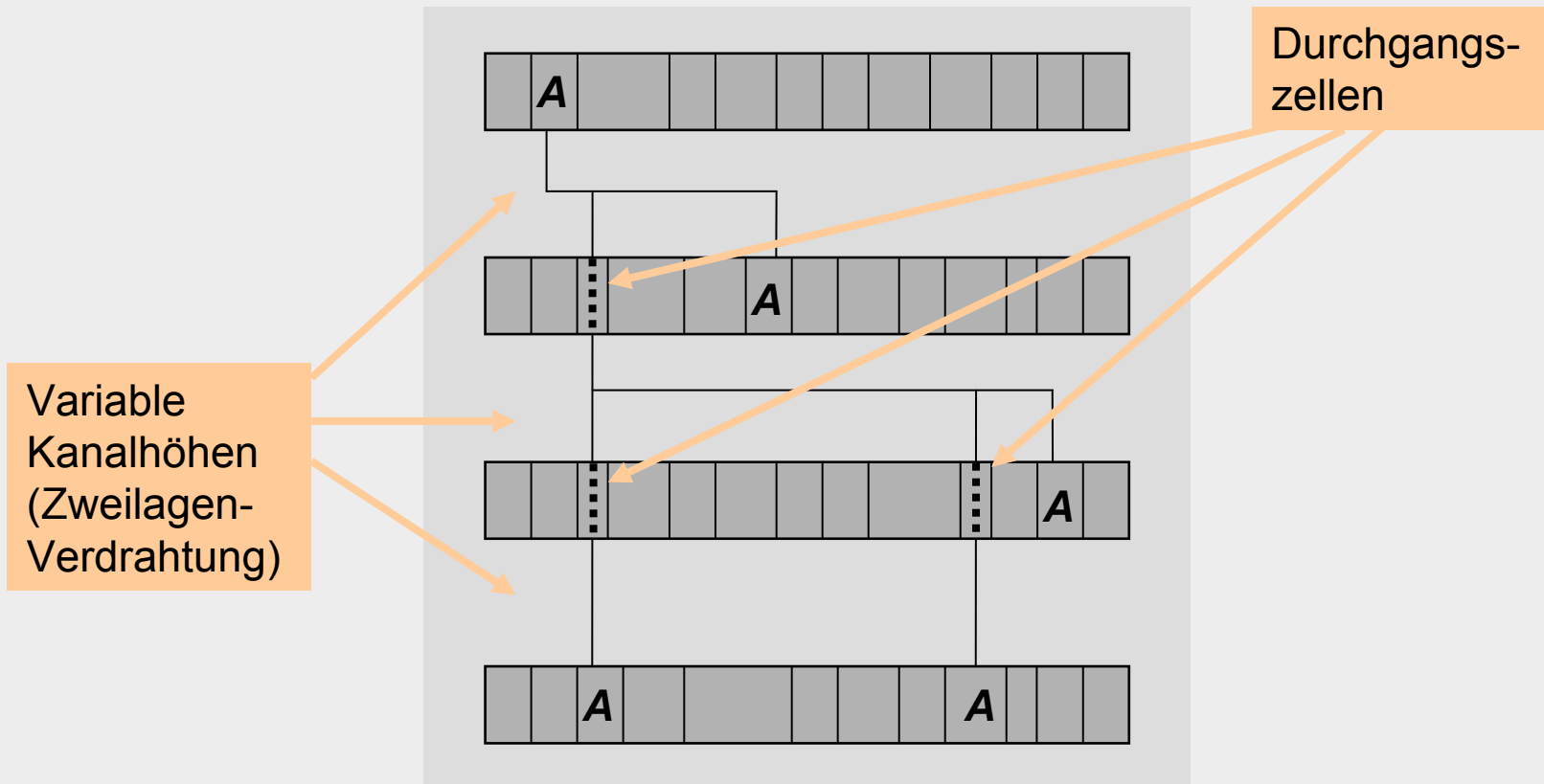
#### 5.6.3 Wegsuche mit dem Dijkstra-Algorithmus

## 5.3.1 Optimierungsziele beim kundenspezifischen Entwurf

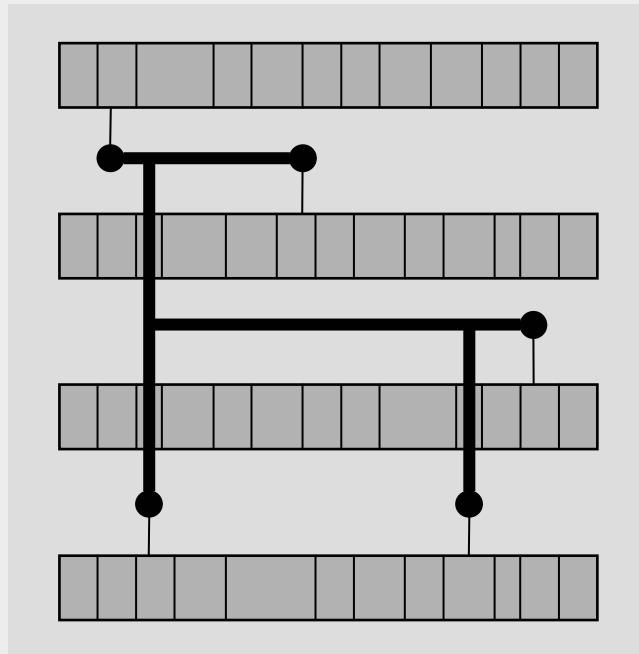
Festlegen der Verdrahtungsreihenfolge



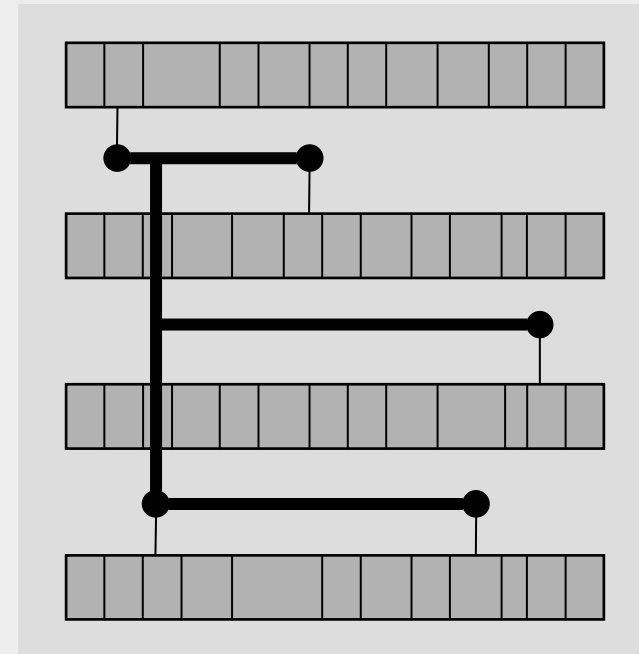
## 5.3.2 Optimierungsziele beim Standardzellen-Entwurf



## 5.3.2 Optimierungsziele beim Standardzellen-Entwurf

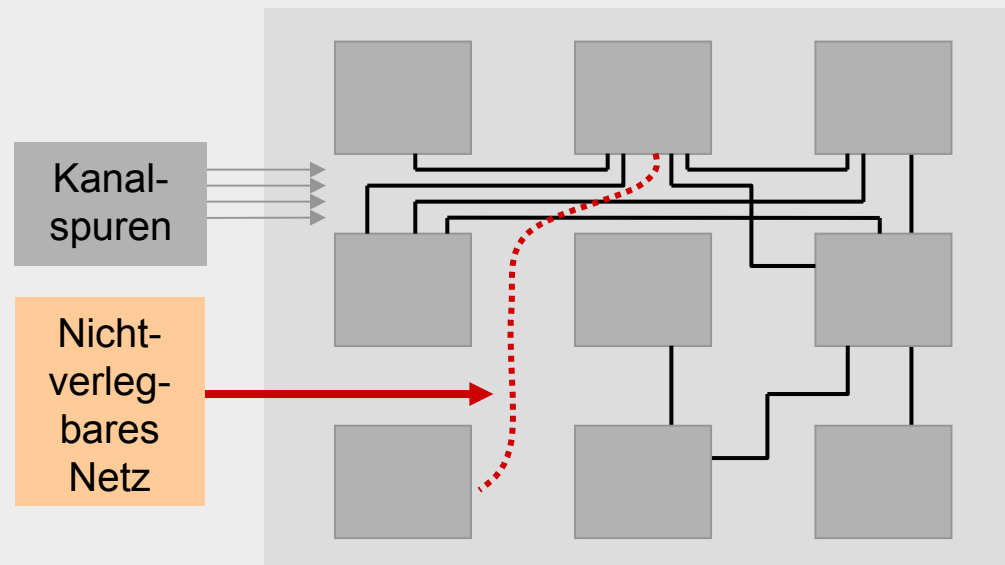


Steinerbaum mit minimaler  
Verbindungslänge



Steinerbaum mit minimaler  
Anzahl von Reihendurchquerungen

### 5.3.3 Optimierungsziele beim Gate-Array-Entwurf



### 5.1 Einführung

#### 5.1.1 Allgemeines Verdrahtungsproblem

#### 5.1.2 Globalverdrahtung

### 5.2 Begriffsbestimmungen

### 5.3 Optimierungsziele

#### 5.3.1 Kundenspezifischer Entwurf

#### 5.3.2 Standardzellen-Entwurf

#### 5.3.3 Gate-Array-Entwurf

### → 5.4 Abbildung von Verdrahtungsregionen

### 5.5 Ablauf der Globalverdrahtung

### 5.6 Algorithmen für die Globalverdrahtung

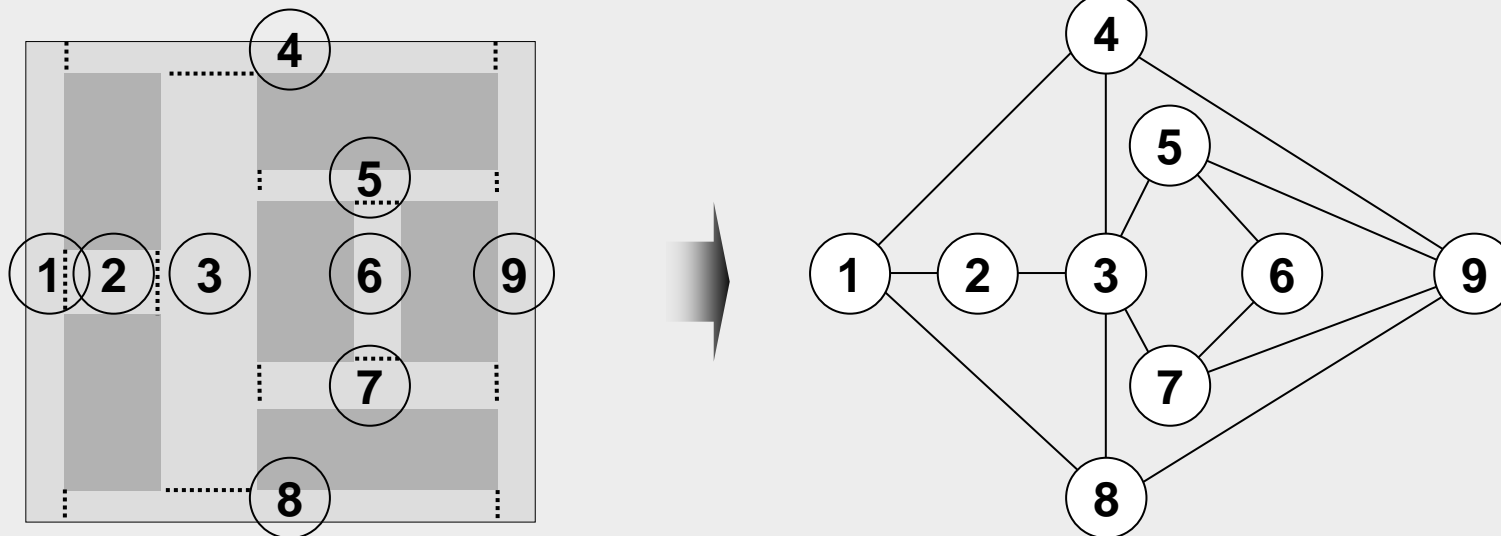
#### 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung

#### 5.6.2 Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen

#### 5.6.3 Wegsuche mit dem Dijkstra-Algorithmus

## 5.4 Abbildung von Verdrahtungsregionen

### Kanal-Verbindungsgraph (Channel Connectivity Graph)

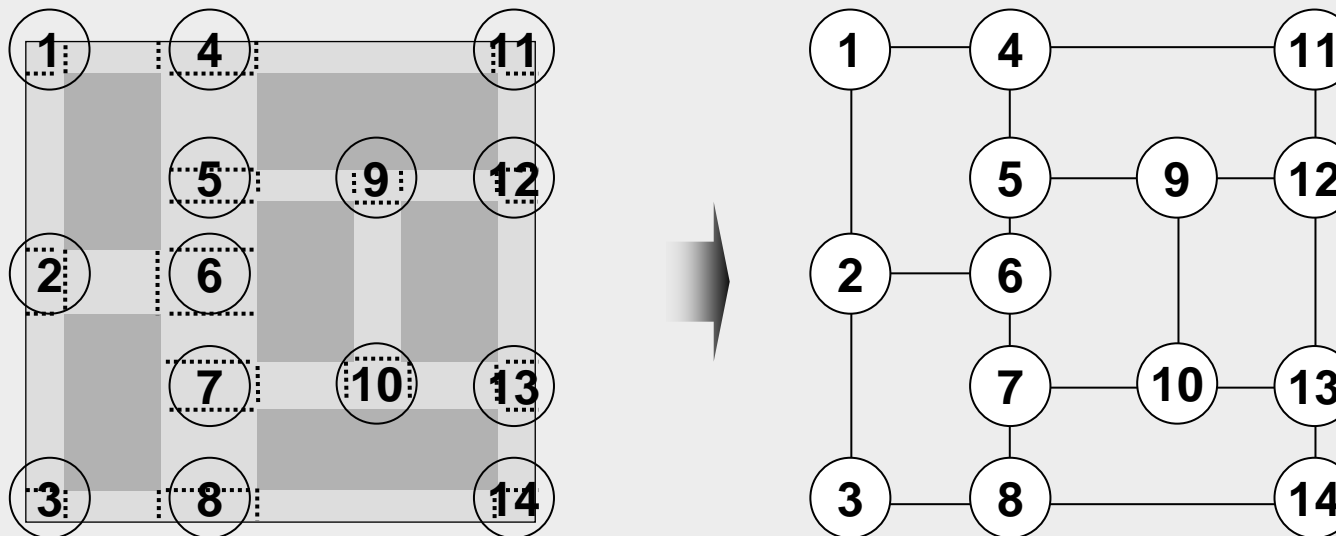


Graph  $G = (V, E)$ , wobei jeder **Kanal** durch einen Knoten  $V$  repräsentiert wird. Eine Kante  $E$  zwischen zwei Knoten modelliert die Nachbarschaft der durch die Knoten repräsentierten Kanäle.



## 5.4 Abbildung von Verdrahtungsregionen

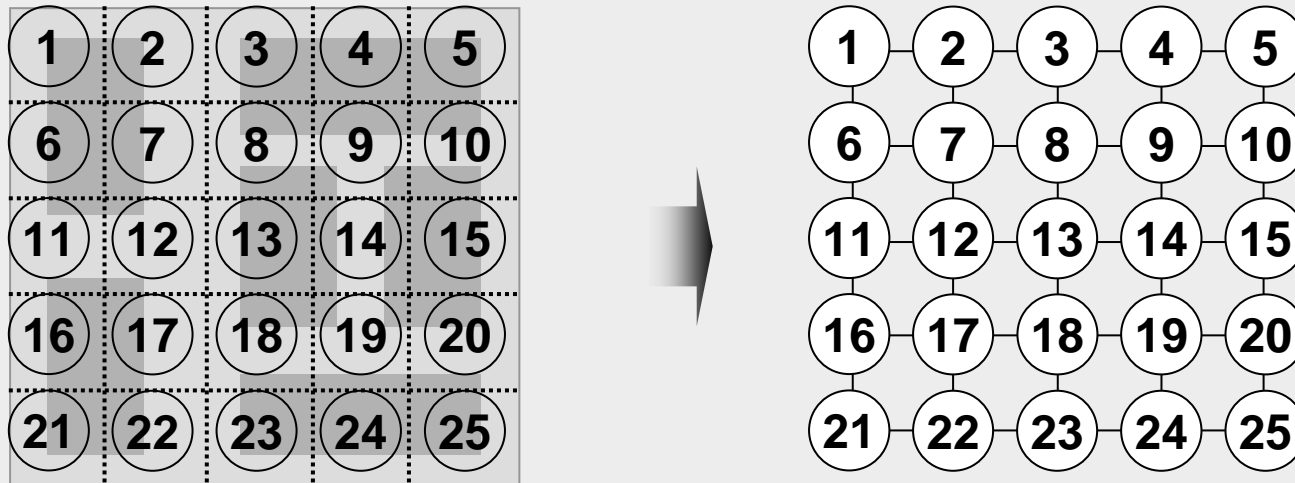
### Switchbox-Verbindungsgraph (Channel Intersection Graph)



Graph  $G = (V, E)$ , wobei die **Switchboxen** als Knoten  $V$  modelliert werden. Zwischen den Knoten befindet sich eine Kante  $E$ , wenn sich die Switchboxen auf gegenüberliegenden Seiten ein und desselben Kanals befinden.

## 5.4 Abbildung von Verdrahtungsregionen

Gittergraph (Grid Graph Model)



Graph  $G = (V, E)$ , wobei sog. globale Zellen, welche **gleichverteilte Layoutbereiche** darstellen, durch Knoten  $V$  und ihre Nachbarschaft durch Kanten  $E$  modelliert werden.

## 5.5 Ablauf der Globalverdrahtung

1. Festlegung der Verdrahtungsregionen (Region definition)
2. Zuordnung der Netze zu den Verdrahtungsregionen (Region assignment)
3. Evtl. Anschluss-Zuweisung (Pin assignment)

### 5.1 Einführung

#### 5.1.1 Allgemeines Verdrahtungsproblem

#### 5.1.2 Globalverdrahtung

### 5.2 Begriffsbestimmungen

### 5.3 Optimierungsziele

#### 5.3.1 Kundenspezifischer Entwurf

#### 5.3.2 Standardzellen-Entwurf

#### 5.3.3 Gate-Array-Entwurf

### 5.4 Abbildung von Verdrahtungsregionen

### 5.5 Ablauf der Globalverdrahtung

### 5.6 Algorithmen für die Globalverdrahtung

#### 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung

#### 5.6.2 Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen

#### 5.6.3 Wegsuche mit dem Dijkstra-Algorithmus

## 5.6 Algorithmen für die Globalverdrahtung

- **Sequentielle Netzbetrachtung**, wie z.B. Steinerbaum-Verdrahtung, Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen und mittels des Dijkstra-Algorithmus, bei denen die Netze nacheinander verdrahtet werden.
- **Parallele Netzbetrachtung** durch hierarchische Aufteilung (Hierarchical decomposition) des Layouts in sukzessive immer kleinere „Quadranten“. In jedem Schritt erfolgt eine Zuweisung der Netze auf diese Regionen (Parallelbearbeitung von Netzen).
- **Numerische Methoden**, bei denen das Globalverdrahtungsproblem in Form eines Gleichungssystems abgebildet wird. Damit lassen sich jeweils sämtliche Verdrahtungswege eines Netzes betrachten.
- **Stochastische Wegsuche-Algorithmen**, wie z.B. Simulated Annealing und evolutionäre Algorithmen.

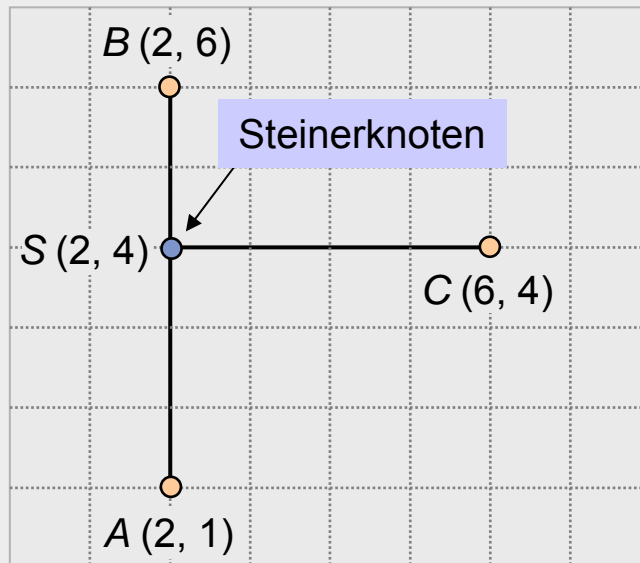
## 5.6 Algorithmen für die Globalverdrahtung

- Steinerbaum-Verdrahtung
- Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen
- Dijkstra-Algorithmus

## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung

### Vorbemerkungen

- Gegeben seien die  $p$  Pins eines Netzes auf einem HV-Raster. Ein Rasterbaum heißt **rektilinearer Steinerbaum (RST)**, wenn er alle  $p$  Pins und beliebig viele Rasterpunkte als Knoten enthält. Knoten des RST, die nicht Pins des Netzes sind, heißen **Steinerknoten**.



○ Pinknoten

## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung

### Vorbemerkungen

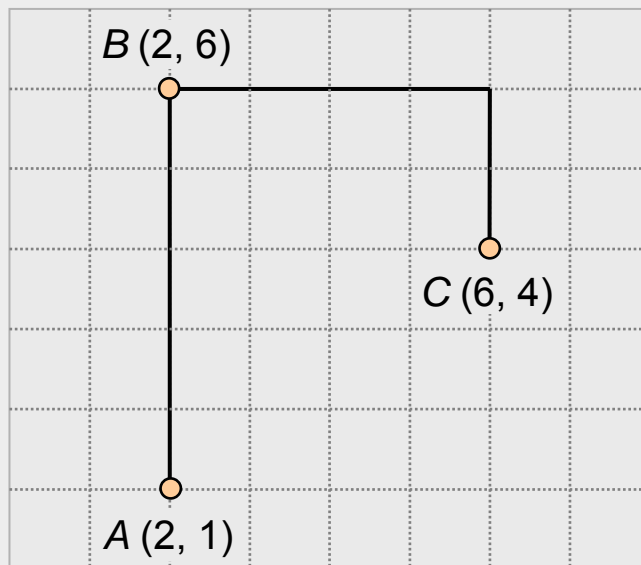
- Gegeben seien die  $p$  Pins eines Netzes auf einem HV-Raster. Ein Rasterbaum heißt **rektilinearer Steinerbaum (RST)**, wenn er alle  $p$  Pins und beliebig viele Rasterpunkte als Knoten enthält. Knoten des RST, die nicht Pins des Netzes sind, heißen **Steinerknoten**.

### Eigenschaften des minimalen rektilinearen Steinerbaums (MRST):

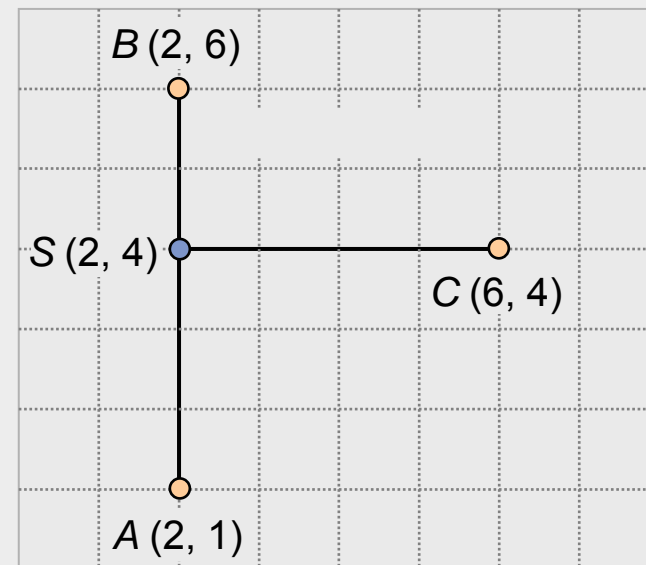
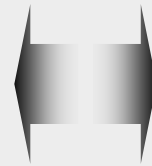
- Die Zahl  $s$  der Steinerknoten ist  $0 \leq s \leq p-2$  ( $p$  ... Anzahl der Pin-knoten)
- Der Knotengrad von Pin-knoten ist 1, 2, 3 oder 4, der Knotengrad von Steinerknoten 3 oder 4
- Der MRST eines Netzes liegt stets innerhalb des umschließenden Rechtecks aller Pins dieses Netzes
- Für die Länge gilt  $L_{\text{MRST}} \geq L_{\text{MR}}$  ( $L_{\text{MR}}$  ... halber Umfang des umschließenden Rechtecks)



## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung



Minimaler rektilinearer  
Spannbaum



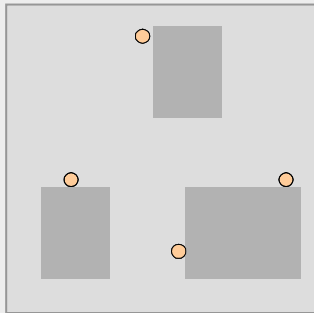
Minimaler rektilinearer  
Steinerbaum (MRST)

## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung

### Hanan-Punkte (Hanan Points)

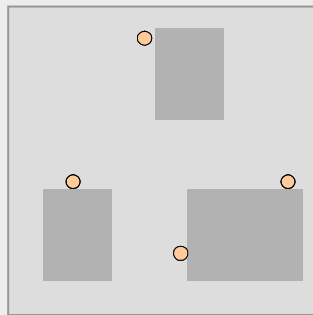
- Zur Erzeugung eines minimalen Steinerbaums aus einem Spannbaum sind Steinerknoten einzuführen, welche die Gesamtverbindungslänge verkürzen
- M. Hanan zeigte 1966, dass sämtliche Steinerknoten eines optimalen rektilinearen Steinerbaumes auf den Kreuzungspunkten der Gitterlinien liegen, die von den Pincknoten gebildet werden
- Diese Punkte werden als Hanan-Punkte bezeichnet
- Damit können alle weiteren Punkte ignoriert werden, was den Suchraum stark einschränkt

## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung

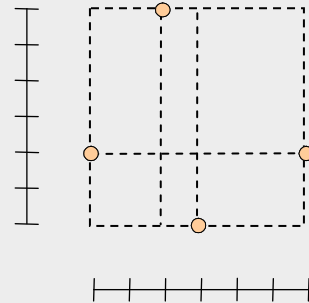


Pinknoten

## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung

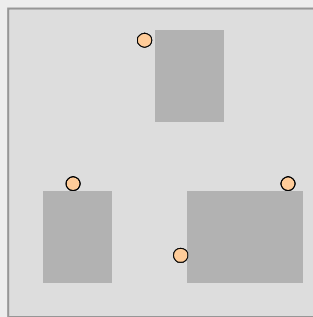


Pinknoten

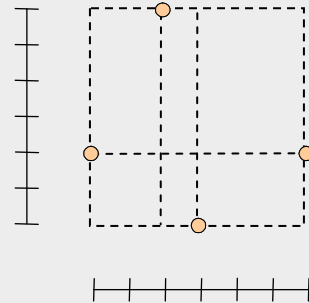


Gitterlinien

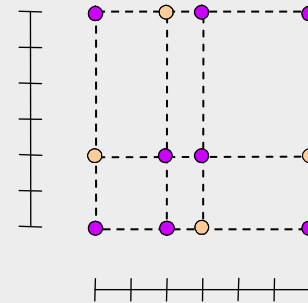
## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung



Pinknoten

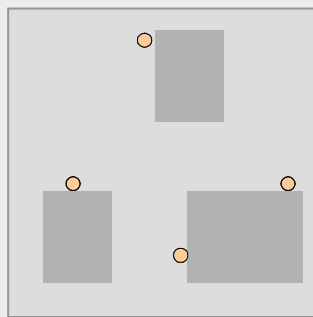


Gitterlinien

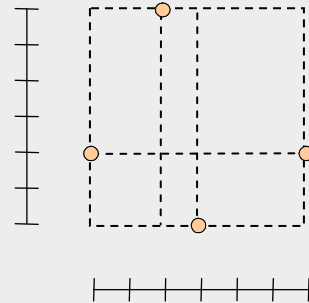


Hanan-Punkte (•)

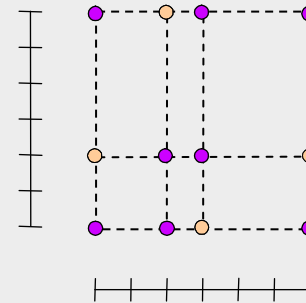
## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung



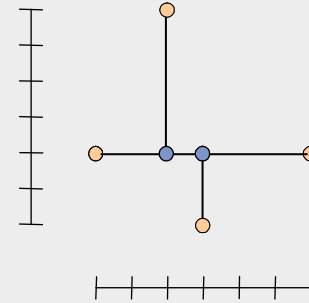
Pinknoten



Gitterlinien

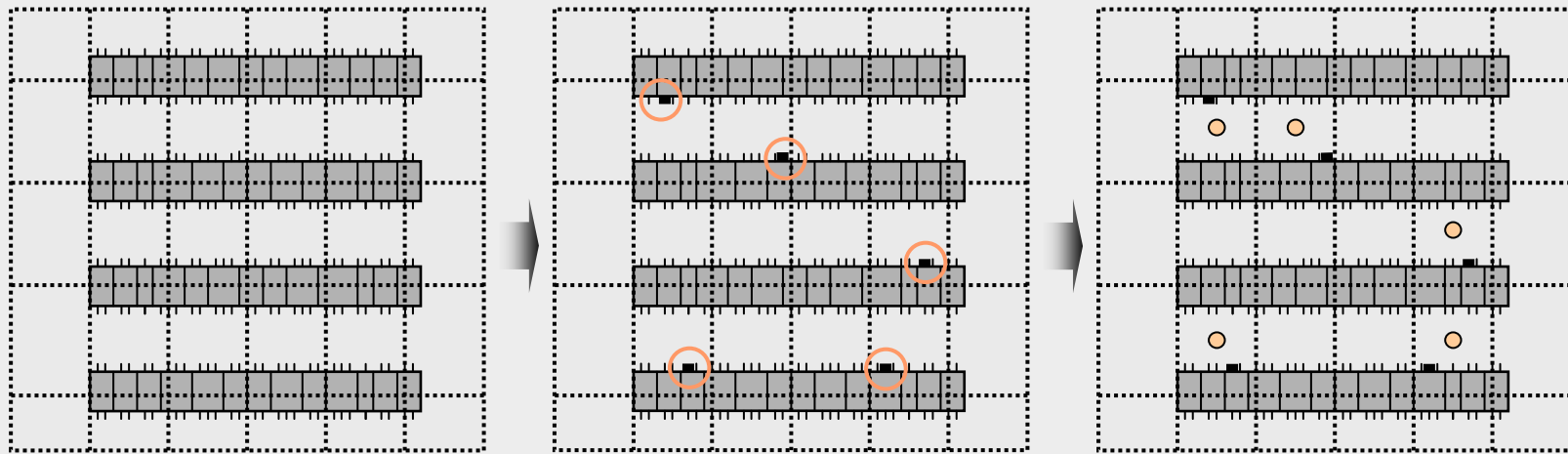


Hanan-Punkte (•)



Minimaler rektilinearer Steinerbaum

## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung

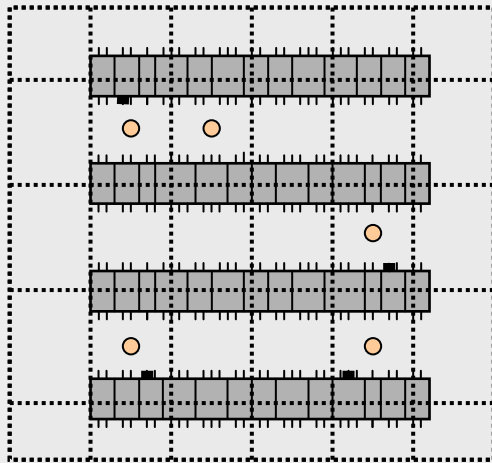


Globale Zellen

Netzanschlüsse

Netzanschlüsse im Zellenmittelpunkt

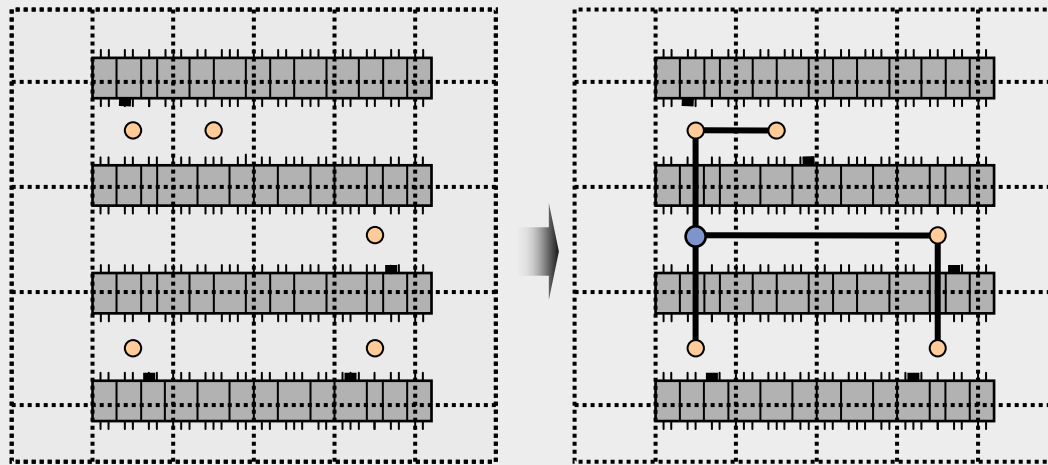
## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung



Steinerbaum-Anschluss-  
Punkte (Pinknoten)



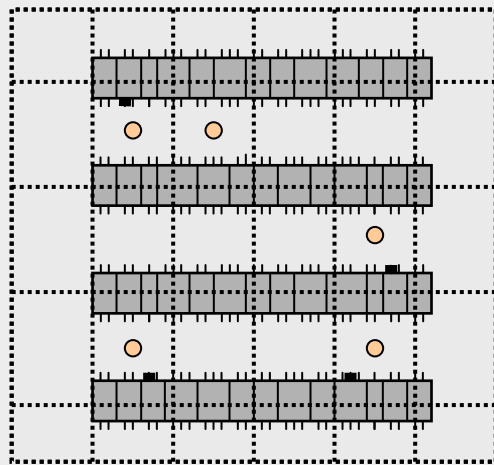
## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung



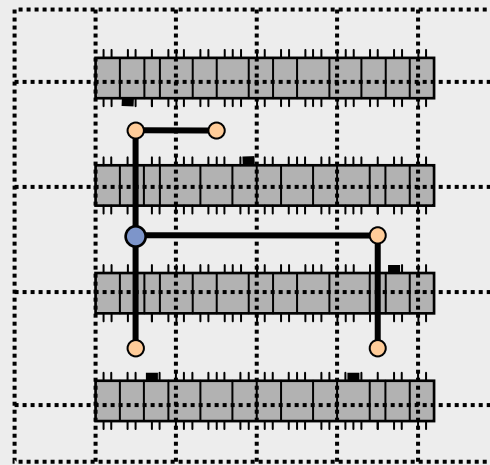
Steinerbaum-Anschluss-  
Punkte (Pinknoten)

Minimaler rektilinearer  
Steinerbaum

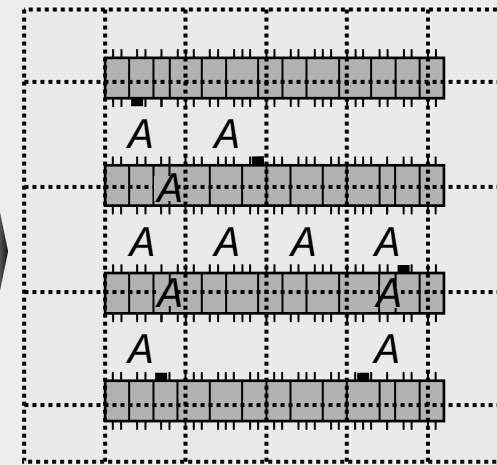
## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung



Steinerbaum-Anschluss-Punkte (Pinknoten)

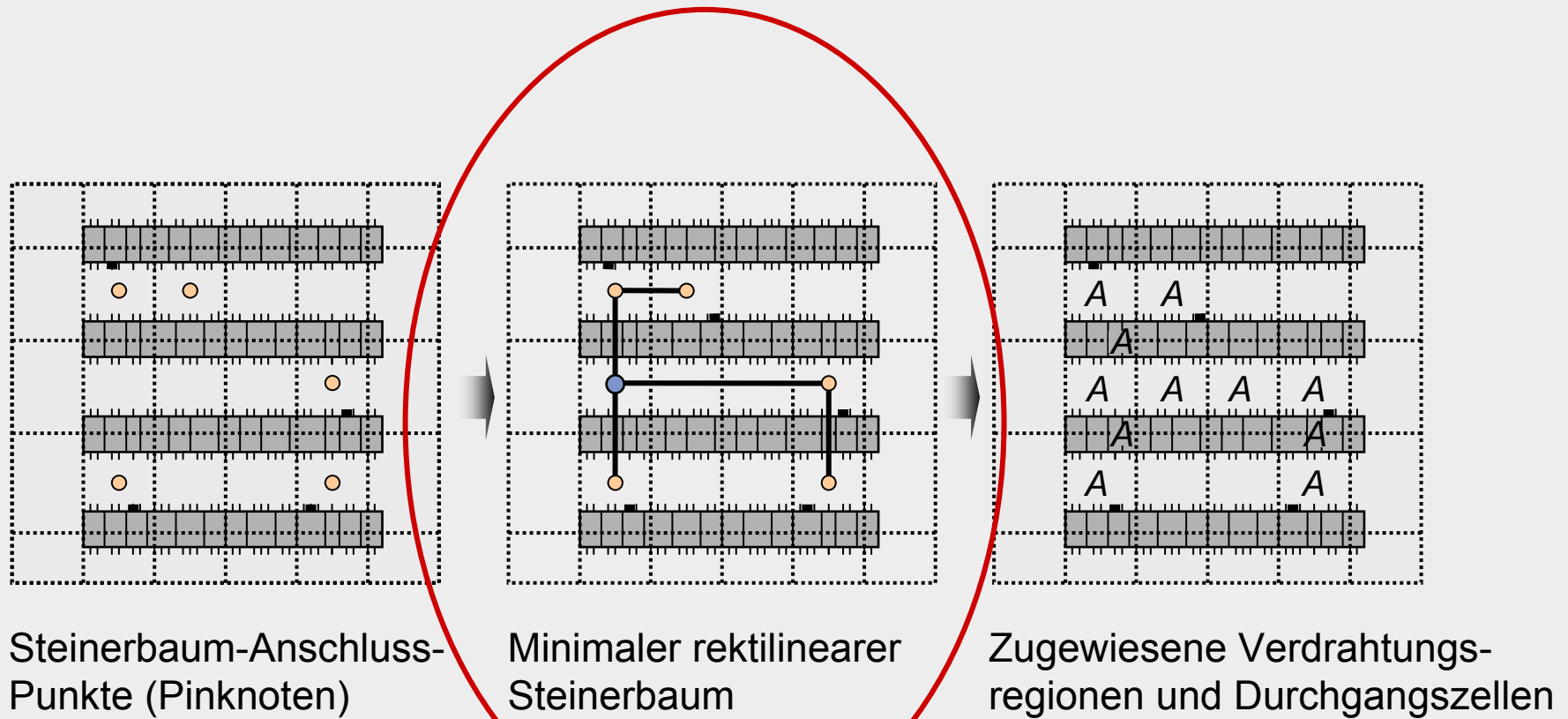


Minimaler rektilinearer Steinerbaum



Zugewiesene Verdrahtungsregionen und Durchgangszellen

## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung



Sequentieller Steinerbaum-Algorithmus

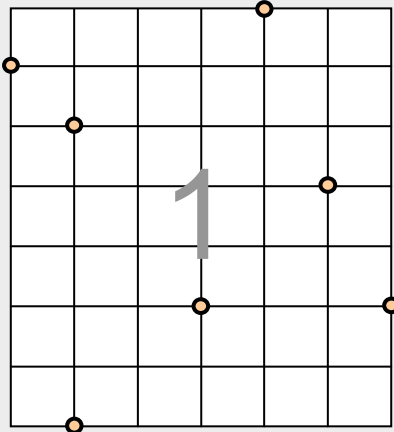
### Sequentieller Steinerbaum-Algorithmus

- Sequentielle Einbeziehung von Pin- und Hanan-Punkten in den Baufaufbau
- Optimaler Steinerbaum bei bis zu vier Pinanschlüssen

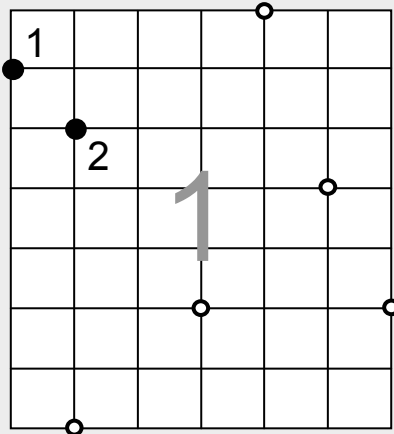
### Sequentieller Steinerbaum-Algorithmus

1. Ermitteln des Anschlusspaars mit minimalem Manhattan (M)-Abstand und Erzeugung des minimal umschreibenden Rechtecks (MR), d.h. Generierung von (höchstens) zwei alternativen minimalen rektilinearen Steinerbäumen (MRST).
2. Bestimmen des Anschlusses mit minimalem M-Abstand zur aktuellen MRST-Menge, Verbinden dieses Anschlusses durch minimale M-Pfade auf dem MR (es gibt höchstens zwei).
3. Falls der in Schritt 2 erzeugte M-Pfad im Steinerknoten einer von zwei MRST-Alternativen endet, Löschen der anderen (Eliminierung einer Masche im Graphen der MRST-Menge).
4. Falls noch nicht alle Anschlüsse abgearbeitet sind: Wenn mehr als zwei Maschen existieren, Löschen von willkürlich einer MRST-Alternative und weiter mit Schritt 2. Andernfalls, d.h. alle Anschlüsse wurden abgearbeitet, Eliminieren aller noch vorhandenen Maschen durch Löschen je einer MRST-Alternative.  
ENDE.

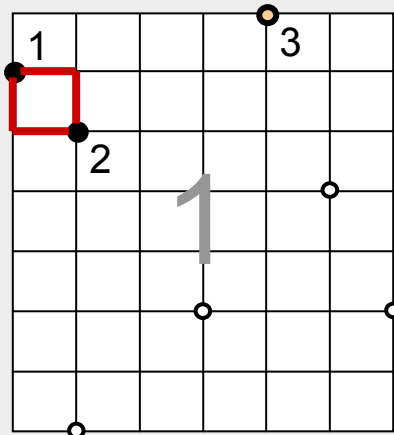
## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung: Beispiel



## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung: Beispiel

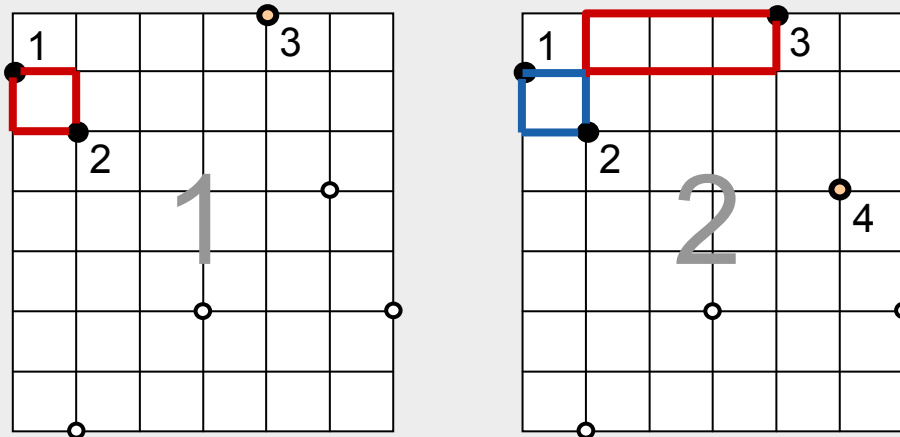


## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung: Beispiel

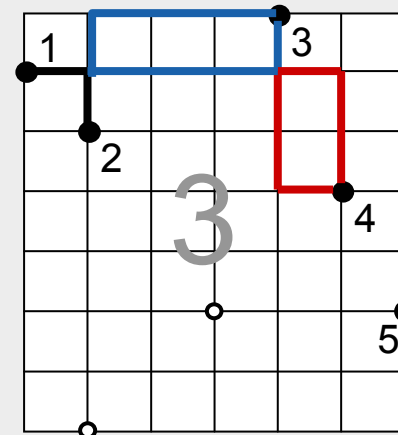
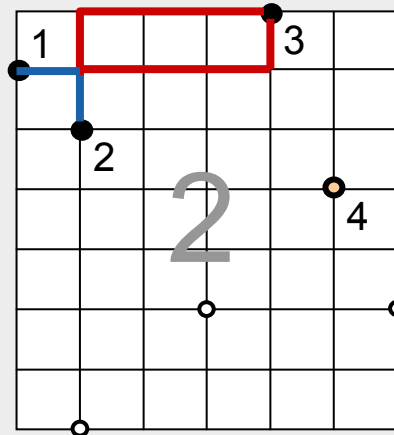
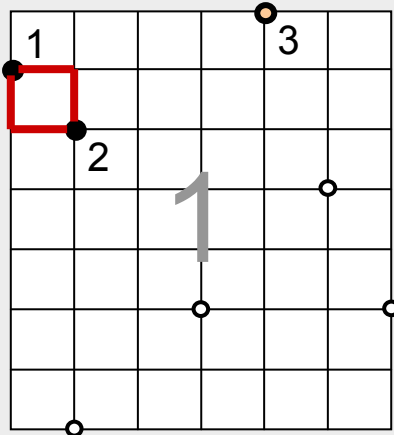




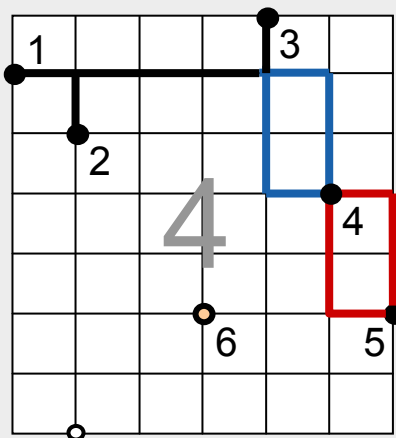
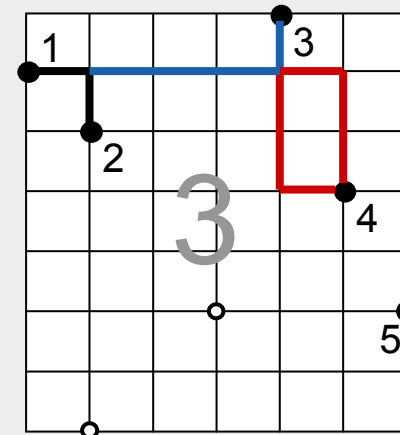
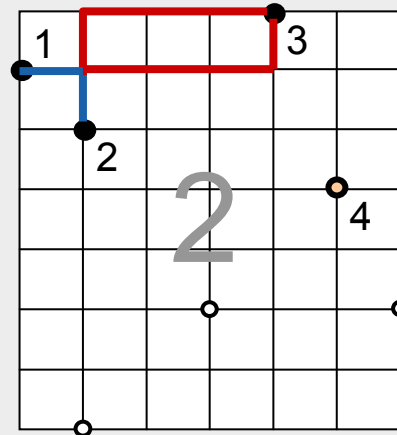
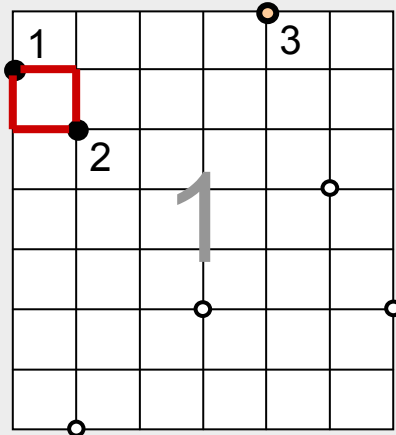
## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung: Beispiel



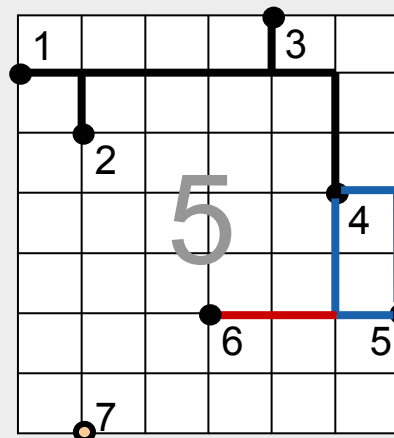
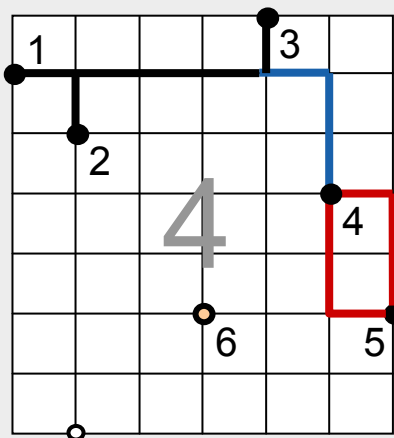
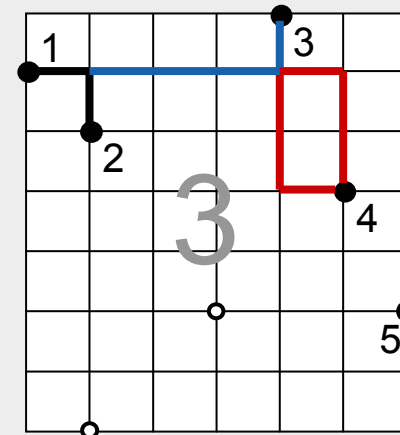
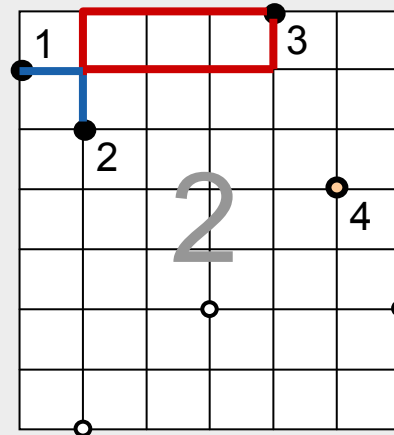
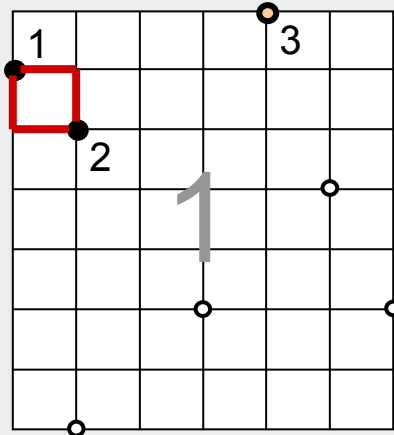
## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung: Beispiel



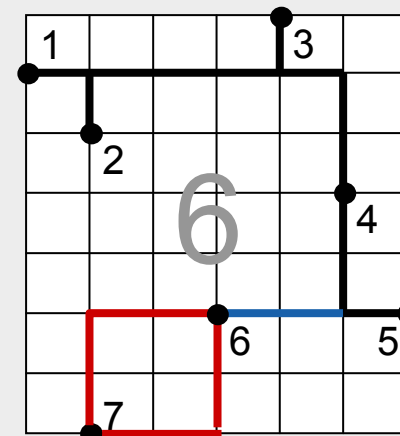
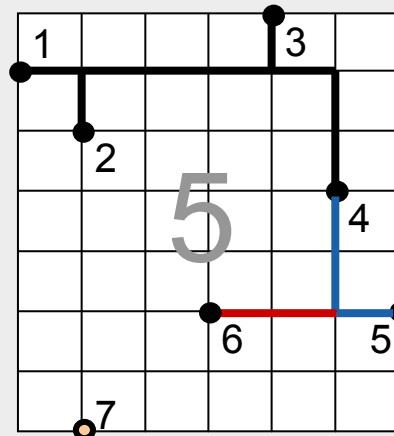
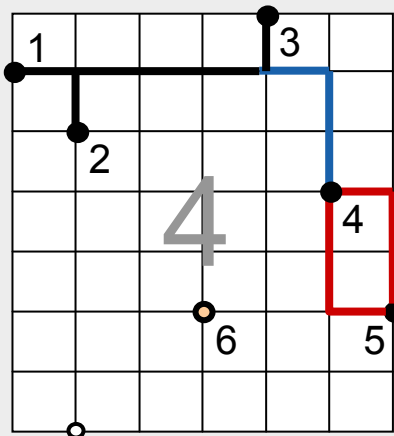
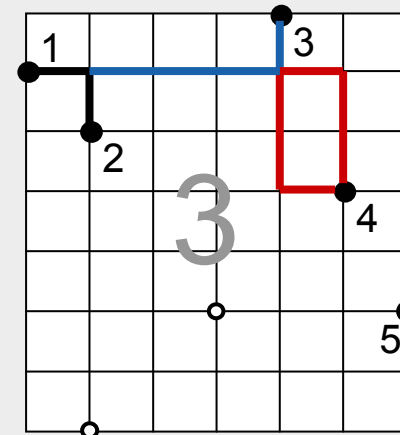
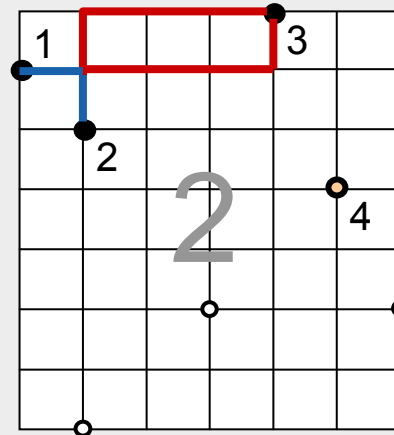
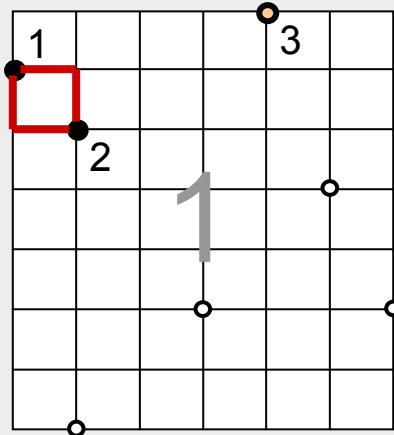
## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung: Beispiel



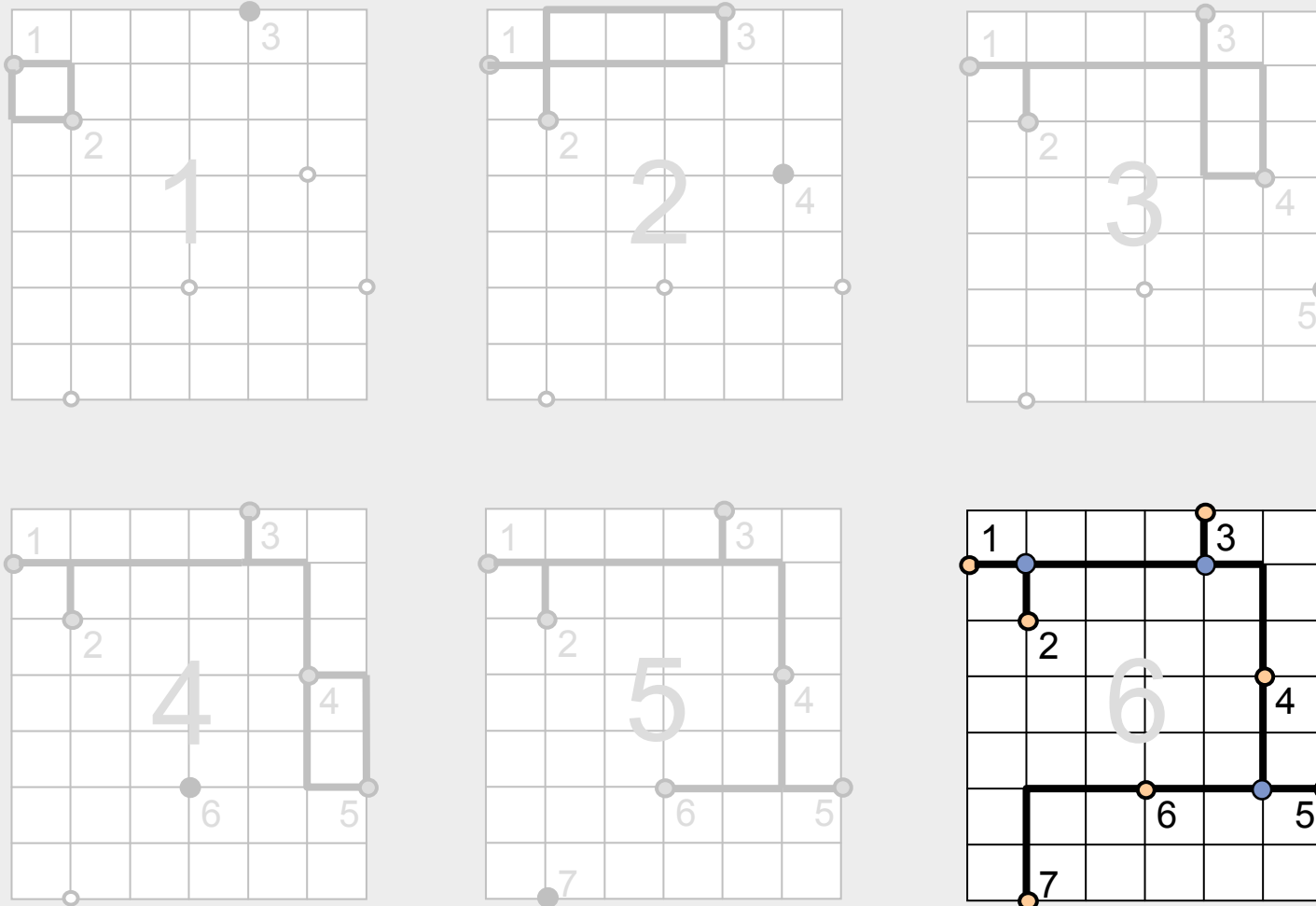
## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung: Beispiel



## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung: Beispiel

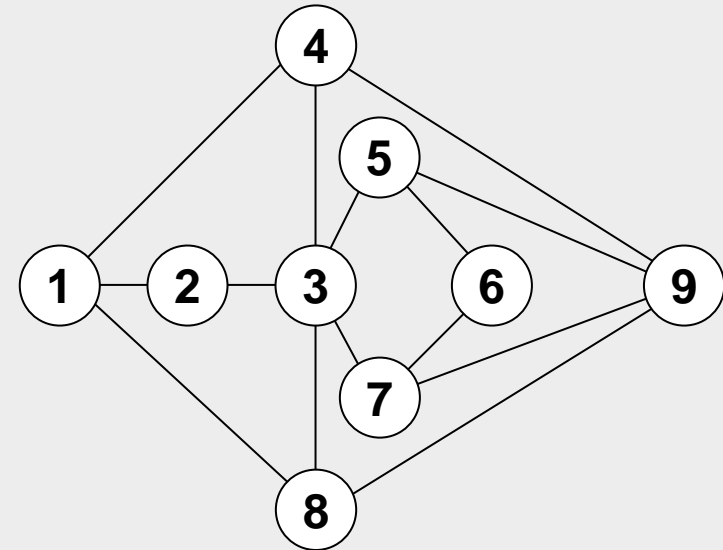
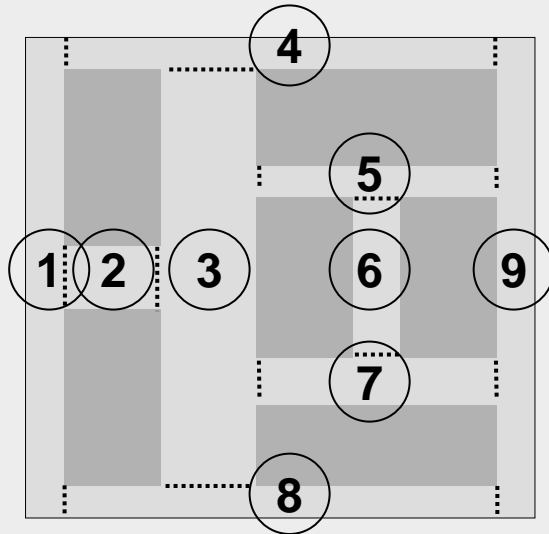


## 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung: Beispiel

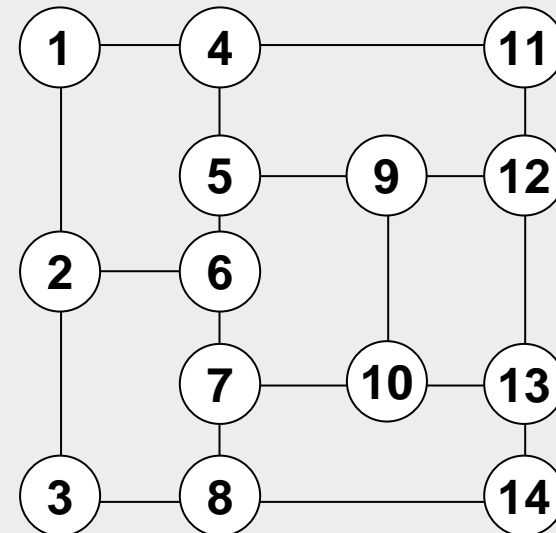
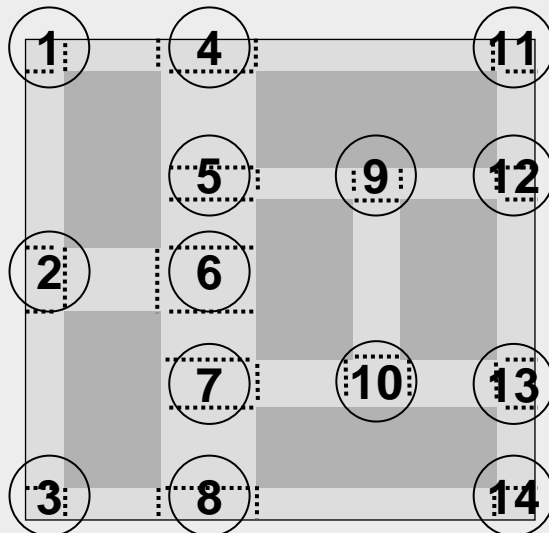


## 5.6.2 Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen

Kanal-  
Verbindungs-  
graph

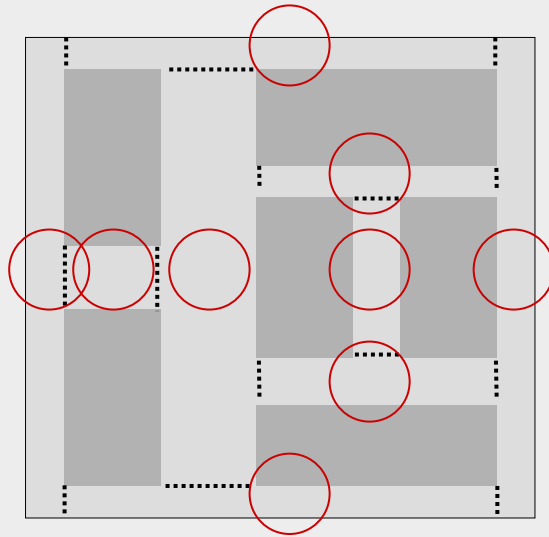


Switchbox-  
Verbindungs-  
graph

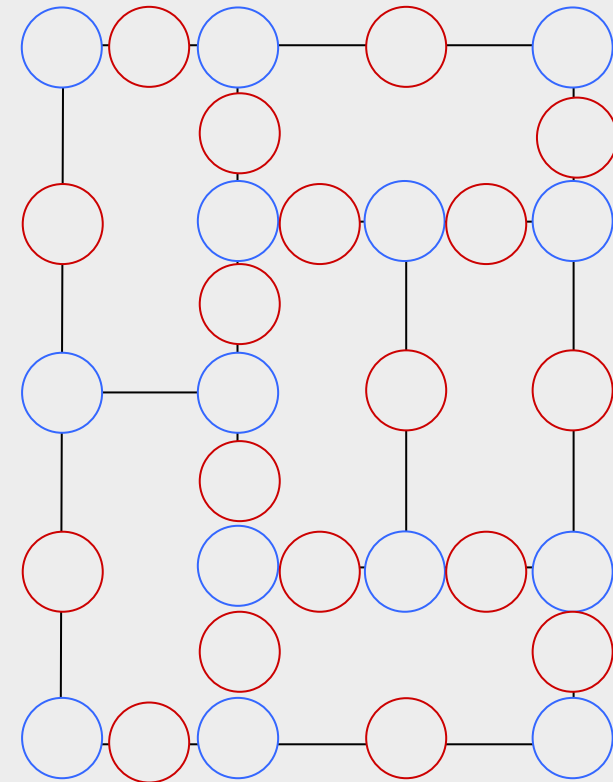
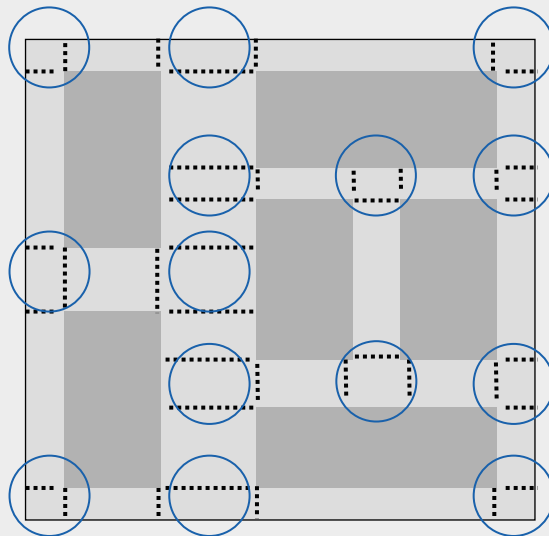


## 5.6.2 Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen

Kanal-  
Verbindungs-  
graph



Switchbox-  
Verbindungs-  
graph

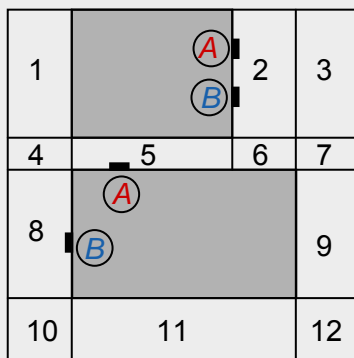




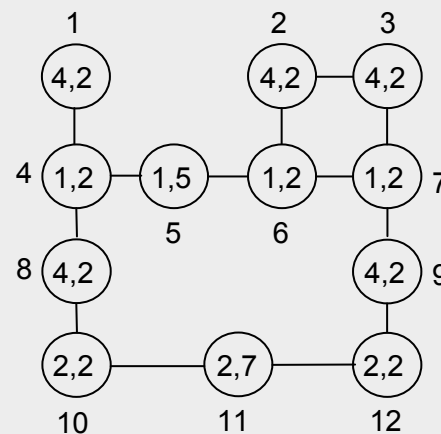
## 5.6.2 Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen

- Rothermel und Mlynski, 1983
- Berücksichtigt ungleichförmige Zellen/Bauelemente, daher für kundenspezifischen IC-Entwurf und MCMs geeignet

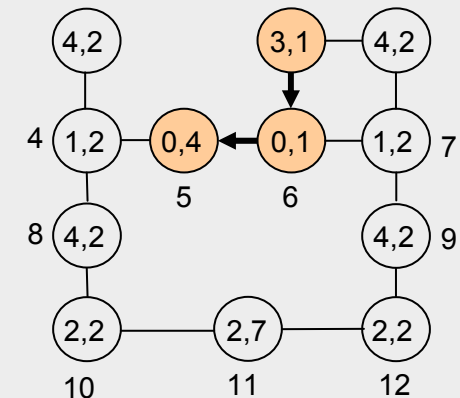
Ablauf (Übersicht):



(1) Verdrahtungsregionen



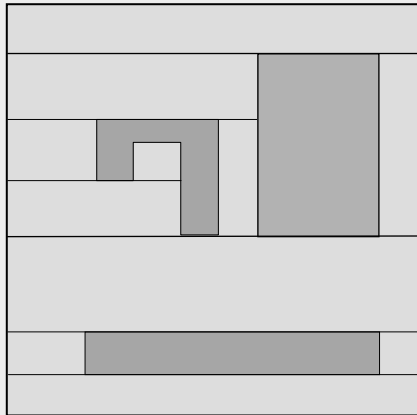
(2) Graphendarstellung



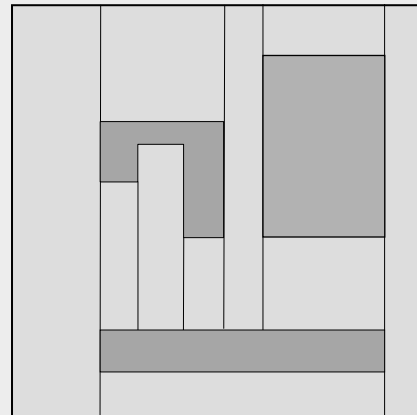
(3) Wegsuche im Graphen

## 5.6.2 Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen

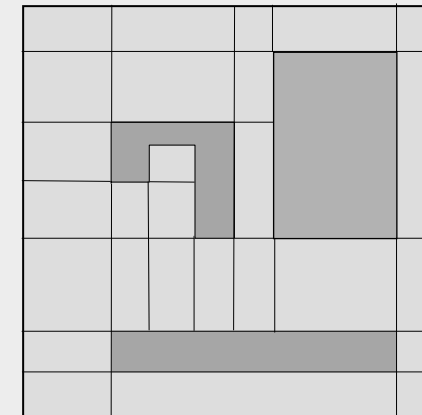
### Verdrahtungsregionen



Horizontale Zellenkanten



Vertikale Zellenkanten

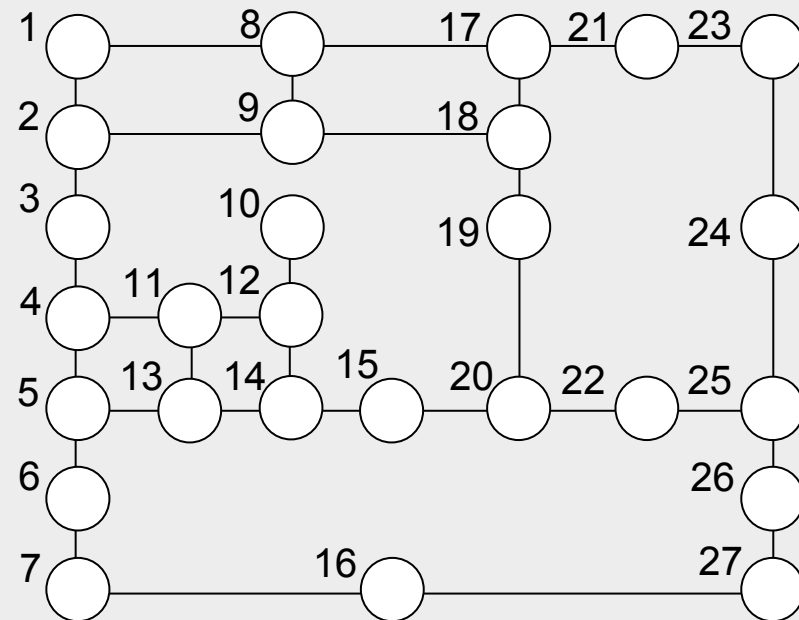


Zweidimensionales Kanalmodell

## 5.6.2 Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen

Graphendarstellung

1	8	17	21	23		
2	9	18				
3					24	
4	11	12				
5	13	14	15	20	22	25
6						26
7		16				27



## 5.6.2 Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen

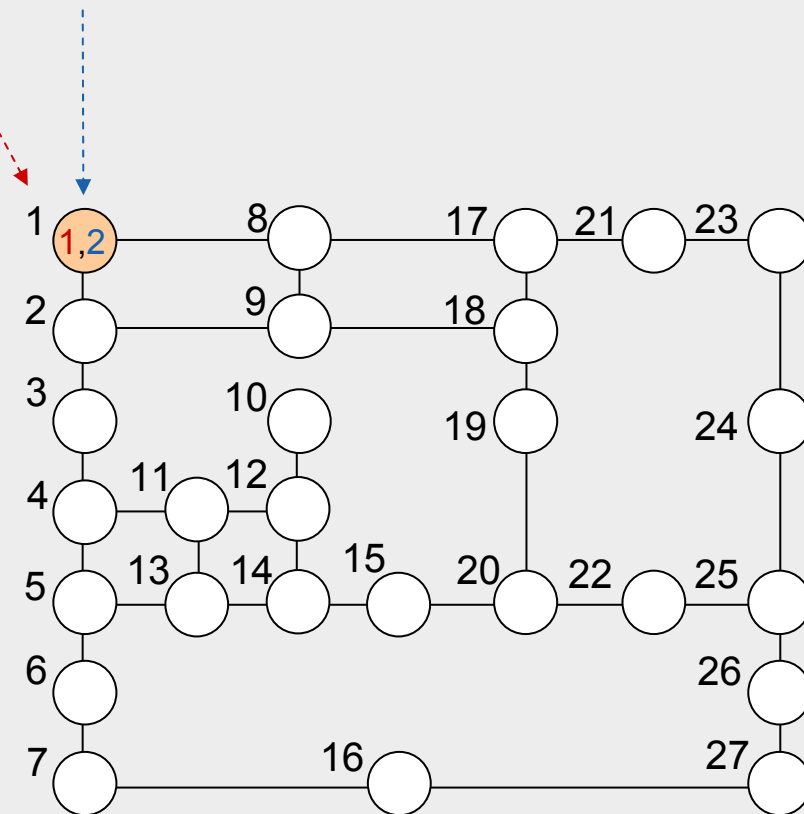
Horizontale Aufnahmekapazität  
der Region 1

Vertikale Aufnahmekapazität  
der Region 1

2 Spuren

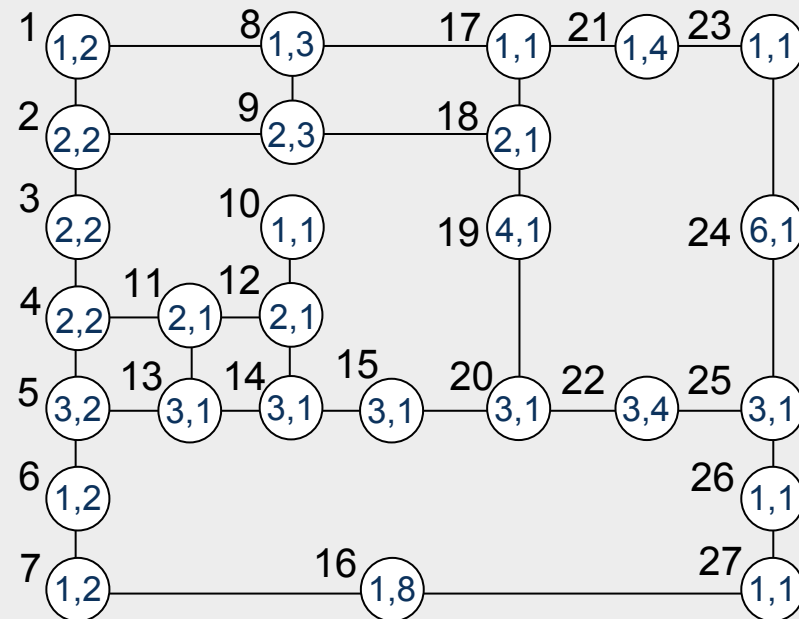
1 Spur

1	8	17	21	23		
2	9	18				
3		10	19	24		
4	11	12				
5	13	14	15	20	22	25
6						26
7		16				27



## 5.6.2 Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen

1	8	17	21	23
2	9	18		
3				24
4	11	12		
5	13	14	15	20
6				
7		16		

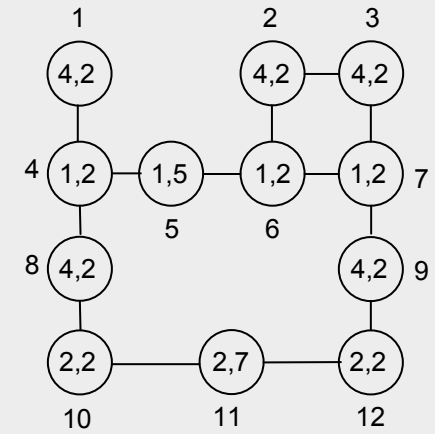
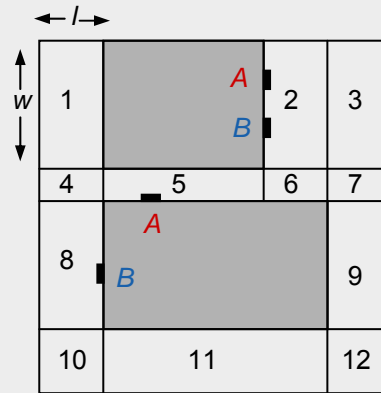


### Ablauf

1. Festlegen der Verdrahtungsregionen und Abbildung in einem Verbindungsgraphen
2. Festlegen der Netzreihenfolge
3. Anschluss-Reservierung für alle Netze
4. Netzauswahl und Globalverdrahtung dieses Netzes:
  - a) Aufheben der Anschluss-Reservierungen
  - b) Auswahl einer zu verdrahtenden 2-Punkt-Verbindung
  - c) Suchen des kürzesten Pfads im Verbindungsgraphen. ABBRUCH, falls kein Weg existiert, sonst weiter mit Schritt d
  - d) Aktualisierung der Verdrahtungskapazitäten entsprechend der durch den Pfad benötigten Ressourcen
  - e) Falls noch nicht alle Pins des Netzes abgearbeitet sind, weiter mit Schritt b
5. Falls noch nicht alle Netze verdrahtet sind, weiter mit Schritt 4, sonst ENDE.

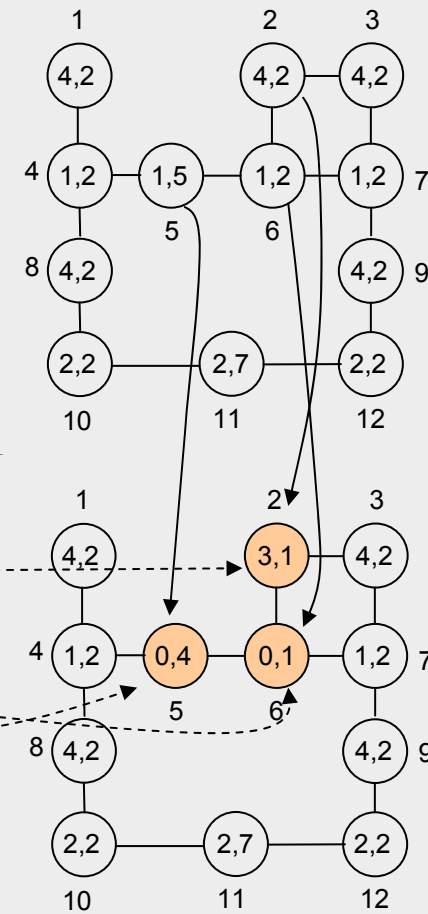
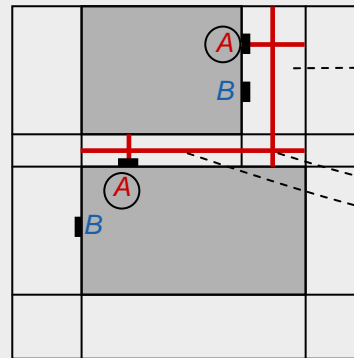
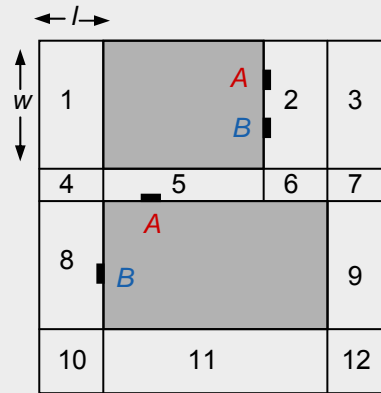
Beispiel

Globalverdrahtung der Netze A-A und B-B



## Beispiel

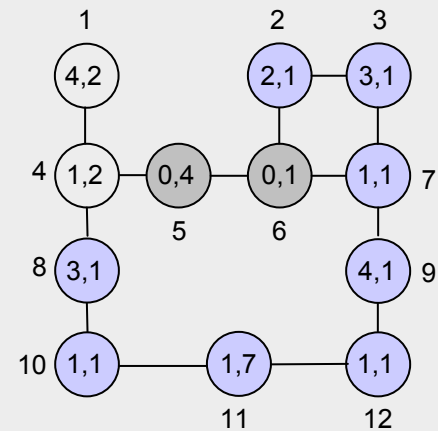
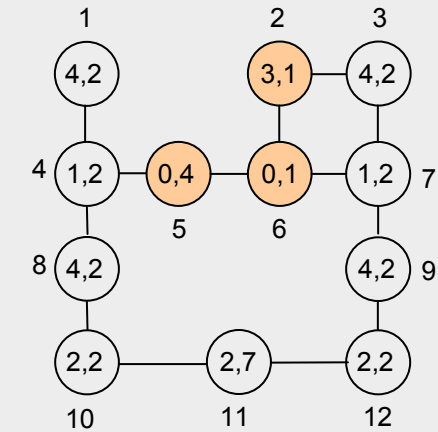
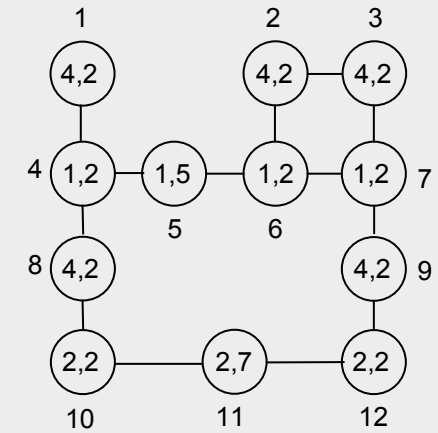
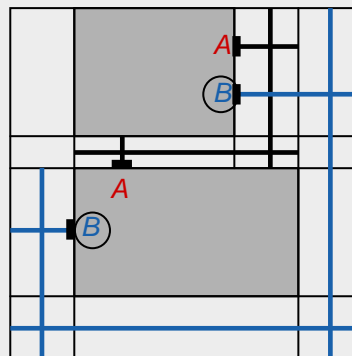
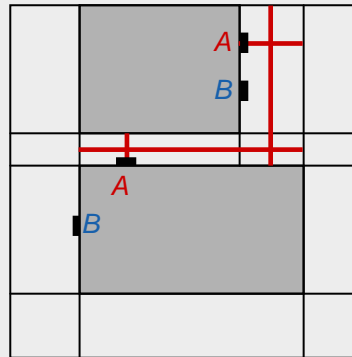
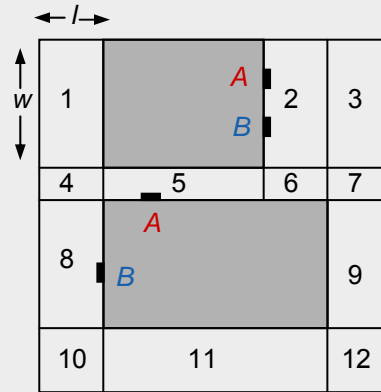
Globalverdrahtung der Netze A-A und B-B





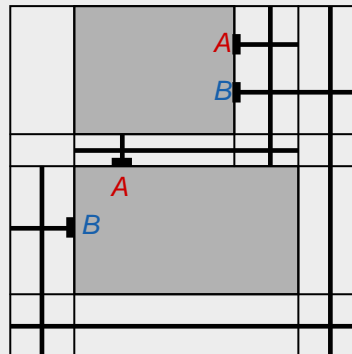
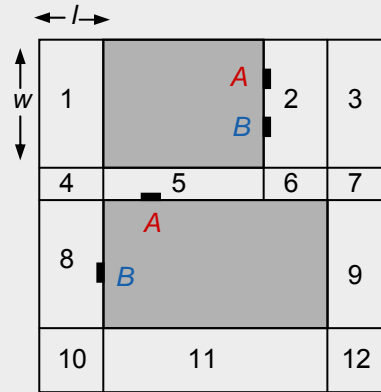
# Beispiel

Globalverdrahtung der Netze A-A und B-B

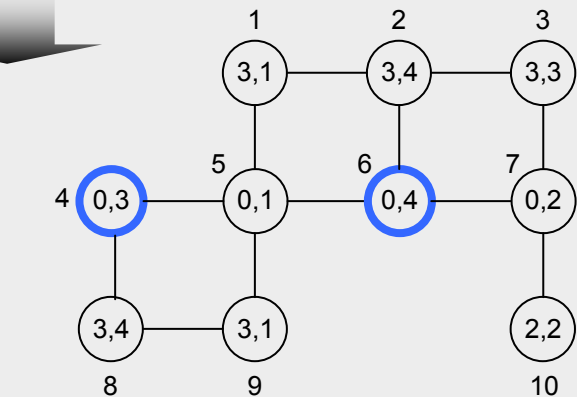
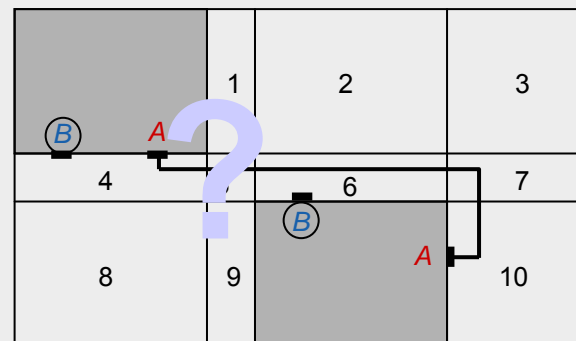
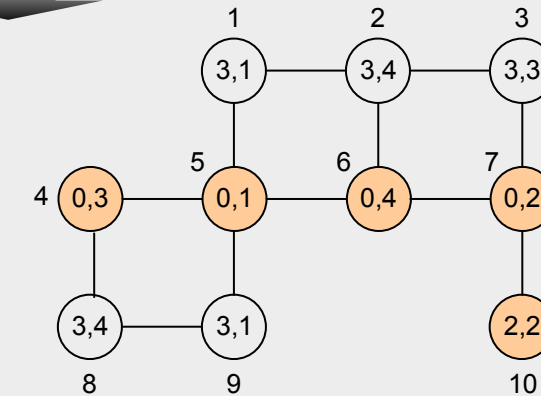
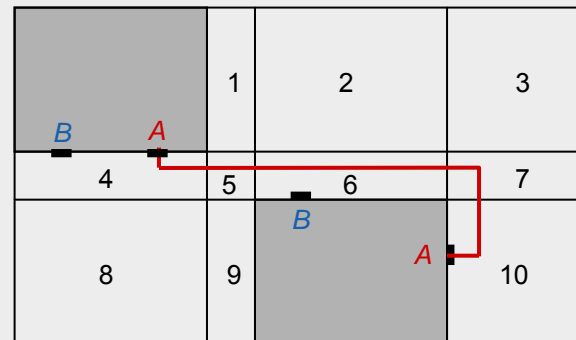
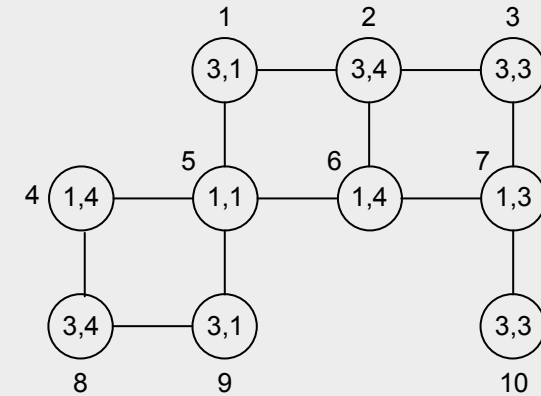
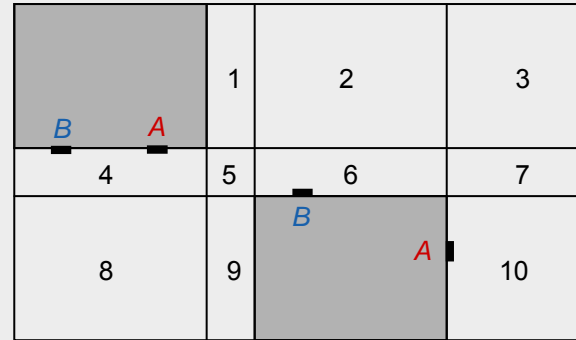


Beispiel

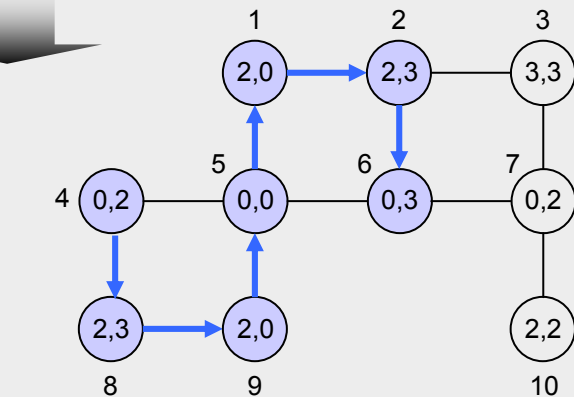
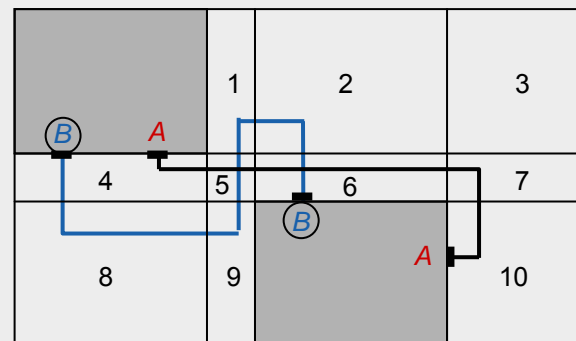
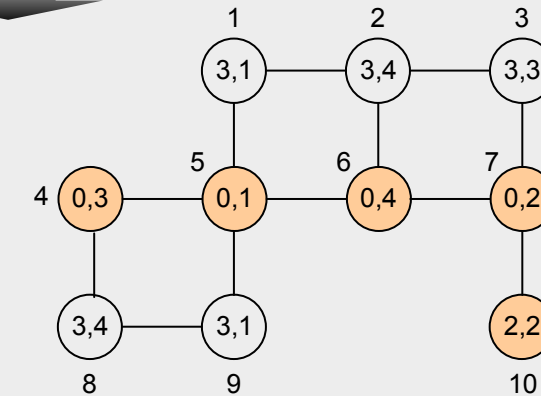
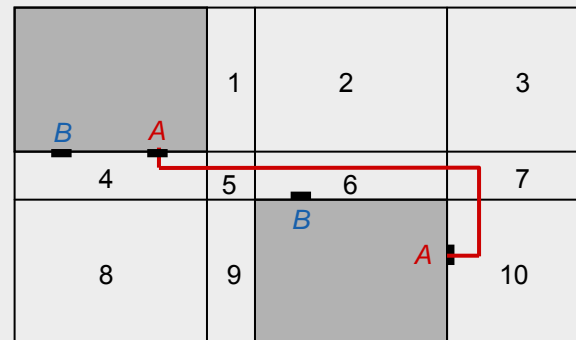
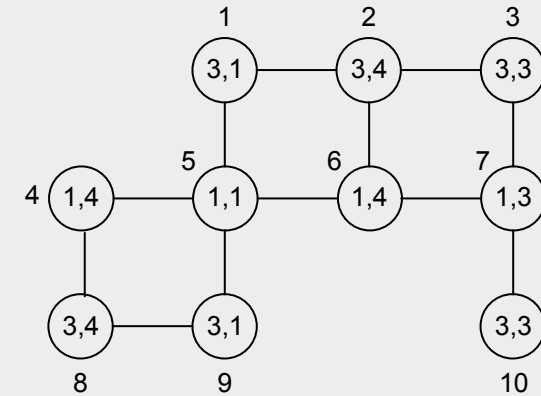
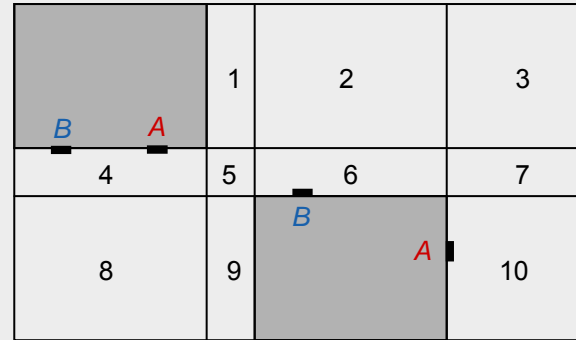
Globalverdrahtung der  
Netze A-A und B-B



Beispiel  
Feststellung der  
Verdrahtbarkeit  
einer  
Platzierung

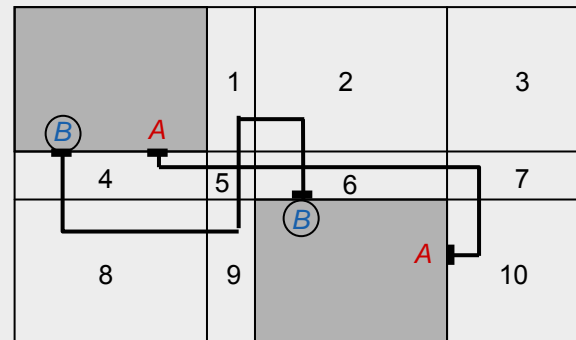
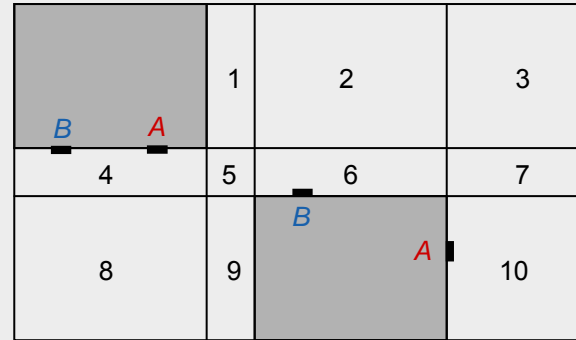


Beispiel  
Feststellung der  
Verdrahtbarkeit  
einer  
Platzierung



Beispiel

Feststellung der  
Verdrahtbarkeit  
einer  
Platzierung



## 5.6.3 Wegsuche mit dem Dijkstra-Algorithmus

- Suche im Graphen nach einem optimalen Weg gemäß beliebiger Wichtungskriterien
- Gegeben sei ein Graph mit den Wichtungskriterien  $w_1, w_2, \dots$  als **Kantenkosten** sowie ein Start- und ein Zielknoten
- Die **Wegkosten** seien die Summe der Kantenkosten eines Pfades
- Drei Mengen:
  - **Menge 1** enthält alle Knoten des Graphen, die im Verlauf des Wegsucheprozesses noch nicht untersucht wurden
  - **Menge 2** enthält die Knoten, die zwar schon untersucht wurden, aber es steht noch aus, ob die mit ihnen verbundenen Wegkosten vom Startknoten aus optimal sind
  - **Menge 3** enthält die Knoten, bei denen der optimale Weg vom Startknoten aus bereits ermittelt wurde
- Ziel erreicht, wenn Zielknoten in Menge 3 auftaucht, anschließend Rückverfolgung

### 5.6.3 Wegsuche mit dem Dijkstra-Algorithmus

- Wesentliches Merkmal: eingeschränkte Indizierung der Knoten, da Knoten nicht von allen Vorgängerknoten, sondern nur von Knoten mit besten Wegkosten (optimaler Weg) indiziert werden
- Vorteil: aus einer Menge von Wegen wird immer der bezüglich beliebig vieler Optimierungskriterien optimale Weg gefunden

## 5.6.3 Wegsuche mit dem Dijkstra-Algorithmus

### Ablauf

1. Der Startknoten wird in die Menge 3 eingeordnet und ist damit der aktuelle Knoten.
2. Ermittlung eines Nachfolgers (Nachbarn) des aktuellen Knotens.
3. Gehört der Nachfolgerknoten schon zur Menge 3, dann weiter mit Schritt 7.
4. Bestimmung der Wegkosten (z.B.  $w_1$  und  $w_2$ ) bis zum Nachfolgerknoten (Addition mit denen des aktuellen Knotens).
5. Ist der Nachfolgerknoten Element der Menge 1, Überführung desselben in die Menge 2 und weiter mit Schritt 7.
6. Der Nachfolgerknoten befindet sich bereits in der Menge 2, es sind also schon Wegkosten zum Nachfolgerknoten bekannt. Falls die neuen Wegkosten gemäß den Optimierungskriterien besser als die alten sind, werden die alten durch die neuen Wegkosten ersetzt; sonst sind die neuen wieder zu streichen.

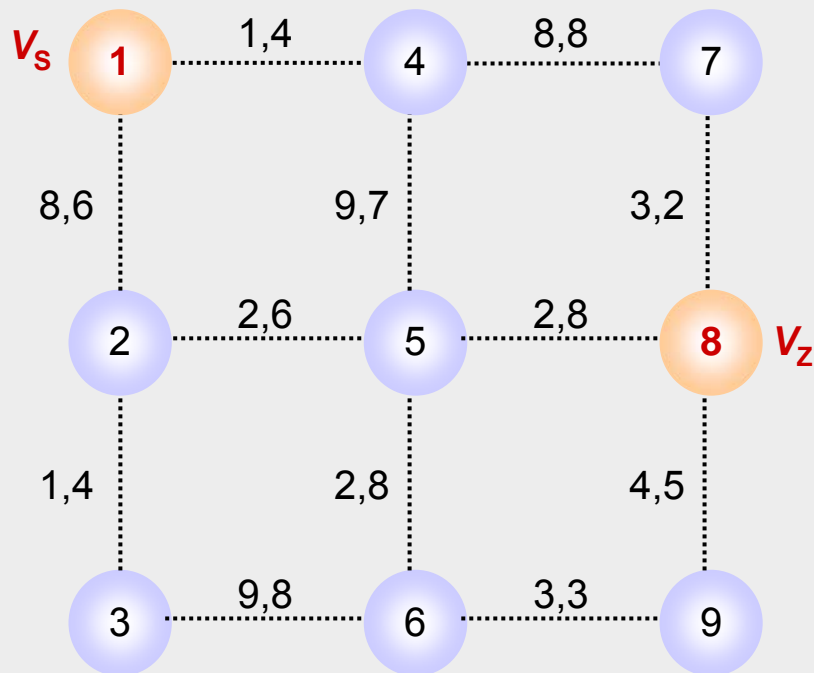


## 5.6.3 Wegsuche mit dem Dijkstra-Algorithmus

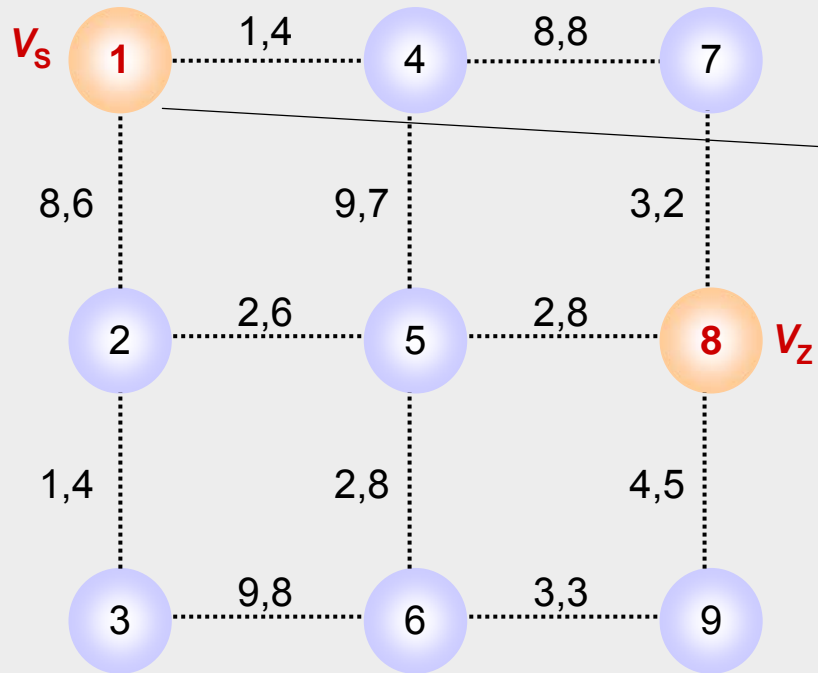
### Ablauf (2)

7. Wenn noch weitere Nachfolger (Nachbarn) des aktuellen Knotens existieren, weiter mit Schritt 2.
8. Bestimmung eines Knotens aus der Menge 2, der die besten Wegkosten (z.B.  $w_1$  und  $w_2$ ) besitzt. Dieser Knoten geht in die Menge 3 über und stellt den neuen aktuellen Knoten dar.
9. Wenn der aktuelle Knoten nicht der Zielknoten ist, weiter mit Schritt 2; ansonsten ist der Zielknoten auf optimalem Weg (gemäß z.B.  $w_1$  und  $w_2$ ) erreicht.
10. Vom Zielknoten ausgehend, ist die Wegfindung innerhalb der Menge 3 mittels Rückverfolgungsindex durchzuführen. ENDE.

## 5.6.3 Wegsuche mit dem Dijkstra-Algorithmus: Beispiel

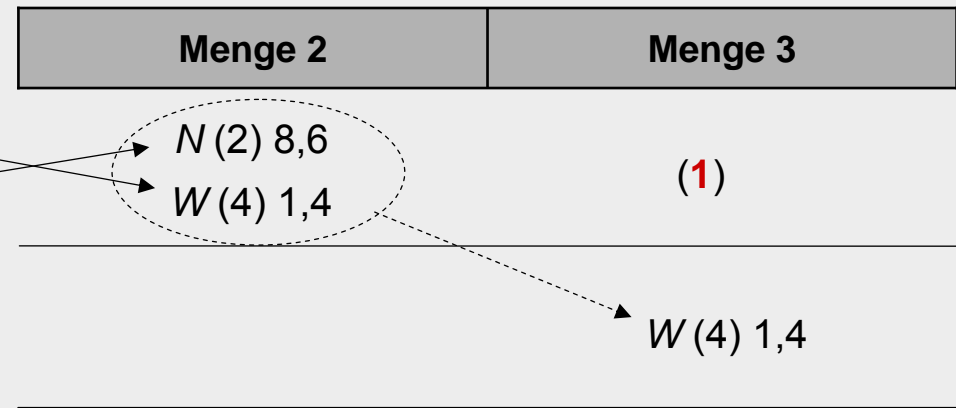
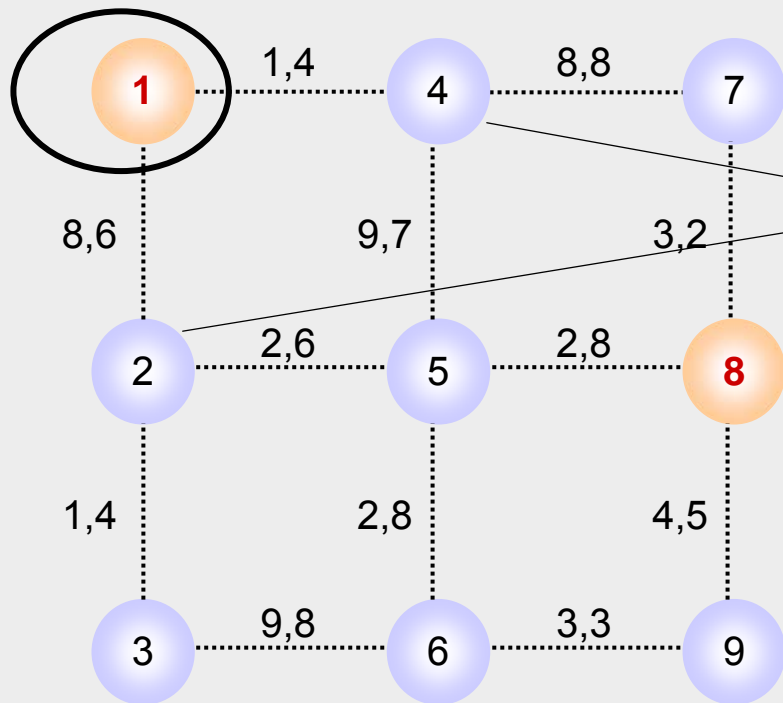


Gesucht ist der kostenminimale Weg (Wegkosten ( $\sum w_1 + \sum w_2$ )  $\rightarrow$  min.) von  $V_s$  (Knoten 1) zu  $V_z$  (Knoten 8).



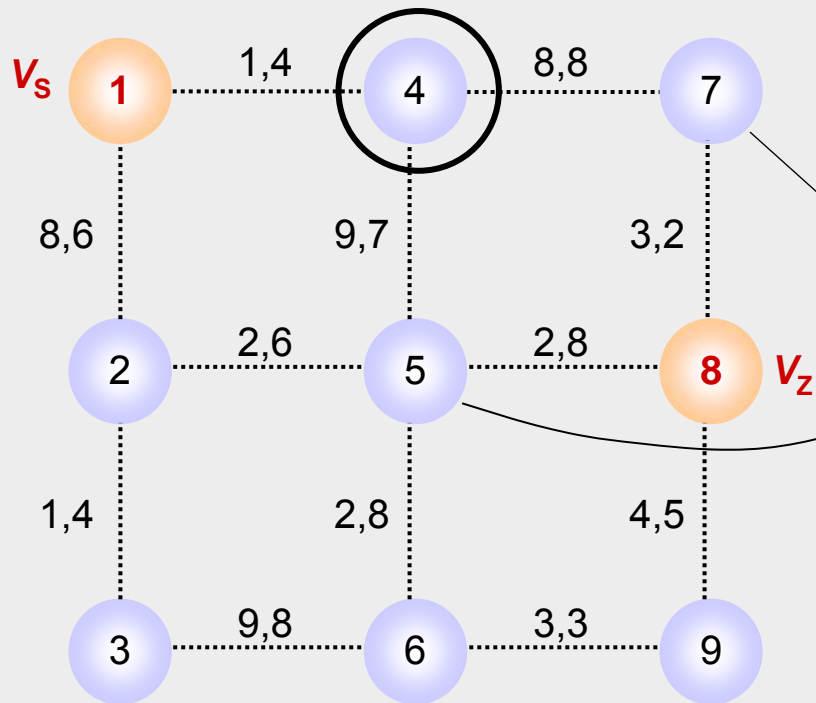
(1)

Aktueller Knoten: 1



Angabe von Rückverfolgungsindex (Knoten)  $\sum w_1, \sum w_2$

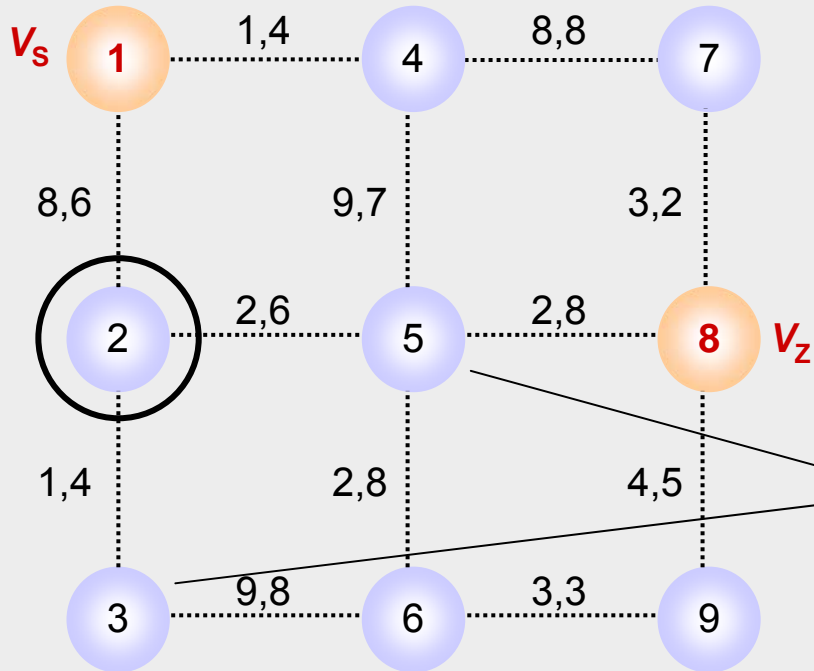
Aktueller Knoten: 1  
 Nachbarknoten: 2, 4  
 Beste Wegkosten in Menge 2: Knoten 4



Menge 2	Menge 3
$N(2) 8,6$ $W(4) 1,4$	(1)
$N(5) 10,11$ $W(7) 9,12$	$W(4) 1,4$
	$N(2) 8,6$

Angabe von Rückverfolgungsindex (Knoten)  $\sum w_1, \sum w_2$

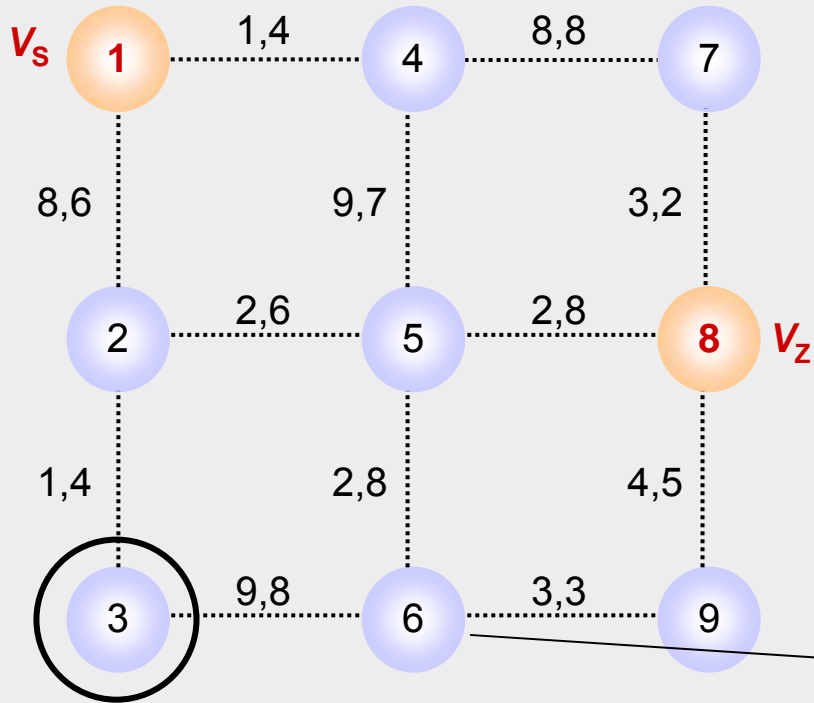
Aktueller Knoten: 4  
 Nachbarknoten: 1, 5, 7  
 Beste Wegkosten in Menge 2: Knoten 2



Menge 2	Menge 3
<i>N</i> (2) 8,6 <i>W</i> (4) 1,4	(1)
<i>N</i> (5) 10,11 <i>W</i> (7) 9,12	<i>W</i> (4) 1,4
<i>N</i> (3) 9,10 <del><i>W</i>(5) 10,12</del>	<i>N</i> (2) 8,6
	<i>N</i> (3) 9,10

Angabe von Rückverfolgungsindex (Knoten)  $\sum w_1, \sum w_2$

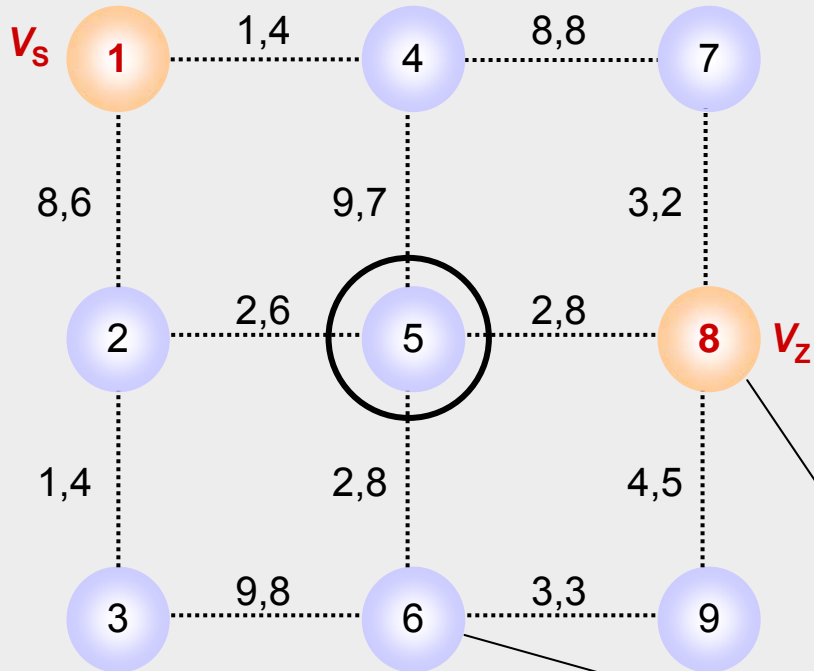
Aktueller Knoten: 2  
 Nachbarknoten: 1, 3, 5  
 Beste Wegkosten in Menge 2: Knoten 3



Aktueller Knoten: 3  
 Nachbarknoten: 2, 6  
 Beste Wegkosten in Menge 2: Knoten 5

Menge 2	Menge 3
<i>N</i> (2) 8,6 <i>W</i> (4) 1,4	(1)
<i>N</i> (5) 10,11 <i>W</i> (7) 9,12	<i>W</i> (4) 1,4
<i>N</i> (3) 9,10 <del><i>W</i>(5) 10,12</del>	<i>N</i> (2) 8,6
<i>W</i> (6) 18,18	<i>N</i> (3) 9,10
	<i>N</i> (5) 10,11

Angabe von Rückverfolgungsindex (Knoten)  $\sum w_1, \sum w_2$

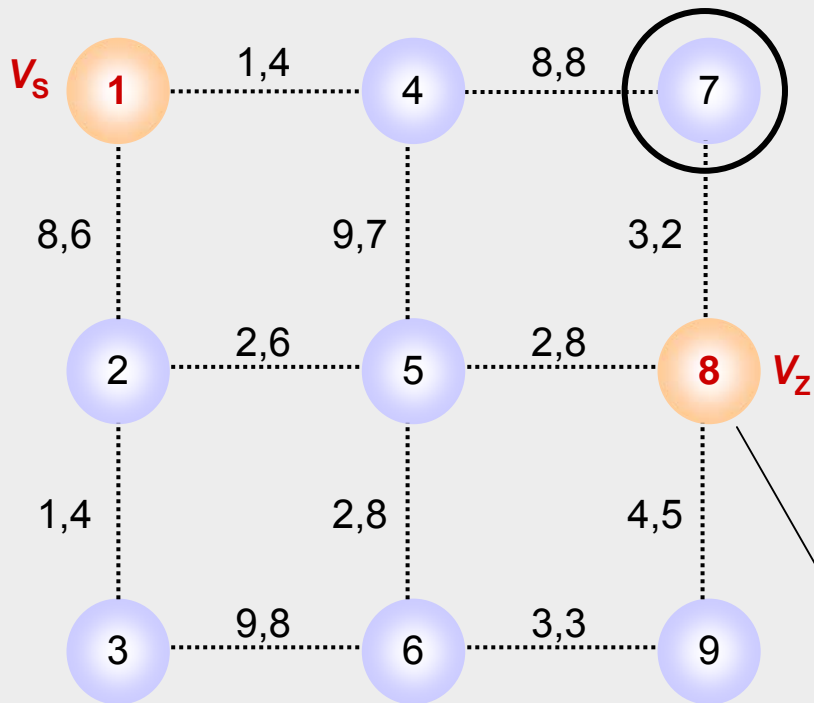


Aktueller Knoten: 5  
 Nachbarknoten: 2, 4, 6, 8  
 Beste Wegkosten in Menge 2: Knoten 7

Menge 2	Menge 3
<del>N (2) 8,6</del> <del>W (4) 1,4</del>	(1)
N (5) 10,11 W (7) 9,12	W (4) 1,4
<del>N (3) 9,10</del> <del>W (5) 10,12</del>	N (2) 8,6
<del>W (6) 18,18</del>	N (3) 9,10
N (6) 12,19 W (8) 12,19	N (5) 10,11
	W (7) 9,12

Angabe von Rückverfolgungsindex (Knoten)  $\sum w_1, \sum w_2$

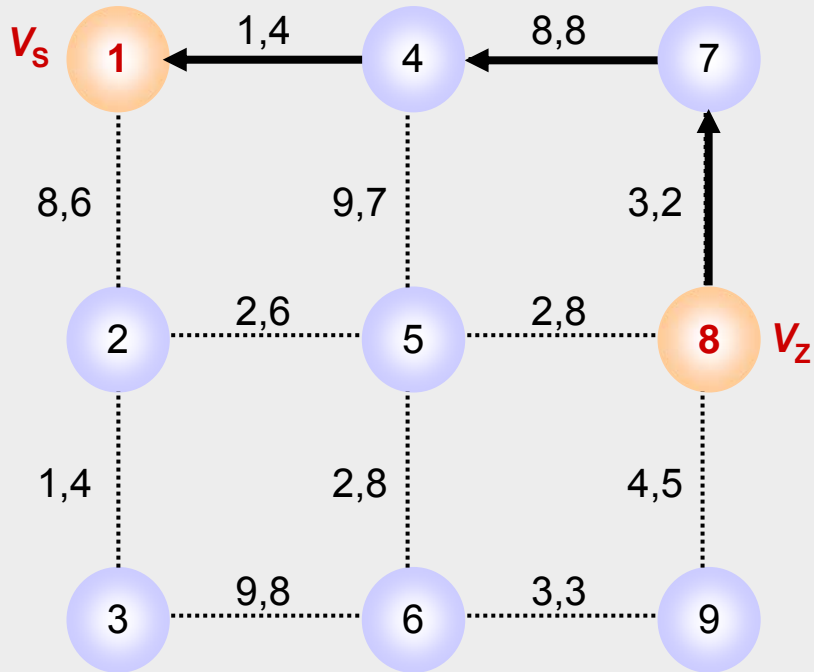




Aktueller Knoten: 7  
 Nachbarknoten: 4, 8  
 Beste Wegkosten in Menge 2: Knoten 8

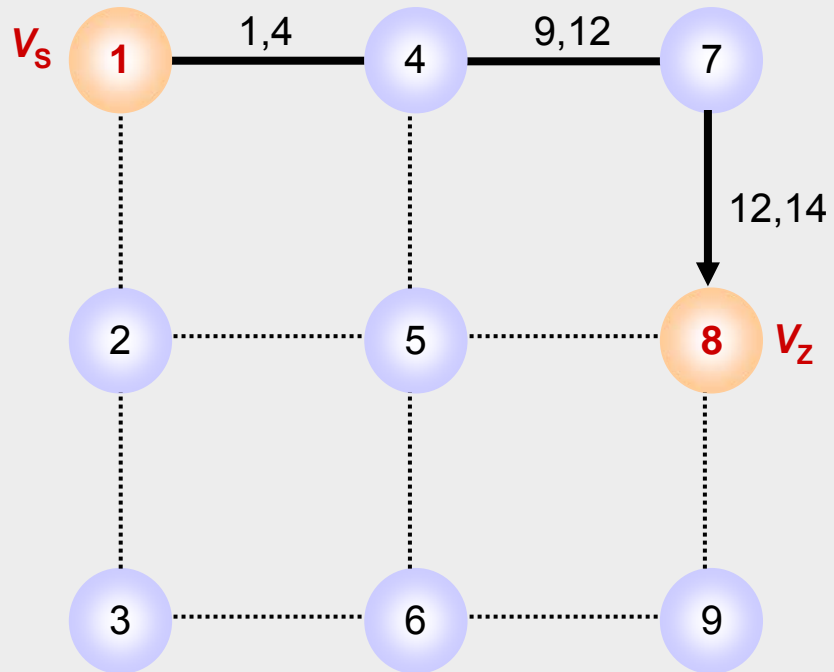
Menge 2	Menge 3
<del>N (2) 8,6</del> <del>W (4) 1,4</del>	(1)
<del>N (5) 10,11</del> <del>W (7) 9,12</del>	W (4) 1,4
<del>N (3) 9,10</del> <del>W (5) 10,12</del>	N (2) 8,6
<del>W (6) 18,18</del>	N (3) 9,10
<del>N (6) 12,19</del> <del>W (8) 12,19</del>	N (5) 10,11
<b>N (8) 12,14</b>	W (7) 9,12
	<b>N (8) 12,14</b>

Angabe von Rückverfolgungsindex (Knoten)  $\sum w_1, \sum w_2$



Rückverfolgung

Menge 2	Menge 3
$N(2) 8,6$ $W(4) 1,4$	(1)
$N(5) 10,11$ $W(7) 9,12$	$W(4) 1,4$
$N(3) 9,10$ <del><math>W(5) 10,12</math></del>	$N(2) 8,6$
<del><math>W(6) 18,18</math></del>	$N(3) 9,10$
$N(6) 12,19$ <del><math>W(8) 12,19</math></del>	$N(5) 10,11$
$N(8) 12,14$	$W(7) 9,12$
	$N(8) 12,14$



Kostenminimaler Weg  $V_S - V_Z$  mit  
Wegkosten (12, 14) über die Knoten  
1 - 4 - 7 - 8.

- 5.1 Einführung
  - 5.1.1 Allgemeines Verdrahtungsproblem
  - 5.1.2 Globalverdrahtung
- 5.2 Begriffsbestimmungen
- 5.3 Optimierungsziele
  - 5.3.1 Kundenspezifischer Entwurf
  - 5.3.2 Standardzellen-Entwurf
  - 5.3.3 Gate-Array-Entwurf
- 5.4 Abbildung von Verdrahtungsregionen
- 5.5 Ablauf der Globalverdrahtung
- 5.6 Algorithmen für die Globalverdrahtung
  - 5.6.1 Steinerbaum-Verdrahtung
  - 5.6.2 Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen
  - 5.6.3 Wegsuche mit dem Dijkstra-Algorithmus