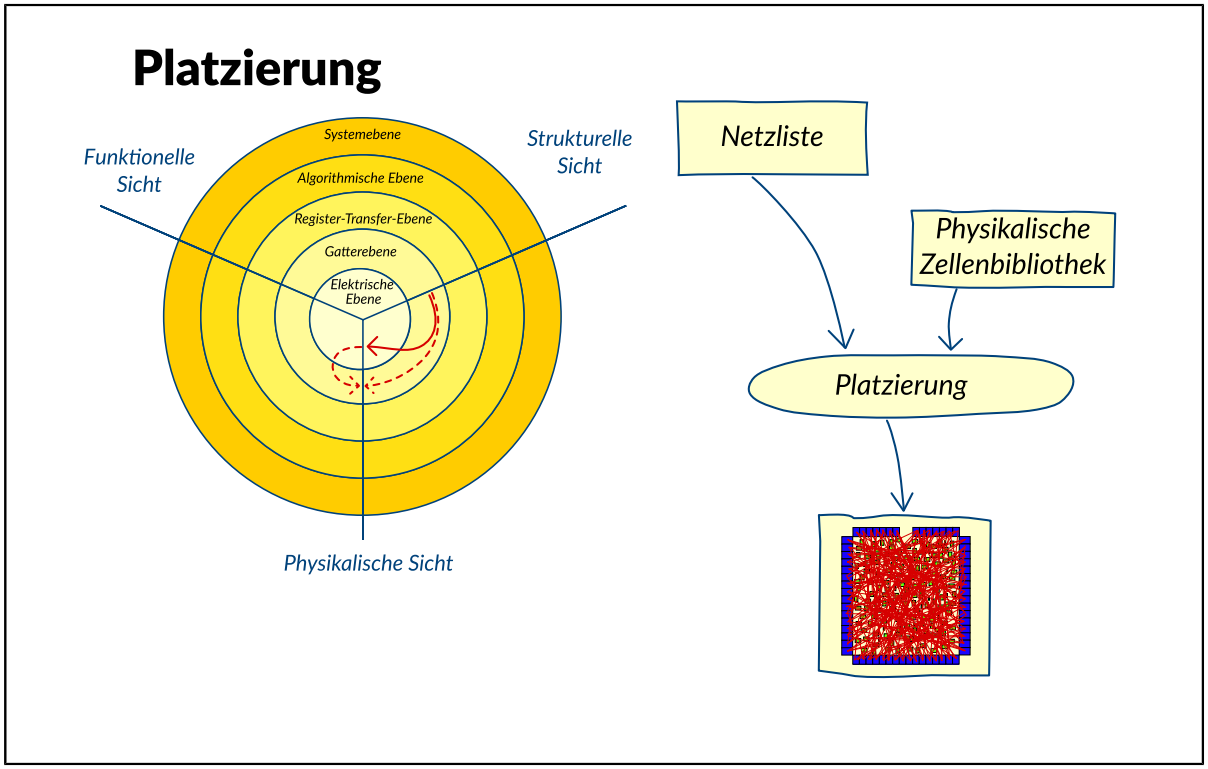
Electronic Design Automation (EDA)

Platzierung

Platzierung
Platzierung als ..Optimierungsproblem
..Zuordnungsproblem I
..Zuordnungsproblem II
Optimierungskriterien
..Fläche I
..Fläche II
..Timing
..Congestion
..Weitere
Verdrahtungslängenabschätzung
..Bounding Box
..Kette
..Spannbaum
..Steinerbaum
Klassen von Platzierungsverfahren
Platzierungsverfahren
..Clusterverfahren
..Clusterverfahren: Beispiel
..Min-Cut
..Min-Cut: Beispiel
..Quadratische Optimierung
....Feder-Masse-Modell
....Energie-Berechnung
....Kräftegleichgewicht
....Initialplatzierung
....Abstoßende Kräfte
....Dichtefunktion
....Beispiel
....Legalisierung
..Simulated Annealing
..Genetische Algorithmen
....Beispiel
....Operatoren
.....Crossover
.....Mutation
.....Selektion
Bewertung der Verfahren

Date of generation: 26.10.2026

Platzierung: Platzierung



Während des Syntheseschrittes Platzierung erfolgt der Übergang von der strukturellen Beschreibung in Form einer Netzliste in eine geometrische Anordnung der Bauelemente. Als Eingabedaten dienen die Netzliste und die physikalische (Zell-) Bibliothek. Die Netzliste stellt die Verbindungen (logische Anordnung) der Bauelemente dar und repräsentiert damit den Schaltungsgraphen. Gesucht wird die geometrische Anordnung der Bauelemente und ihrer Verbindungen auf der Layoutfläche. Die Unterschiede zwischen Floorplanning und Platzierung bestehen in der festen geometrischen Form der Zellen und in der erheblich größeren Anzahl der Zellen, also in der Problemgröße. Das Ziel der Platzierung ist eine überlappungsfreie Anordnung der Zellen, die eine automatische Verdrahtung ermöglicht.

Platzierung: Platzierung als ..Optimierungsproblem

Platzierung als Optimierungsproblem

Gegeben: Zellen mit Verbindungen untereinander

Gesucht: Überlappungsfreie Anordnung der Zellen,
so dass automatische Verdrahtung gewährleistet ist

Optimierungsziel: Gesamtverdrahtungslänge

$$L_{Gesamt} = \sum_i l_i$$

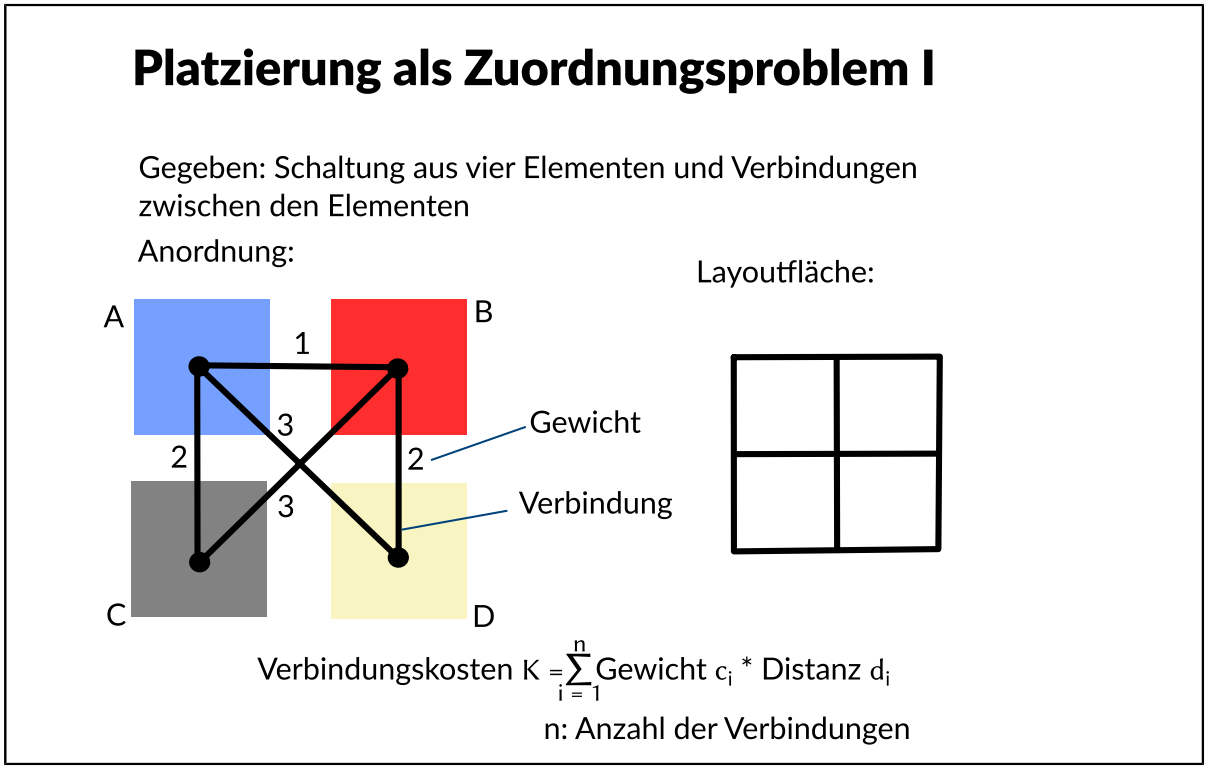
Feste Plätze auf der Layoutfläche:

-> Kombinatorisches quadratisches Zuordnungsproblem

Die Platzierung stellt ein Optimierungsproblem in der Regel mit Nebenbedingungen dar. Gegeben sei eine Anzahl von Zellen, die auf einer vorgegebenen Fläche platziert werden sollen. Die gefundene Anordnung soll eine automatische Verdrahtung des Systems ermöglichen. Optimierungsziel ist die Gesamtverdrahtungslänge. Damit kann einerseits die Fläche minimiert werden, andererseits die Performance, da kürzere Leitungen kürzere Verzögerungszeiten bedingen. Zusätzlich können Verzögerungszeitvorgaben für einzelne Leitungen in Form von Nebenbedingungen angegeben werden.

Setzte man vereinfachend voraus, dass für die Platzierung lediglich feste Plätze auf der Layoutfläche zur Verfügung stehen, kann Platzierung als ein kombinatorisches quadratisches Zuordnungsproblem gesehen werden. Darunter versteht man die Anordnung von n Zellen auf n verschiedene Positionen.

Platzierung: ..Zuordnungsproblem I



Als Kosten K_{ij} einer Verbindung wird der Kostenbeitrag angesehen, der bei der Zuordnung der Zelle i an die Position j entsteht. Die Summe der Kosten soll minimiert werden. Dies stellt sicher, dass die Verbindungen zwischen den Zellen möglichst kurz sind. Durch Gewichtsfaktoren c_{ij} können die Anzahl der Verbindungen zwischen zwei Zellen sowie ihre Dicke oder Leitfähigkeit eingehen. Aufgrund der Anordnung auf der Layoutfläche entsteht eine räumliche Entfernung d_{ij} von zwei miteinander verbundenen Zellen. Die Kosten einer Verbindung berechnen sich dann aus dem Abstand der beiden Zellen multipliziert mit dem Gewicht, also $k_{ij} = c_{ij} * d_{ij}$.

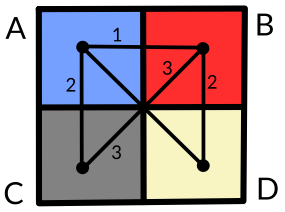
Die Gesamtkosten berechnen sich aus der Summe Kosten der Einzelverbindungen, die sich aus dem Gewicht der Verbindung multipliziert mit dem Abstand zusammensetzen. Es wird über alle Verbindungen summiert.

Insgesamt gibt es n! (hier: 24) Möglichkeiten, die Zellen auf der Layoutfläche anzuordnen.

Um das Minimum zu bestimmen, könnte man alle n! Möglichkeiten untersuchen und für jede Möglichkeit die Kosten berechnen. Bei derzeitigen Problemgrößen ist dies jedoch nicht realistisch. Da jedoch effiziente exakte Algorithmen für dieses Problem nicht verfügbar sind, müssen Heuristiken angewendet werden. Unter einer Heuristik versteht man ein Verfahren, das in einer bestimmten Zeit nicht die optimale, jedoch eine annehmbar gute Lösung liefert.

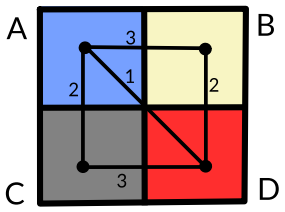
Platzierung: ..Zuordnungsproblem II

Platzierung als Zuordnungsproblem II



$$K = \sum_{i=1}^{n} c_i \cdot d_i$$

$$K = 1\cdot1 + 2\cdot1 + 2\cdot1 + 3\cdot(1+1)+3\cdot(1+1)$$
$$= 17$$



$$K = 3\cdot1 + 2\cdot1 + 2\cdot1 + 3\cdot1 + 1\cdot(1+1)$$
$$= 12$$

Beispielhaft werden hier zwei Anordnungen herausgesucht und auf ihre Kosten hin untersucht. Dabei wird für den Abstand der Manhattan-Abstand verwendet.

Die Kosten werden für die erste Anordnung folgendermaßen berechnet: Die Verbindung zwischen den Zellen A und B weist ein Gewicht von 1 auf. Der Abstand ist ebenfalls 1, so dass die Kosten für diese Verbindung 1 betragen. Anschließend werden die Verbindungen zwischen den Zellen A und C bzw. B und D betrachtet. Beide Verbindungen haben ein Gewicht von 2. Die Abstände sind jeweils 1, so dass die Einzelkosten sich zu 2 ergeben. Die Verbindungen zwischen den Zellen A und D bzw. B und C weisen ein Gewicht von 3 auf, wobei der Manhattan-Abstand 2 beträgt. Die Einzelkosten ergeben sich dann zu jeweils 6. Die Gesamtsumme errechnet sich aus der Summe der Einzelkosten, also zu 17.
Die gleiche Vorgehensweise liefert für die zweite Anordnung einen Wert von 12, also ein wesentlich besseres Ergebnis.

Platzierung: Optimierungskriterien

Optimierungskriterien

- Fläche
- Timing (kritischer Pfad)
- Congestion
- Sonstige Kriterien

Im allgemeinen Fall können sehr unterschiedliche Kriterien in die Kostenfunktion einbezogen werden. Jedes Design weist in seiner Spezifikation Eigenschaften auf, die Einflüsse auf die Gewichtung der Optimierungskriterien haben. Soll beispielsweise ein Schaltungsentwurf einen hohen Systemtakt ermöglichen, so ist das Timing von erhöhtem Interesse, während es bei einem nicht so performanten System weniger stark Berücksichtigung finden wird.

Im Folgenden sollen vier Aspekte angesprochen werden:

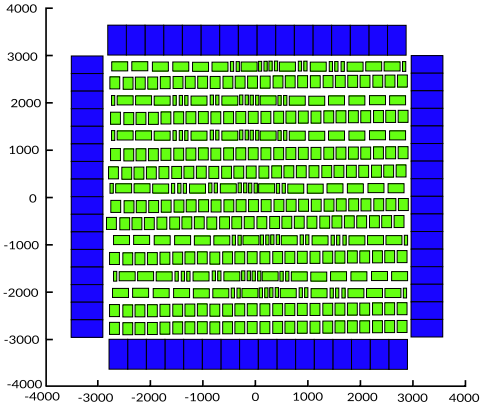
- Fläche
- Timing
- Congestion
- Sonstige Kriterien

Platzierung: ..Fläche I

Optimierungskriterium: Fläche I

- Layoutfläche = Zellfläche + Verdrahtungsfläche
- Minimierung der Gesamtverdrahtungslänge entspricht Flächenminimierung

Platzierung mit Verdrahtungskanälen:



Ziel ist hierbei die Minimierung der Layoutfläche, die sich aus der Fläche für die Zellen und der Fläche für die Verdrahtung zusammensetzt. Flächenminimierung bedeutet, dass alle Zellen so nah wie möglich beieinander zu platzieren sind und gleichzeitig die Gesamtverdrahtungslänge minimiert wird. Steht die von Zellen belegte Fläche nicht für die Verdrahtung zur Verfügung, ist die Minimierung der Gesamtfläche gleichbedeutend mit der Minimierung der Verdrahtungsfläche, die bei konstanter Leitbahnbreite proportional zur Summe aller Leitbahnlängen ist. Grundsätzlich ist die Länge der Leitbahnen während der Platzierung noch unbekannt, da eine tatsächliche Ausführung der Verdrahtung viel zu zeitaufwändig wäre. Die Verdrahtungslänge muss deshalb abgeschätzt werden. Dies ist auf verschiedene Arten möglich. Zum einen kann der lineare Abstand als Verdrahtungslänge definiert werden, zum anderen der quadratische Abstand. Bei der Wahl der linearen Verdrahtungslänge erhält man im Vergleich zur quadratischen Verdrahtungslänge sehr viele kurze Verbindungsleitungen zwischen den Zellen, aber auch einige sehr lange Leitungen.

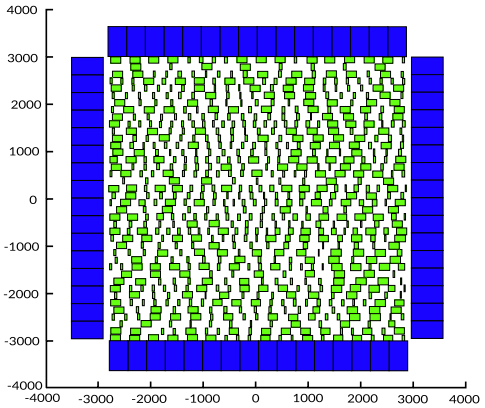
Als Abstand kann sowohl der euklidische als auch der Manhattan-Abstand verwendet werden. Wegen seiner einfachen Berechnung wird letzterer in der Regel vorgezogen.

Platzierung: ..Fläche II

Optimierungskriterium: Fläche II

- In moderner Halbleitertechnologie:
  Verdrahtung über den Zellen möglich
- Flächenoptimierung nicht sinnvoll, da Fläche von der Zellfläche bestimmt wird
- Festlegung der Layoutfläche schon vor der Platzierung

Platzierung ohne Verdrahtungskanäle:



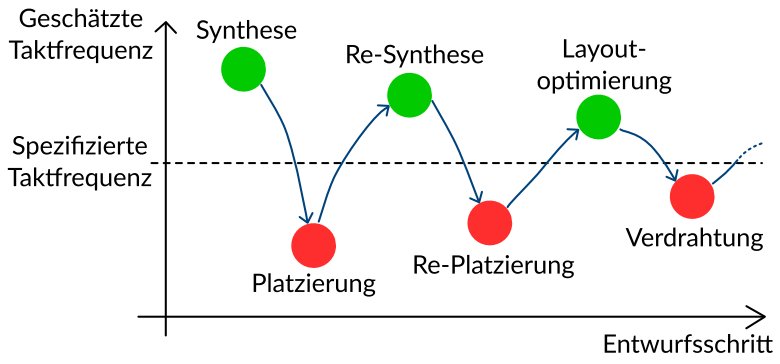
Stehen - wie in modernen Halbleitertechnologien üblich - genügend Verdrahtungsebenen zur Verfügung, kann "über" den Zellen verdrahtet werden. Damit ist keine zusätzliche Verdrahtungsfläche mehr erforderlich. Eine Flächenoptimierung im eigentlichen Sinne ist nicht mehr sinnvoll.
Häufig wird die Layoutfläche schon vor der Platzierung festgelegt und ändert sich während des Platzierungsschrittes auch nicht mehr. In besonderen Anwendungen mit hohen Stückzahlen oder harten Flächenrandbedingungen ist allerdings heute noch die Flächenminimierung von Bedeutung.

Platzierung: ..Timing

Optimierungskriterium: Timing

- Taktraten bei integrierten Schaltungen steigen stetig
- Timing-Closure-Problem
- Diskrepanz zwischen Abschätzung der Delays und tatsächlichen Delays
- Gesamtverdrahtungslänge berücksichtigt Delays unzureichend

→ Neue Ansätze notwendig



Bei Schaltungen, die hohe Taktraten aufweisen, spielt das Timing eine große Rolle. Da die Leitungen neben einem Widerstand auch Kapazitäten und Induktivitäten aufweisen, ist eine Ausbreitung der elektrischen Signale mit Lichtgeschwindigkeit nicht möglich. Es vergeht eine gewisse Zeit, bis ein Signal die Strecke von dem Ausgang einer Zelle bis zum Eingang der nächsten Zelle zurückgelegt hat. Der Begriff "Timing Closure" spielt in den heutigen Schaltungen eine sehr wichtige Rolle. Man versteht darunter den Unterschied zwischen den Verzögerungszeiten (Delay) nach der Platzierung bzw. nach der Verdrahtung und den in früheren Entwurfsschritten modellierten Verzögerungszeiten. Sind die Unterschiede nicht vernachlässigbar, ist die Funktionsfähigkeit des gesamten Designs nicht mehr garantiert. Die Abbildung zeigt dazu beispielhaft die notwendigen Iterationen. Für die Berechnung der Verdrahtungslängen bietet sich die quadratische Verdrahtungslänge an, da bei dieser Art der Kostenfunktion die Standardabweichung der Verdrahtungslängen kleiner ist als bei linearer Verdrahtungslängenberechnung.

Platzierung: ..Congestion

Optimierungskriterium: Congestion

- Ziel: Gewährleistung einer automatischen Verdrahtung

- Strategie: Gleichmäßige Verteilung der Verdrahtung auf der Layoutfläche

- Zuweisung von Leitungen zu Teilflächen eines (groben) Rasters

- Congestion: Überschreitung der Kapazität einzelner oder mehrerer Teilflächen

Ziel der Platzierung ist es, eine Anordnung der Zellen zu finden, die eine automatische Verdrahtung der Zellen gewährleistet. Während der Platzierung ist die Verdrahtung abzuschätzen, da die Verdrahtung im Design-Flow erst nach der Platzierung durchgeführt wird. Dabei spielt der Begriff Congestion eine wichtige Rolle, da dieser angibt, wie die Verteilung der Verdrahtungsleitungen auf der Layoutfläche gestaltet ist. Durch Gebiete mit hoher Congestion verlaufen nach der Abschätzung sehr viele Verbindungsleitungen, durch Gebiete mit niedriger Congestion verlaufen wenige Verbindungsleitungen. Das Gebot dieses Optimierungskriteriums ist die gleichmäßige Verteilung der Verdrahtung auf der Layoutfläche. Die Congestion wird generell für eine gerasterte Layoutfläche bestimmt. Jeder Rasterfläche wird eine bestimmte Kapazität zugewiesen. Diese Anzahl von Leitungen darf durch diese Rasterfläche verlaufen, ohne dass es zu Congestion-Problemen kommt. Bei der Platzierung werden jeder Rasterfläche Leitungen zugewiesen. Liegt die Gesamtzahl über der Kapazität, so bedeutet das, dass durch diese Rasterfläche mehr Leitungen verlaufen würden als sie aufnehmen kann. In modernen Halbleitertechnologie stehen inzwischen sehr viele Verdrahtungsebenen zur Verfügung. Aus diesem Grunde sind Congestion-Probleme bei angemessener Platzierungsqualität kaum noch zu erwarten.

Platzierung: ..Weitere

Weitere Optimierungskriterien

- Elektromagnetische Kopplungen
- Thermische Effekte
- Technologische Randbedingungen
- Geometrische Entwurfsregeln

Als weitere Kriterien seien elektromagnetische Kopplungen der durch die Platzierung bedingten Leitungsverläufen, thermische Effekte und technologische Randbedingungen genannt. Elektromagnetische Kopplungen sind parasitäre Effekte, die ebenfalls zu einer Fehlfunktion des Designs führen können. Auf Grund einer schlechten Platzierung kann es passieren, dass Leitungen so verdrahtet werden, dass sich Signale z.B. durch kapazitive Kopplung gegenseitig beeinflussen. Im schlimmsten Falle können Signalpegel so stark verfälscht werden, dass die Funktionsfähigkeit der gesamten Schaltung nicht mehr garantiert werden kann.

Unter thermischen Effekten versteht man Probleme bei der Wärmeabführung in den Zellen. Vor allem schaltaktive Elemente sind besonders zu betrachten, da in CMOS-Schaltungen besonders bei Schaltaktivitäten Ströme fließen. Auf Grund ungünstiger Anordnung der Zellen kann es passieren, dass sich Zellen mit großer Verlustleistung gehäuft in einem Gebiet befinden. Folge davon ist eine erhebliche Erwärmung der Schaltung in dieser Region, was im schlimmsten Fall zu einem Ausfall führen kann. Unter technologischen Randbedingungen sind die Design Rules der verwendeten Technologie zu verstehen, beispielsweise die Anzahl der für die Verdrahtung zur Verfügung stehenden Metallebenen. Darüber hinaus können die in der Bibliothek vorhandenen Zellen sowie weitere geometrische Entwurfsregeln die Platzierung maßgeblich beeinflussen.

Platzierung: Verdrahtungslängenabschätzung

Verdrahtungslängenabschätzung

- Verdrahtungsinformation geht in die Platzierung ein
- Verdrahtung folgt auf die Platzierung

→ Verdrahtungslängenabschätzung notwendig

- Bounding Box
- Kette
- Minimaler Spannbaum
- Steinerbaum

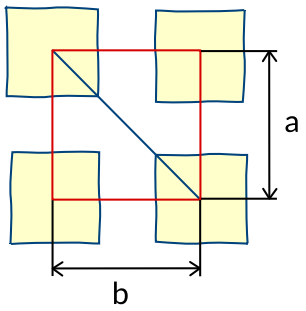
Zur Erzeugung einer Platzierung wird Verdrahtungsinformation benötigt, da diese fester Bestandteil vieler Kostenfunktionen ist. Die korrekte Information steht aber erst im Anschluss an die durchgeführte Verdrahtung, die nach der Platzierung berechnet wird, zur Verfügung. Daher ist eine Abschätzung der Verdrahtungslänge während der Platzierung vorzunehmen. Nachfolgend sind die gängigen Möglichkeiten aufgelistet:

- Bounding-Box
- Kette
- Minimaler Spannbaum
- Steinerbaum

Platzierung: ..Bounding Box

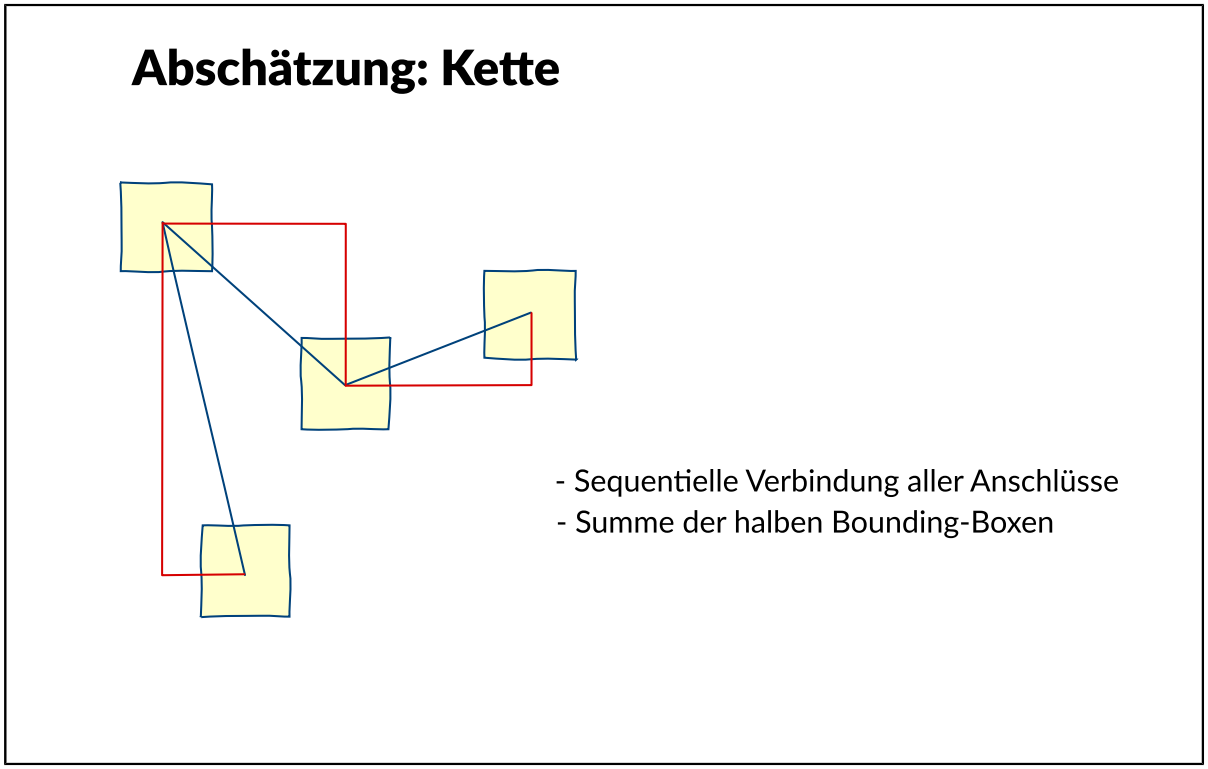
Abschätzung: Halbe Bounding-Box

- Halber Umfang des umschließenden Rechtecks
- Schnell zu berechnen, sehr häufig verwendet



Die Bounding-Box ist die einfachste der Abschätzungsmöglichkeiten. Da sie sehr schnell zu berechnen ist, ist sie auch die am meisten verwendete. Alle anderen Abschätzungen benötigen zum Teil erheblich mehr Rechenzeit. Die Bounding-Box stellt den halben Umfang des umschließenden Rechtecks der zu verbindenden Anschlüsse dar. Es sollte beachtet werden, dass bei Zweipunkt- und Dreipunktnetzen die Abschätzung mit der halben Bounding-Box dieselben Ergebnisse liefert wie die Steinerbaum-Abschätzung, die später behandelt wird.

Platzierung: ..Kette

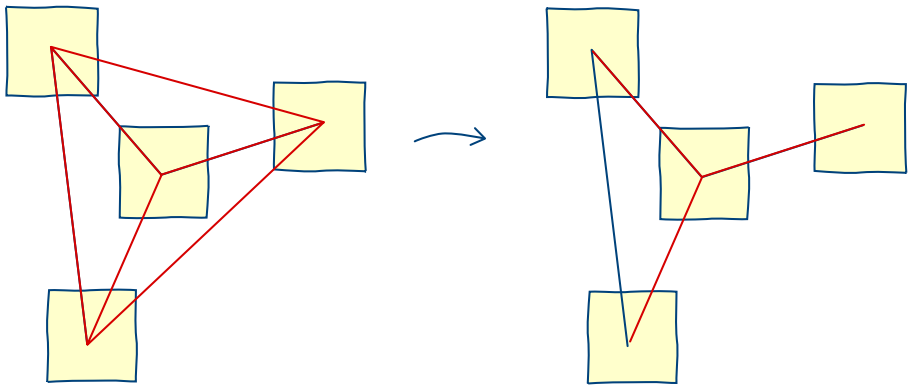


Bei der Kette werden die zu verbindenden Anschlüsse sequentiell miteinander verbunden, wobei die Reihenfolge der Verbindungen frei wählbar ist. Die Gesamtlänge kann als Summe der halben Bounding-Box-Umfänge von jeweils zwei aufeinander folgenden Anschlüssen berechnet werden.

Platzierung: ..Spannbaum

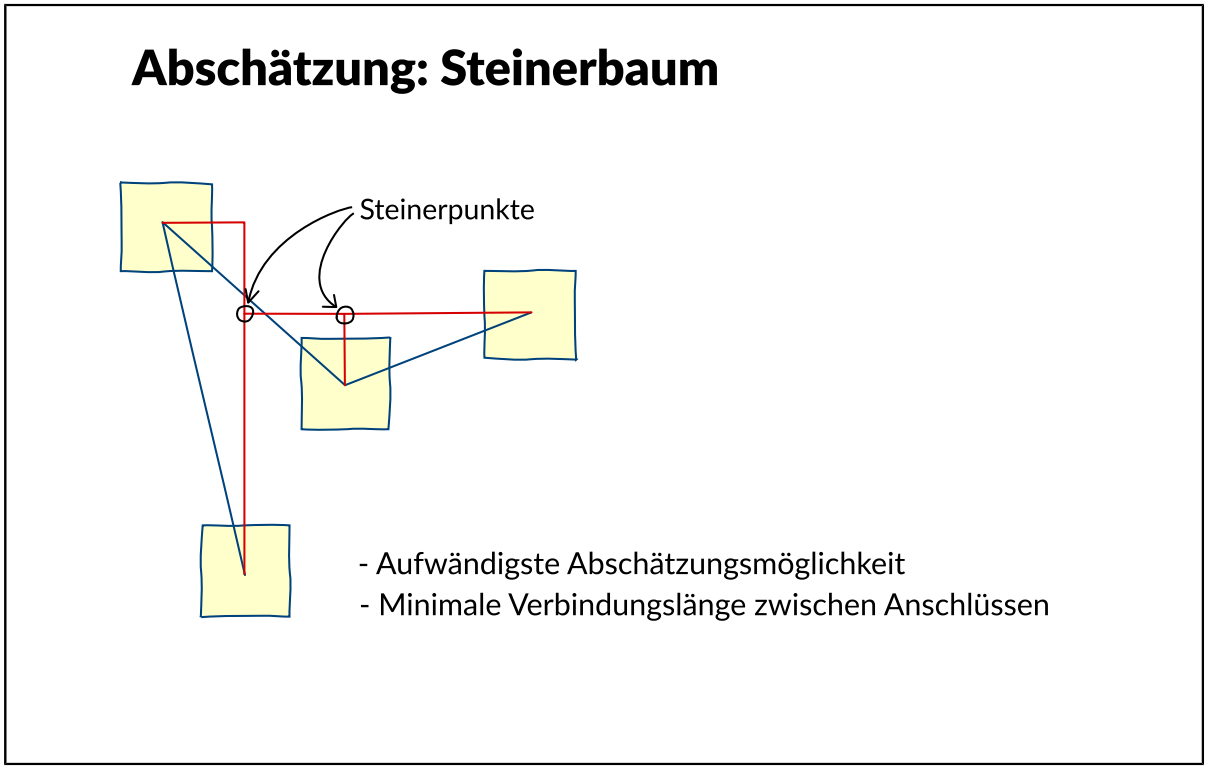
Abschätzung: Minimaler Spannbaum

- Verbindung aller Anschlüsse (vollständiger Graph)
- Minimaler Spannbaum: kürzester verbundener Teilgraph mit allen Knoten



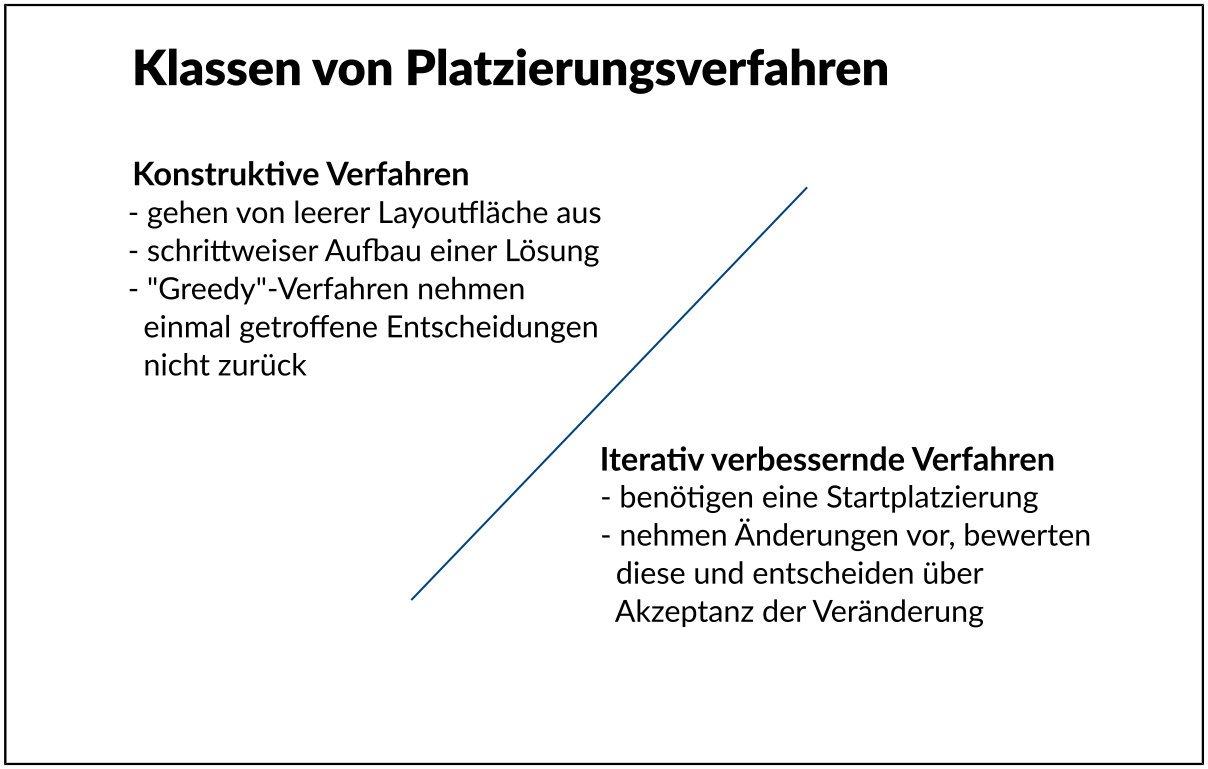
Bei der Berechnung des minimalen Spannbaumes ist es zunächst notwendig, alle Anschlüsse miteinander zu verbinden. Diese Anordnung wird als vollständiger Graph bezeichnet. Der minimale Spannbaum ist der kürzeste verbundene Teilgraph des vollständigen Graphen, der alle Knoten enthält.

Platzierung: ..Steinerbaum



Der Steinerbaum stellt die aufwändigste Abschätzung der Verdrahtungslänge dar, einhergehend mit einem erheblich höheren Rechenaufwand. Der charakteristische Unterschied des Steinerbaums zum Spannbaum ist die Tatsache, dass zusätzlich zu den schon vorhandenen Punkten (das sind die Verbindungspunkte an den Zellen) spezielle Verzweigungspunkte (so genannte Steinerpunkte) eingefügt werden können. Der Steinerbaum beschreibt die minimale Verbindungslänge zwischen den Anschlüssen.

Platzierung: Klassen von Platzierungsverfahren

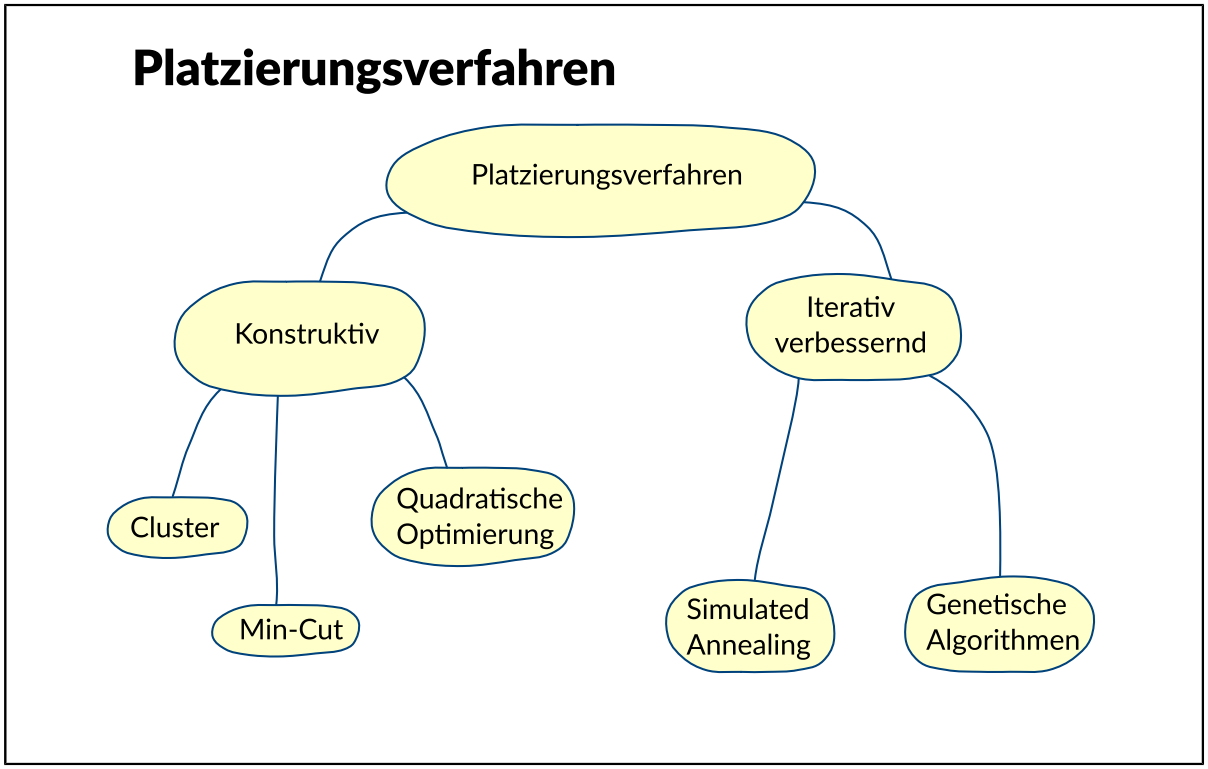


Optimierungsverfahren zur Platzierung werden in zwei Gruppen unterteilt, in konstruktive und iterativ verbessernde Optimierungsverfahren.

Konstruktive Optimierungsverfahren gehen von einer leeren Layoutfläche aus und bauen die Platzierung nach und nach auf. Schrittweise werden die Zellen auf der Layoutfläche angeordnet. Werden platzierte Zellen nicht mehr verschoben, d.h. werden einmal getroffene Entscheidungen nicht mehr revidiert, wird diese Vorgehensweise als "greedy" (gierig) bezeichnet. Zu der Klasse der konstruktiven Optimierungsverfahren gehören partitionsbasierte Verfahren. Partitionsbasierte Verfahren entsprechen der Layouterzeugungsstrategie "divide-and-conquer". Da die Problemgröße zu groß ist, wird durch die Partitionierung die Problemgröße so weit verkleinert, dass man diese beherrschen kann. Bei der Platzierung wird die Partitionierung weitergeführt, bis in einem Teil der Partition nur noch eine Zelle vorhanden ist.

Die iterativen Optimierungsverfahren benötigen eine Startplatzierung. Diese wird in der Praxis häufig mit konstruktiven Platzierungsverfahren gewonnen, kann aber auch zufällig erzeugt worden sein. Diese Optimierungsverfahren führen Veränderungen an der Startplatzierung durch und bewerten anhand der Kostenfunktion, ob die Veränderung zu einer Verbesserung der Platzierung geführt hat oder nicht. Anschließend wird entschieden, ob die Veränderung durchgeführt oder verworfen wird. Das Verfahren wird abgebrochen, wenn sich keine Verbesserungen durch die Veränderungen einstellen oder eine bestimmte Schranke für die Kostenfunktion unterschritten wird.

Platzierung: Platzierungsverfahren



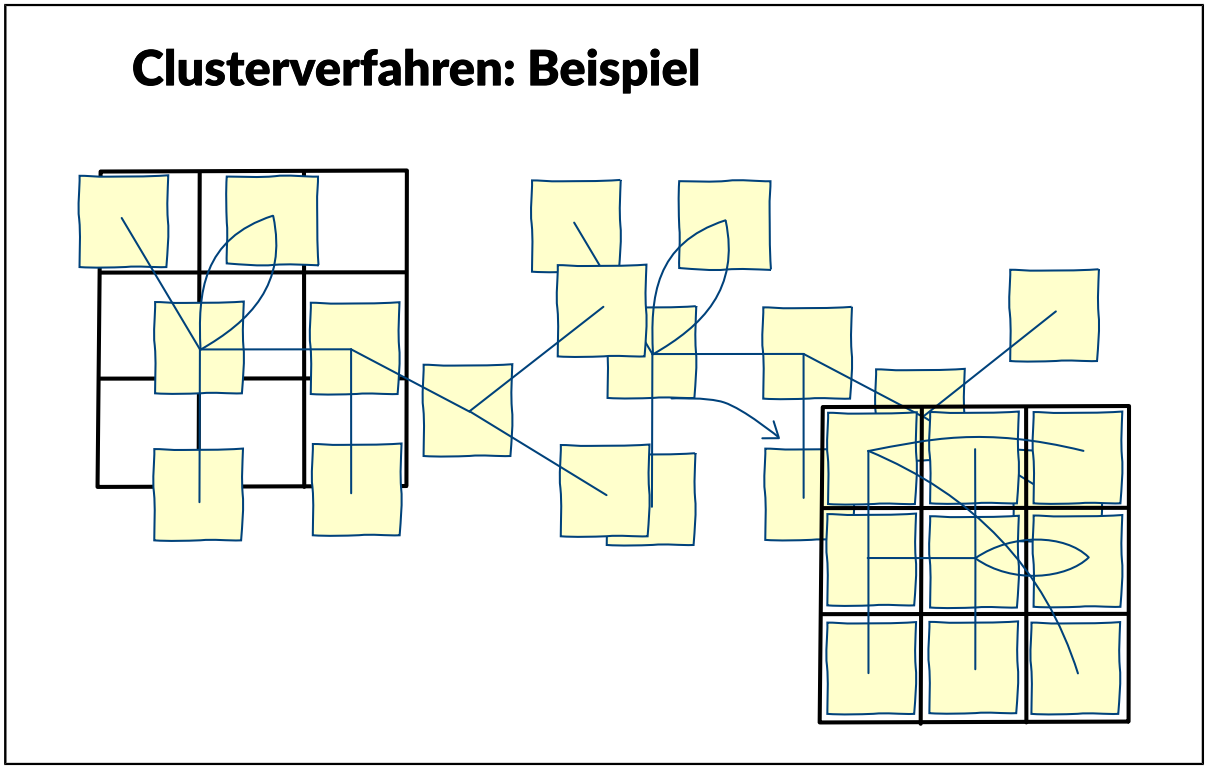
Platzierung: ..Clusterverfahren

Clusterverfahren

- Intuitiver Platzierungsansatz
- Bottom-up-Ansatz
- Greedy-Vorgehen

Das Cluster-Verfahren stellt einen intuitiven Platzierungsansatz dar. Bei diesem Verfahren wird zunächst eine Zelle auf der Layoutfläche platziert. Sequentiell werden die nächsten Zellen ausgewählt und ebenfalls auf der Layoutfläche platziert. Die Auswahl der zweiten und der folgenden Zellen ist nicht einheitlich geregelt. Meistens berücksichtigt man, wie stark die Verbindungen zu den schon platzierten Zellen sind. Generell wird eine Liste mit der Platzierungsreihenfolge unter Berücksichtigung der eben genannten Eigenschaft erstellt, die dann sequentiell abgearbeitet wird. Dieses Verfahren hat die Bezeichnung Cluster-Verfahren erhalten, da mit jeder Zelle, die zusätzlich auf der Layoutfläche platziert wird, eine weitere Zelle der Gruppe hinzugefügt wird. Die stark miteinander vernetzten Zellen werden in räumlicher Nähe angeordnet. Die explizite Platzierung in räumlicher Nähe wird nach Berechnung der Kostenfunktion für die jeweilige Anordnung durchgeführt. Dabei ist nachteilig, dass für die Berechnung der Kosten nur die Zellen eingehen können, die sich schon auf der Layoutfläche befinden. Alle noch nicht platzierten Zellen gehen nicht in die Berechnung der Kostenfunktion ein. Neben der Auswahl nach den meisten Verbindungen zu den schon platzierten Zellen gibt es Varianten, bei denen zufällig die nächsten Zellen ausgesucht und auf der Layoutfläche platziert werden. Dieser Ansatz beschreibt einen Bottom-Up-Ansatz. Getroffene Entscheidungen werden nicht revidiert, d.h. das Cluster-Verfahren ist "greedy".

Platzierung: ..Clusterverfahren: Beispiel



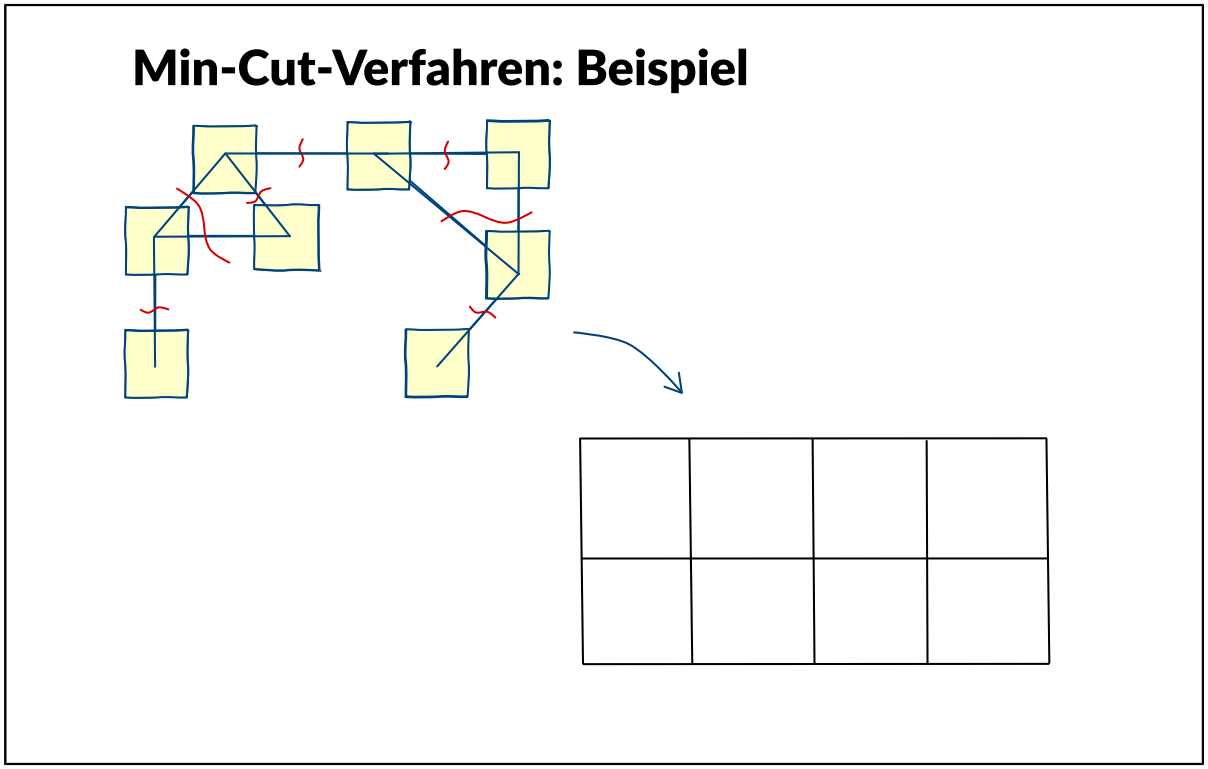
Platzierung: ..Min-Cut

Min-Cut-Verfahren

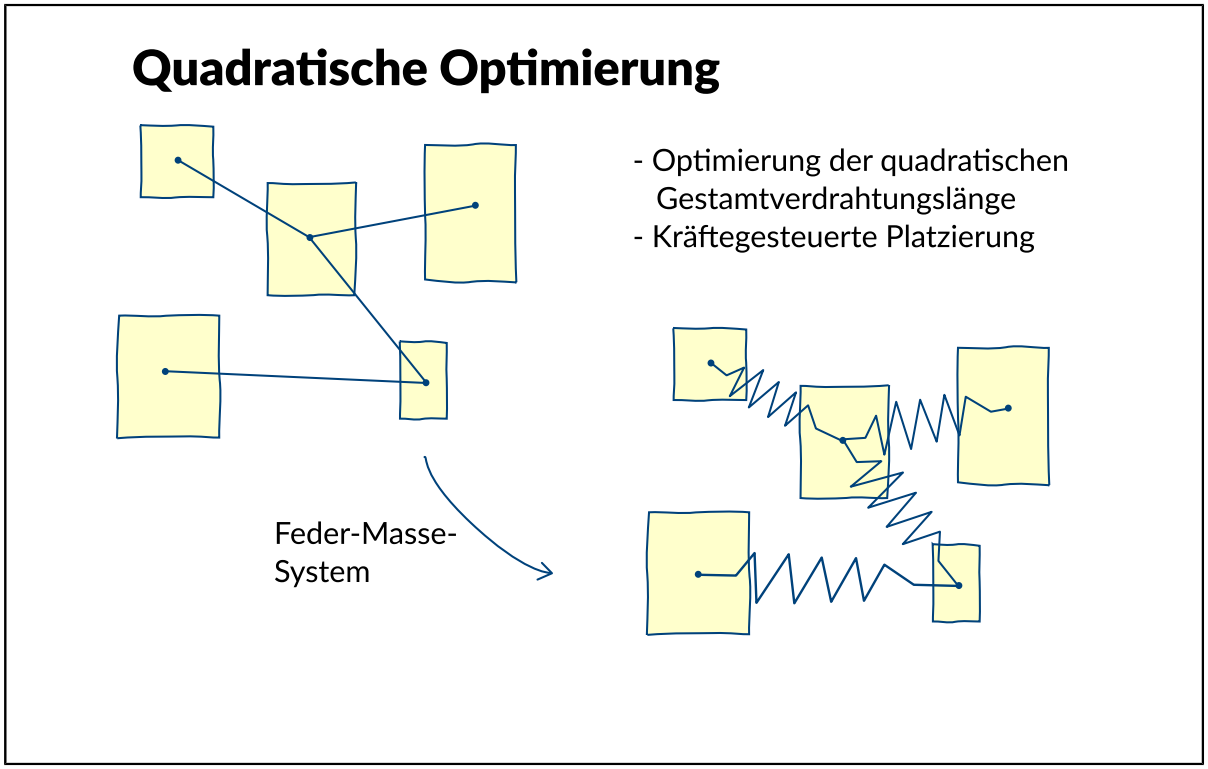
- Top-Down-Ansatz
- Rekursive Aufteilung (Partionierung) der Gesamtschaltung und der Layoutfläche
- Häufig: Aufteilung in zwei Teile (Bipartionierung)
- Bedingung: Möglichst kleine Anzahl von Verbindungen zwischen Teilpartionen

Das Min-Cut-Verfahren ist ein Partitionierungsalgorithmus. Es stellt im Gegensatz zum Cluster-Verfahren einen Top-Down-Ansatz dar. Das Grundprinzip des Min-Cut-Verfahrens beruht auf der rekursiven Aufteilung der Gesamtschaltung in jeweils zwei oder mehrere Teile. Die Aufteilung in zwei Teile wird Bipartitionierung, die Aufteilung in mehrere (>2) Teile wird Multiway-Partitionierung genannt.Gleichzeitig wird die Layoutfläche entsprechend den prozentualen Flächenanteilen der Teilpartitionen aufgeteilt. Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Bipartitionierung (also die Aufteilung in zwei möglichst gleich große Teilpartitionen) die besten Ergebnisse liefert. Dabei ist die Aufteilung der Fläche abwechselnd horizontal und vertikal durchzuführen. Die Partitionierung wird so lange durchgeführt, bis jede Teilpartition nur noch eine einzige Zelle aufweist. Rekursiv wird dann die Platzierung aufgebaut. Bei der Aufteilung einer Partition in Teilpartitionen wird darauf geachtet, dass möglichst wenige Verbindungen zwischen den beiden Teilpartitionen existieren. Das bedeutet, dass möglichst wenige Schnitte bei den Verbindungen gesetzt werden müssen. Diese Tatsache hat dem Verfahren den Namen "Min-Cut-Verfahren" gegeben.

Platzierung: ..Min-Cut: Beispiel



Platzierung: ..Quadratische Optimierung



Der Platzierungsansatz Quadratische Optimierung ist auch unter dem Begriff "Kräftegesteuerte Platzierung" bekannt. Unter der quadratischen Optimierung versteht man die Optimierung der quadratischen Abstände zwischen den Zellen. Das Verfahren modelliert das aus der Mechanik bekannte Feder-Masse-System, wobei die Zellen die Massen und die Verbindungen zwischen diesen die Federn darstellen. Die Massen werden als Punkte modelliert, d.h. sie haben keine physikalische Ausdehnung.

Platzierung: ....Feder-Masse-Modell

Feder-Masse-Modell

- Hookesches Gesetz

- Anziehende Kräfte zwischen Zellen aufgrund der Federkraft

- Gewichtung durch unterschiedliche Federkonstanten

- Generell: Unterscheidung zwischen festen und beweglichen Zellen

Aufgrund des Hookeschen Gesetzes verursachen die Federn bei räumlicher Entfernung der Zellen anziehende Kräfte. Die Federn modellieren die elektrischen Verbindungen zwischen den Zellen. Dabei können verschiedenen Verbindungen unterschiedliche Federkonstanten zugewiesen werden, wodurch eine größere Flexibilität und Einsetzbarkeit des Verfahrens gewährleistet wird. Sollen beispielsweise zwei Zellen aufgrund von Timing-Anforderungen sehr nah beieinander liegen, so kann die Federkonstante der Verbindung zwischen diesen Zellen höher eingestellt werden, so dass die anziehende Kraft aufgrund dieser Feder ebenfalls größer wird. Häufig wird die Federkonstante entsprechend der Zahl der Verbindungen zwischen zwei Zellen eingestellt. Generell wird zwischen beweglichen und festen (z.B. Ports) Zellen unterschieden.

Platzierung: ....Energie-Berechnung

Energie-Berechnung

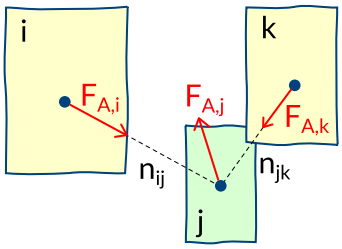
- Physikalische Systeme: Anordnung in einem energiearmen Zustand
- Potentielle Energie einer Feder

$$E = \int \vec{F}\vec{ds} = \int c \cdot x \, dx = c \cdot \frac{x^2}{2} + \text{const.}$$

- Summe über alle Federn liefert potentielle Energie des Systems

$$E_{ges} = \sum_i E_i$$

- Entspricht Summe der quadrierten Längen



Physikalische Systeme sind bestrebt, einen möglichst energiearmen Zustand einzunehmen.

Die potentielle Energie einer Feder wird durch eine Integration über die entsprechende Auslenkung der Feder berechnet. Die Federkraft berechnet sich zu Federkonstante mal Auslenkung. Die Integration über die Auslenkung liefert die potentielle Energie. Werden die potentiellen Energien aller Federn addiert, so erhält man die potentielle Energie des Federsystems. Diese Energie ist proportional zu der Summe der quadrierten Längen.

Platzierung: ....Kräftegleichgewicht

Kräftegleichgewicht

- Kräfte zwischen beweglichen sowie zwischen festen und beweglichen Zellen liefern Energiebetrag

$$E_1 = 0{,}5\ \mathbf{x}^T\ \mathbf{C}\ \mathbf{x}$$

- Kräfte zwischen festen und beweglichen Zellen liefern zusätzlichen Energiebetrag

$$E_2 = \mathbf{x}^T\ \mathbf{d}$$

- Kräfte zwischen festen Zellen liefern zusätzlich konstanten Energiebetrag
- Gestamtenergie des Federsystems ergibt sich als

$$E_{total} = 0{,}5\ \mathbf{x}^T\mathbf{C}\ \mathbf{x} + \mathbf{x}^T\ \mathbf{d} + \text{const.}$$

- Minimieren durch Ableitung und Lösung der Gleichung

$$\mathbf{C}\ \mathbf{x} + \mathbf{d} = \mathbf{0}$$

- Entspricht Kräftegleichgewicht des Federsystems

Zu den bisher beschriebenen Kräften zwischen den beweglichen Zellen treten Kräfte zwischen den festen und beweglichen Zellen sowie zwischen festen Zellen untereinander auf. Diese liefern zusätzliche Energiebeiträge.

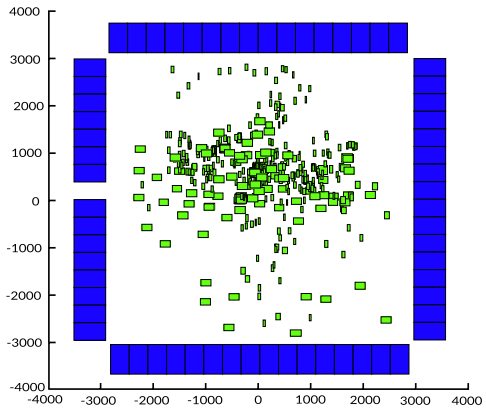
Da physikalische Systeme bestrebt sind, den Zustand minimaler Energie anzunehmen, wird das Minimum der potentiellen Energie durch die Ableitung der Matrixgleichung berechnet. Die Ableitung ist C*x+d. Extremwerte lassen sich durch die Nullstellen der Ableitung bestimmen. Physikalisch entspricht die Berechnung der neuen Auslenkungen X einem Kräftegleichgewicht. Man bestimmt also die Position der Masseteilchen, bei der die auf die Masseteilchen wirkenden Kräfte sich aufheben.

Mathematisch betrachtet lässt sich die Kostenfunktion für die quadratische Optimierung mittels einer Matrixgleichung beschreiben. Die Matrix C beinhaltet die Verbindungen zwischen den beweglichen Zellen sowie zwischen festen und beweglichen Zellen, während Verbindungen zwischen beweglichen und festen Zellen zusätzlich Beiträge zu der Matrix d liefern. Das Minimum der Kostenfunktion kann mittels der Gleichung Cx + d = 0 gefunden werden. Diese Gleichung stellt die Ableitung der Kostenfunktion dar. An dieser Gleichung sieht man die Notwendigkeit der festen Zellen für diesen Ansatz. Sind keine festen Zellen vorhanden, so ist der Vektor d ein Nullvektor. Das führt dazu, dass die Platzierung x ebenfalls ein Nullvektor wird. Alle Zellen liegen dann im Ursprung übereinander.

Platzierung: ....Initialplatzierung

Initialplatzierung

Lösung der Matrixgleichung ergibt Initialplatzierung:



Die Lösung der Gleichung Cx + d = 0 stellt lediglich eine so genannte Initialplatzierung dar. Es sind noch viele Überlappungen vorhanden.

Platzierung: ....Abstoßende Kräfte

Abstoßende Kräfte

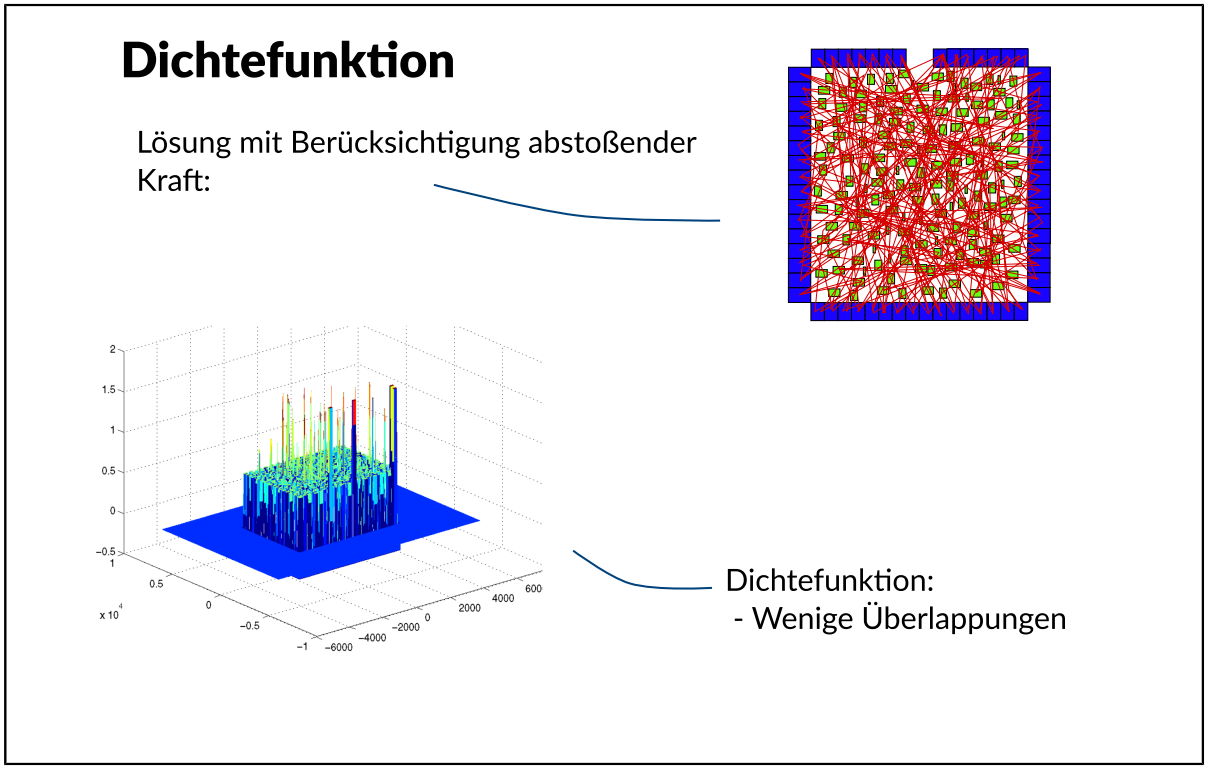
- Extreme Ungleichverteilung auf der Layoutfläche
- Viele Überlappungen
- Einführung von abstroßenden Kräften **e** für eine gleichmäßige Verteilung

$$\mathbf{C\,x} + \mathbf{d} + \mathbf{e} = \mathbf{0}$$

- Iterative Lösung durch schrittweise Aktualisierung von **e**

Aufgrund der Überlappungen ist eine extreme Ungleichverteilung auf der Layoutfläche vorhanden. Um diese Ungleichverteilung zu beseitigen, werden abstoßende Kräfte eingeführt. Die zu lösende Gleichung lautet dann C*X + d + e = 0. Die abstoßenden Kräfte werden iterativ angepasst. Mit jeder neuen Iteration werden zunächst die abstoßenden Kräfte aktualisiert, und anschließend wird die neue Platzierung berechnet.

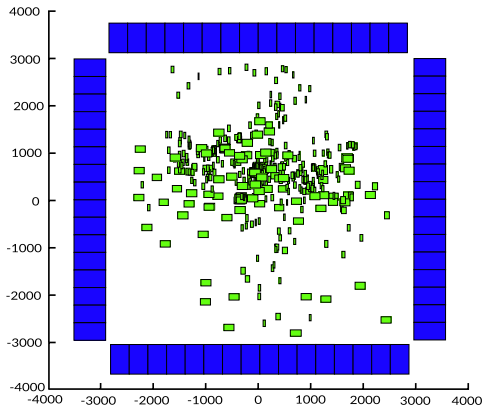
Platzierung: ....Dichtefunktion



Die Größe der abstoßenden Kräfte wird häufig proportional zur Anzahl der sich in einem Flächenbereich überlappenden Zellen gewählt. Hiermit kann eine so genannte Dichtefunktion bestimmt werden. Das Bild zeigt eine mit Berücksichtigung abstoßender Kräfte berechnete Platzierung. Die Zellen sind relativ gleichmäßig auf der Layoutfläche verteilt. Da nur noch einige wenige Überlappungen existieren, sind nur wenige Peaks in der Dichtefunktion vorhanden.

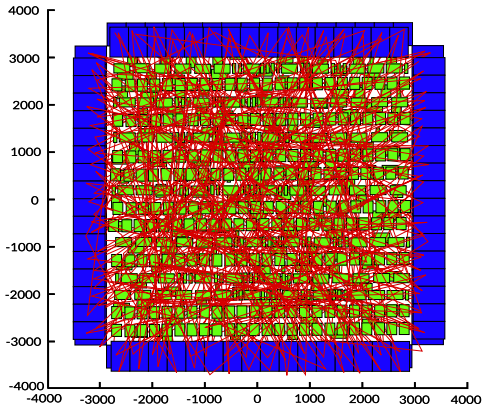
Platzierung: ....Beispiel

Beispiel



Platzierung: ....Legalisierung

Legalisierung



Zum Abschluss der Platzierung findet häufig (z.B bei der Platzierung von Standardzellen) ein so genannter Legalisierungsschritt statt. Dabei werden die berechneten Platzierungspositionen so angepasst, dass sich eine "regelmäßige" Platzierung, z.B. in Reihen, ergibt.

Platzierung: ..Simulated Annealing

Simulated Annealing

- Häufig eingesetztes Optimierungsverfahren
- Liefert sehr gute Ergebnisse
- Rechenintensiv

Simulated Annealing ist ein Optimierungsverfahren, das schon beim Floorplanning ausführlich vorgestellt worden ist. Aufgrund der vielen Einsatzmöglichkeiten und der einfachen Implementierung wird Simulated Annealing auch für die Platzierung eingesetzt. Das Verfahren liefert sehr gute Ergebnisse, ist aber auch sehr rechenintensiv.

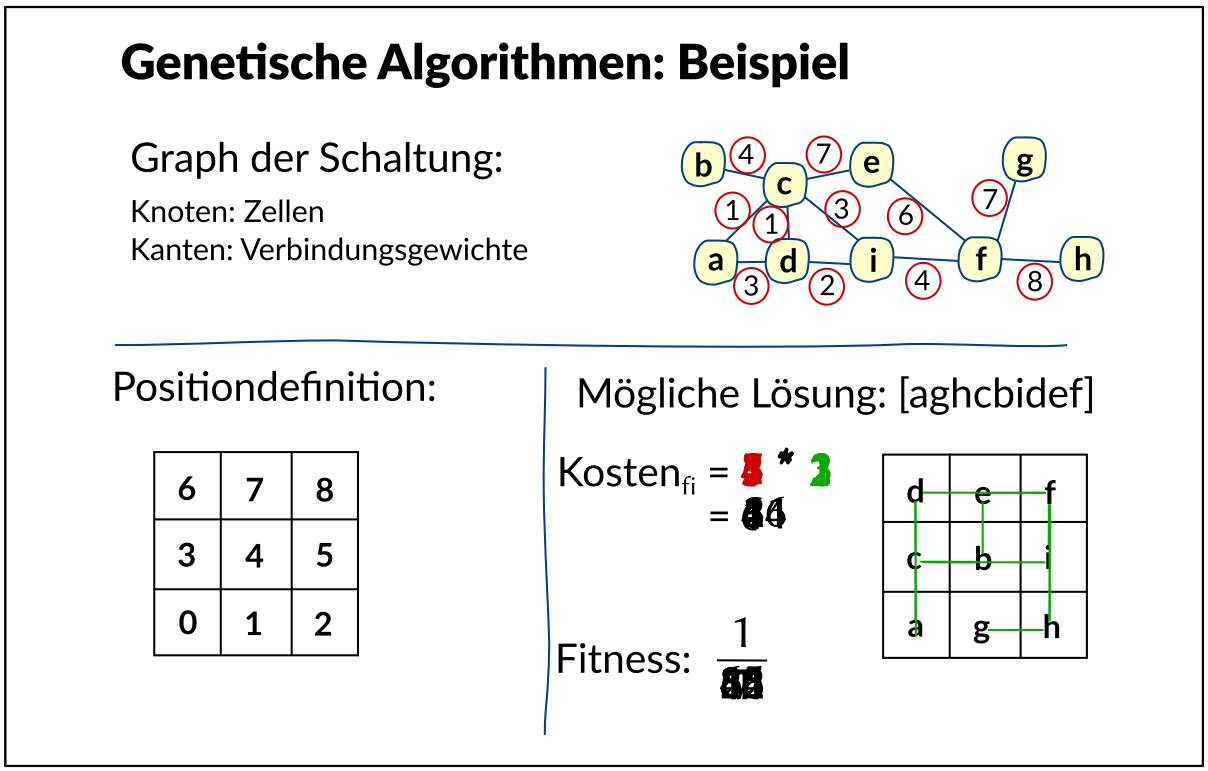
Platzierung: ..Genetische Algorithmen

Genetische Algorithmen

- Individuen: Mögliche (gültige!) Lösungen des Platzierungsproblems
- Gene: Symbole für die Darstellung der Lösung
- Chromosomen: Kette von Symbolen
- Generation: Iterationsschritt
- Population: Menge von Individuen
- Fitness: Bewertungsfunktion für die Güte

Genetische Algorithmen sind der Evolution in der Natur nachempfunden. In der Natur passen sich die Lebewesen der Umgebung, in der sie leben an. Diejenigen, die an die Umgebung am besten angepasst sind, haben eine erheblich größere Überlebenswahrscheinlichkeit. Das Phänomen wird als "survival of the fittest" bezeichnet. Genetische Algorithmen werden auch für Platzierung integrierter Schaltungen verwendet. Mögliche Lösungen des Platzierungsproblems werden als Individuen bezeichnet. Sie werden häufig durch eine Kette von Symbolen repräsentiert. Die Symbole, die für die Darstellung der Lösung benötigt werden, werden als Gene bezeichnet. Eine Kette von Symbolen bestimmter Länge wird als Chromosom bezeichnet. Da genetische Algorithmen iterativ sind, wird jede Iteration mit dem Begriff der Generation gekennzeichnet. Eine Menge gültiger Platzierungen (Individuen) wird mit Population bezeichnet. Nach jeder Iteration werden die Individuen der Populationen anhand von Fitness-Tests bewertet. Dieses stellt die Kostenfunktion bei den genetischen Algorithmen dar. Die Fitness bewertet somit die Qualität der Platzierung.

Platzierung: ....Beispiel



Als Beispiel sei hier ein Zuordnungsproblem betrachtet. Die neun Knoten des Graphen repräsentieren neun Zellen, die auf die neun Plätze 0 bis 8 verteilt werden sollen. An den Kanten des Graphen sind die Gewichte für die einzelnen Verbindungen angetragen. Die Fitness wird hier als der Kehrwert der gewichteten Manhattan-Abstande berechnet. Eine mögliche Lösung des Problems ist in Teil (c) der Abbildung dargestellt. Die Darstellung der Lösung erfolgt über eine Zeichenkette der Länge 9, wobei das erste Zeichen der Zeichenkette der Position 0 zugeordnet wird und das letzte Zeichen der Position 8. Demnach kann man als Lösung [aghcbidef] als Lösungs-Zeichenkette angeben. Die Fitness berechnet sich dann zu 1/85.

Platzierung: ....Operatoren

Genetische Operatoren

- Erzeugung neuer Generation durch Anwendung genetischer Operatoren
  - Crossover
  - Mutation
  - Selektion
- Anzahl der Individuen in einer Generation beschränkt

Aus den Eltern werden die Nachfahren (neue Generation) durch die Anwendung dreier genetischer Operatoren gewonnen. Die drei genetischen Operatoren sind Selektion, Crossover und Mutation. Den durch die drei Operatoren gewonnenen Individuen, den Nachfahren, werden Fitnesswerte zugewiesen. Die neue Generation ergibt sich aus einer bestimmten Anzahl von Individuen aus der Elterngeneration und einer bestimmten Anzahl von Individuen aus der Nachfolgegeneration. Die Anzahl der Individuen in der Population ist beschränkt. Da für die Nachfolgegeneration bevorzugt Individuen höherer Fitness ausgewählt werden, werden Individuen mit schlechten Genen und schließlich schlechter Fitness aus der Population gelöscht. Das Ergebnis ist, dass die Population im Verlauf der Generationen zunehmend bessere Platzierungsergebnisse aufweist.

Platzierung: .....Crossover

Crossover

- Wähle zwei Individuen aus der Elterngeneration

- Schnitt nach dem fünften Zeichen

  [bidef | aghc] (1/86) und [bdefi | gcha] (1/110)

- Crossover-Nachfahre: [bidefgcha] (1/63)

Crossover ist eine sehr wichtige genetische Operation. Es benötigt mehr als ein Individuum aus der Elterngeneration, um ein Individuum der Nachfolgegeneration zu erzeugen. im gezeigten Beispiel besteht das Crossover aus einem zufällig ausgewählten Schnitt und der Kombination aus der linken Hälfte des einen Elternteils mit dem anderen Teil des anderen Elternteils.

Wird zufällig der Schnitt nach dem fünften Zeichen durchgeführt, so erhält man mit den dargestellten Elternindividuen, von dem ersten Elternteil wird der linke Teil der Zeichenkette, von dem zweiten Elternteil der rechte Teil der Zeichenkette übernommen, das neue Individuum mit der Fitness (1/63).

Das hier vorgestellte Beispiel ist ein Sonderfall, da Zeichen aus dem linken Teil des ersten Elternteils in dem rechten Teil des zweiten Elternteils nicht vorkommen. Wäre dieses der Fall, so wäre der Nachfahre keine gültige Lösung des Platzierungsproblems. Aus diesem Grunde sind verschiedene Modifikationen an dem Crossover-Operator vorzunehmen, so dass die Nachfahren gültige Lösungen darstellen.

Platzierung: .....Mutation

Mutation

- Zufällige Vertauschung von Zeichen innerhalb der Zeichenkette

- Gesteuert durch Mutationsrate

- Beispiel: [bidefaghc] (1/86) → [bidefcgha] (1/74)

[bidefgcha] (1/63)

Die Mutation ist eine weitere genetische Operation. Nachfahren werden hier dadurch erzeugt, dass zufällig Vertauschungen an den Genen durchgeführt werden. Die Mutation wird durch die Mutationsrate gesteuert. Sie gibt das Verhältnis der Vertauschungen zur Anzahl der Gene an.

Das Beispiel zeigt das ursprüngliche Individuum. Durch zweifache Mutation (Vertauschung von a mit c, anschließend Vertauschung von c und g) entsteht das Nachfolgeindividuum, das zufälligerweise dieselbe Fitness aufweist.

Platzierung: .....Selektion

Selektion

- Auswahl der Individuen für Nachfolgegeneration

- Populationsgröße bleibt konstant

- Auswahlmöglichkeiten:
  - Zufällig
  - Auswahl der besten Individuen
  - Kombination der beiden Ansätze

Nebenbedingung bei der Auswahl der Individuen für die Nachfolgegeneration ist, dass die Populationsgröße konstant bleibt.

Der Ansatz aus der Vereinigungsmenge der aktuellen Generation und den erzeugten Nachfahren zufällig Individuen auszuwählen, kann dazu führen, dass die Fitness der Population fällt. Auf der anderen Seite bleibt eine globale Sicht erhalten, da die Möglichkeit besteht, auf Grund der Akzeptanz der schlechteren Individuen, lokale Minima zu überwinden. Bei der Auswahl der besten Individuen steigt die Fitness mit jeder neuen Generation, da nur die Individuen mit den besten Fitnesswerten in die Nachfolgegeneration übernommen werden.

Eine Kombination der beiden Ansätze scheint vielversprechend, da die Vorteile beider Ansätze kombiniert werden können.

Platzierung: Bewertung der Verfahren

Bewertung der Verfahren

Verfahren	Qualität	Rechenzeit
Cluster	-	+
Min-Cut	0	+
Quadratische Optimierung	+	+
Simulated Annealing	+	0
Genetische Algorithmen	+	-

Während die konstruktiven Platzierungsalgorithmen (Cluster-Verfahren oder Min-Cut-Verfahren) sehr schnell sind, erreichen die Platzierungsergebnisse nicht die Qualität der iterativ verbessernden Algorithmen. In der Praxis werden aus diesem Grunde zumeist konstruktive Platzierungsalgorithmen mit nachgeschaltetem iterativ verbesserndem Teil verwendet. Damit sind derzeit gängige Problemgrößen handhabbar. Die Ergebnisqualität der kräftegesteuerten Platzierungsverfahren ist mit den Platzierungsergebnissen des derzeit gängigsten Verfahrens, des Simulated Annealing, vergleichbar. Wird dem Simulated Annealing jedoch hinreichend viel Rechenzeit zur Verfügung gestellt, so findet der Algorithmus ein sehr gutes Ergebnis. Das ist der Grund dafür, dass dem Simulated Annealing bei der Platzierungsqualität ein besserer Wert zugewiesen wird als dem Min-Cut-Verfahren.