MetroMap-Layout-konforme Visualisierung von Höchstspannungsnetzen

Robin Möhring

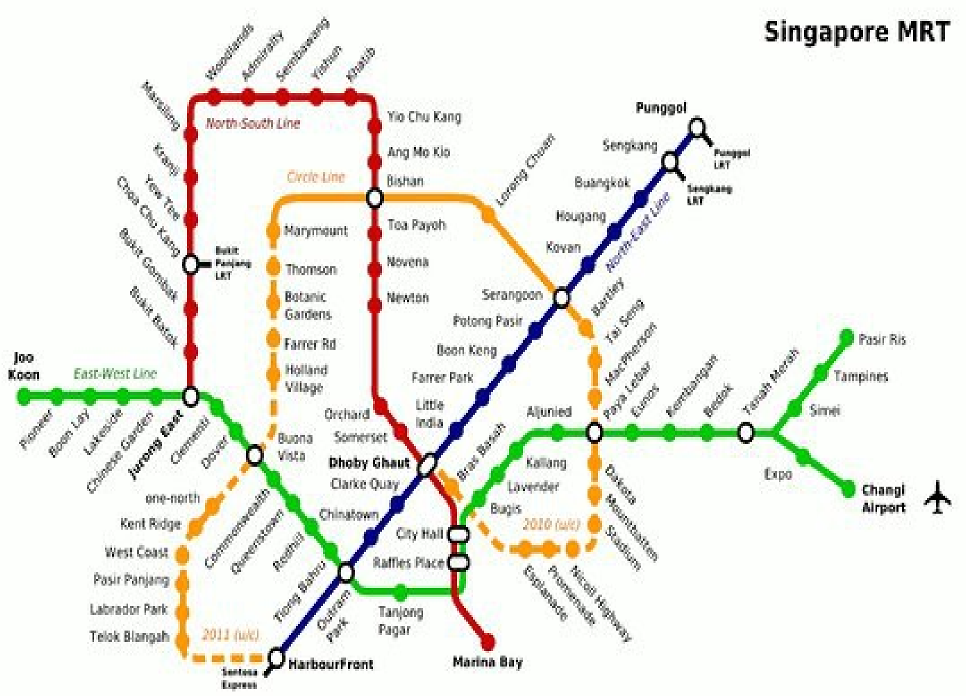
Inhaltsangabe


Deutsches
Höchstspannungsnetz
Nordsee
Ostsee
DK
NL
B
L
F
CH
A
CZ
PL
Kiel
Schleswig-
Holstein
Hamburg
Schwerin
Mecklenburg-Vorpommern
Bremen
Niedersachsen
Brandenburg
Berlin
Potsdam
Hannover
Magdeburg
Sachsen-Anhalt
Dortmund
Essen
Düsseldorf
Nordrhein-Westfalen
Köln
Kassel
Leipzig
Dresden
Sachsen
Erfurt
Thüringen
Hessen
Frankfurt
Wiesbaden
Mainz
Rheinland-
Pfalz
Saarland
Saarbrücken
Nürnberg
Bayern
Karlsruhe
Stuttgart
Baden-Württemberg
München
Leitungsverbindungen
380 kV / in Bau / in Planung
220 kV
150/220 kV / in Bau / in Planung
(Offshore-Anschlüsse)
HGÜ-Leitung / in Bau /
in Planung
Umspannwerke
HGÜ-Stationen
Städte
01.01.2016
Kartografie: www.kartopolis.de
FNN
FORUM NETZTECHNIK/
NETZBETRIEB IM VDE
© VDE VERBAND DER ELEKTROTECHNIK ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK e.V.


Dortmund
Essen
Düsseldorf
Nordrhein-Westfalen
Köln


Singapore MRT
North-South Line
East-West Line
Circle Line
North-East Line
Woodlands
Admiralty
Sembawang
Yishun
Khatib
Marsiling
Kranji
Yew Tee
Choa Chu Kang
Bukit Gombak
Bukit Batok
Bukit Panjang LRT
Yio Chu Kang
Ang Mo Kio
Bishan
Toa Payoh
Novena
Newton
Orchard
Somerset
Dhoby Ghaut
City Hall
Raffles Place
Marina Bay
Marymount
Thomson
Botanic Gardens
Farrer Rd
Holland Village
Buona Vista
one-north
Kent Ridge
West Coast
Pasir Panjang
Labrador Park
Telok Blangah
2011 (u/c)
HarbourFront
Sentosa Express
Lorong Chuan
Serangoon
Bartley
Tai Seng
MacPherson
Paya Lebar
Dakota
Mountbatten
Stadium
Nicoll Highway
Promenade
Esplanade
Bras Basah
2010 (u/c)
Punggol
Punggol LRT
Sengkang
Sengkang LRT
Buangkok
Hougang
Kovan
Potong Pasir
Boon Keng
Farrer Park
Little India
Clarke Quay
Chinatown
Outram Park
Joo Koon
Pioneer
Boon Lay
Lakeside
Chinese Garden
Jurong East
Clementi
Dover
Commonwealth
Queenstown
Redhill
Tiong Bahru
Tanjong Pagar
Bugis
Lavender
Kallang
Aljunied
Eunos
Kembangan
Bedok
Tanah Merah
Simei
Tampines
Pasir Ris
Expo
Changi Airport

Motivation und Hintergrund

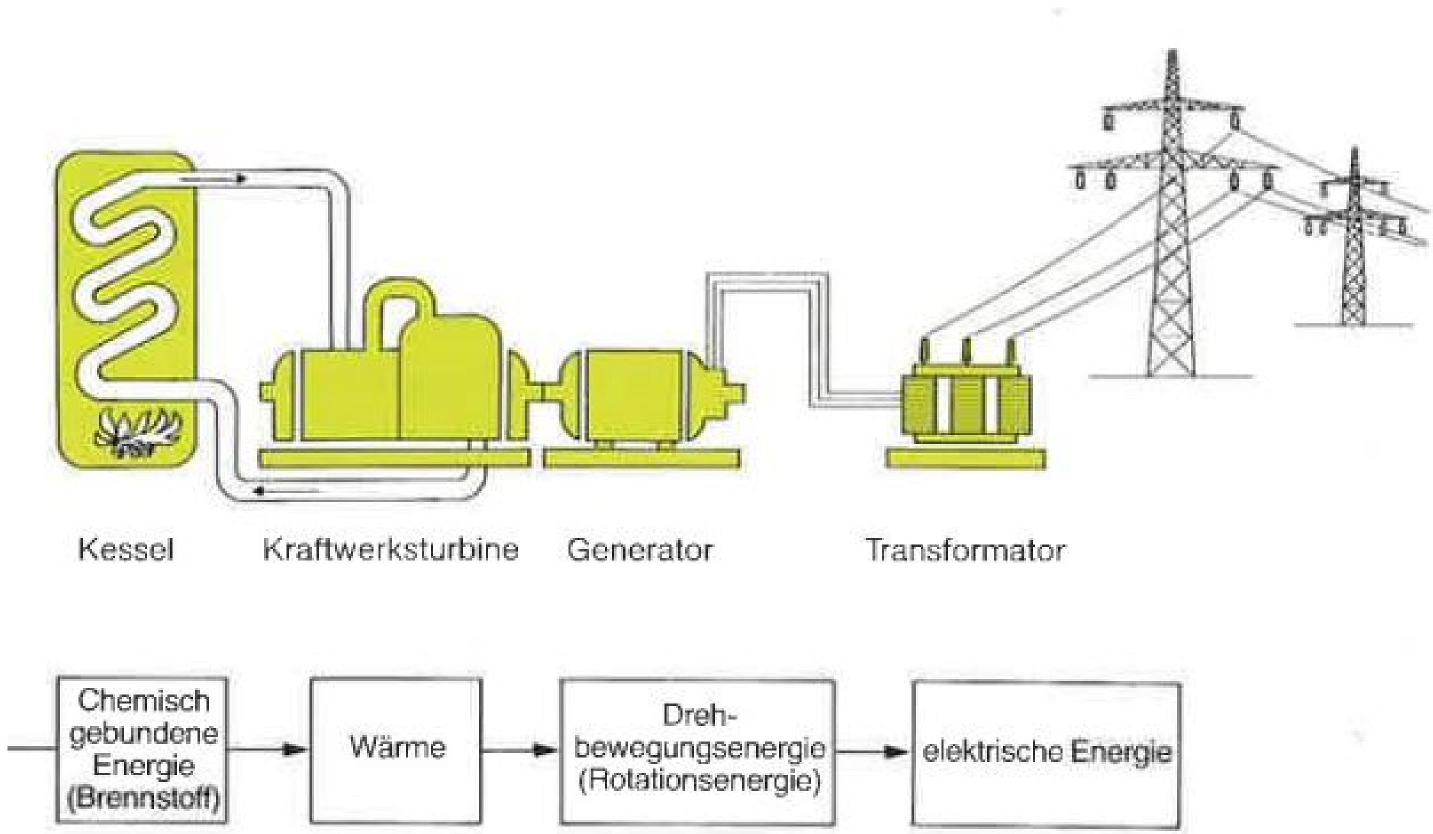


Höchstspannungsnetz

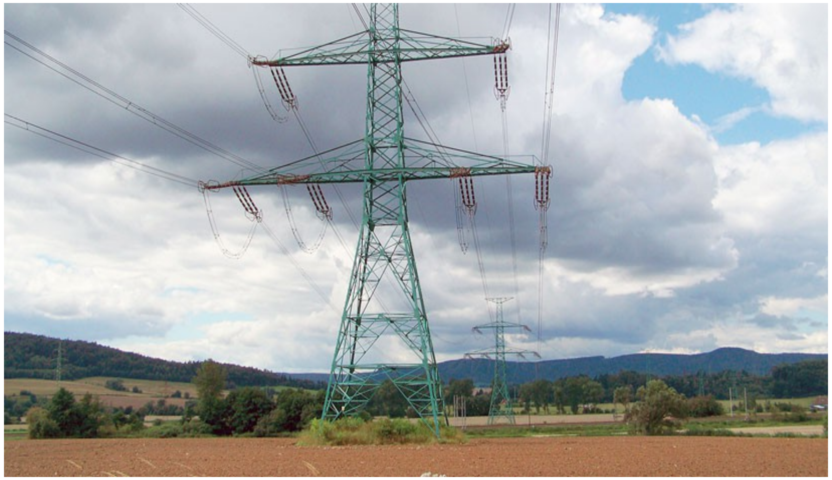
- Übertragung der elektrischen Energie über große Distanzen
- Erzeugung der Energie findet in Kraftwerken statt, die teils weit entfernt vom Verbraucher liegen
- Bei geringer Spannung ist der Verlust der Energie bei der Übertragung zu groß
- $P = U * I$
- Spannung U, Strom I und Leistung P

Höchstspannungsnetz

- Transformation der Spannungen mittels Transformatoren



Höchstspannungsnetz

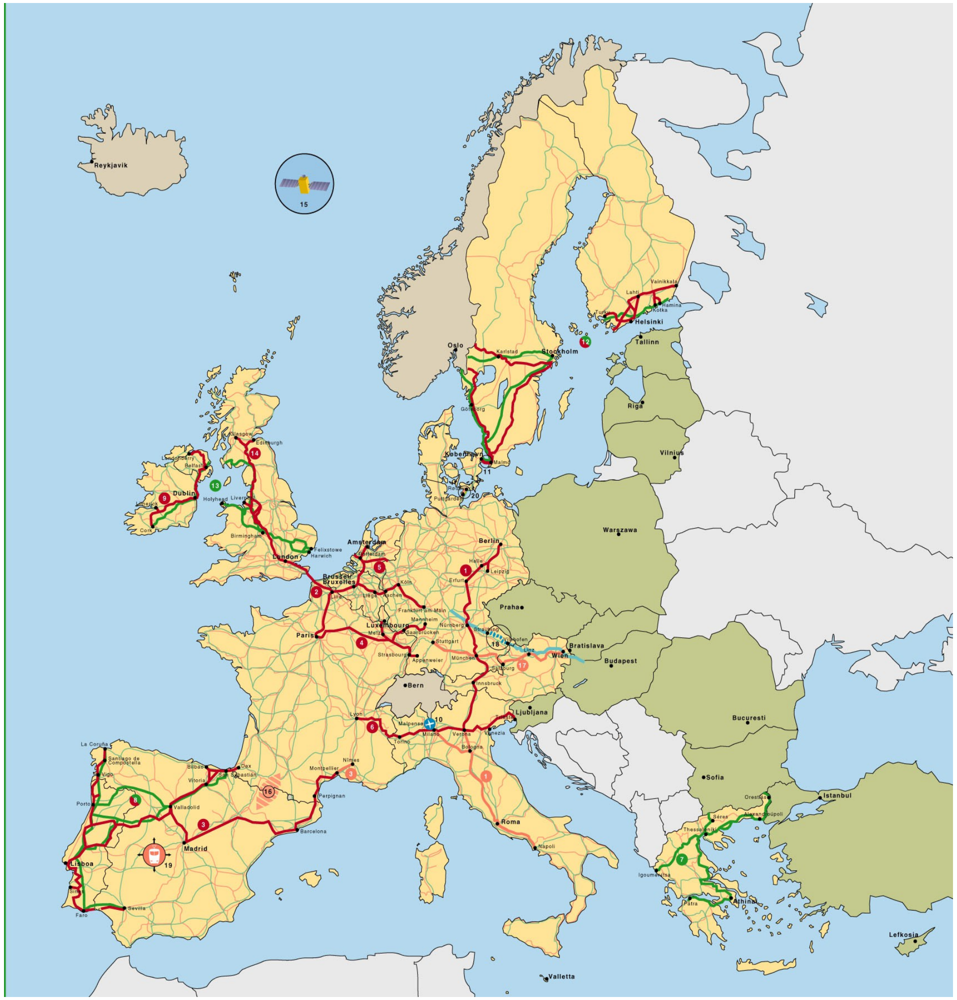


Höchstspannungsnetz

- Höchstspannungsleitungen alles über *150 000V*
- In Deutschland entweder *380 000V* oder *220 000V*
- Überregionale Übertragung
- Großer Vorteil eines großen Netzes ist der Nutz- und Erzeugerausgleich

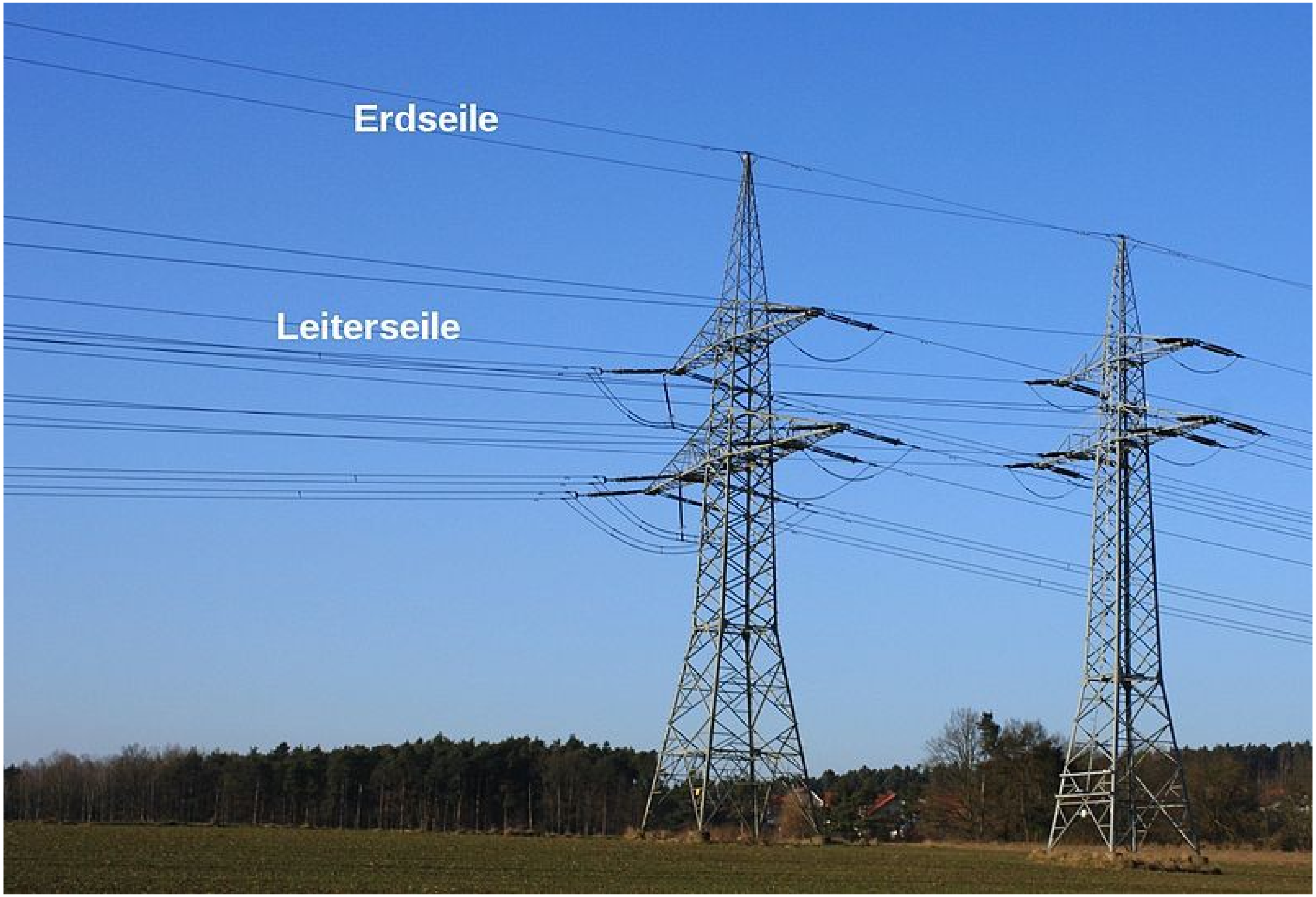
Höchstspannungsnetz

- Erstreckt sich über ganz Europa



Höchstspannungsnetz

- Übertragung über Kabel- oder Freileitung

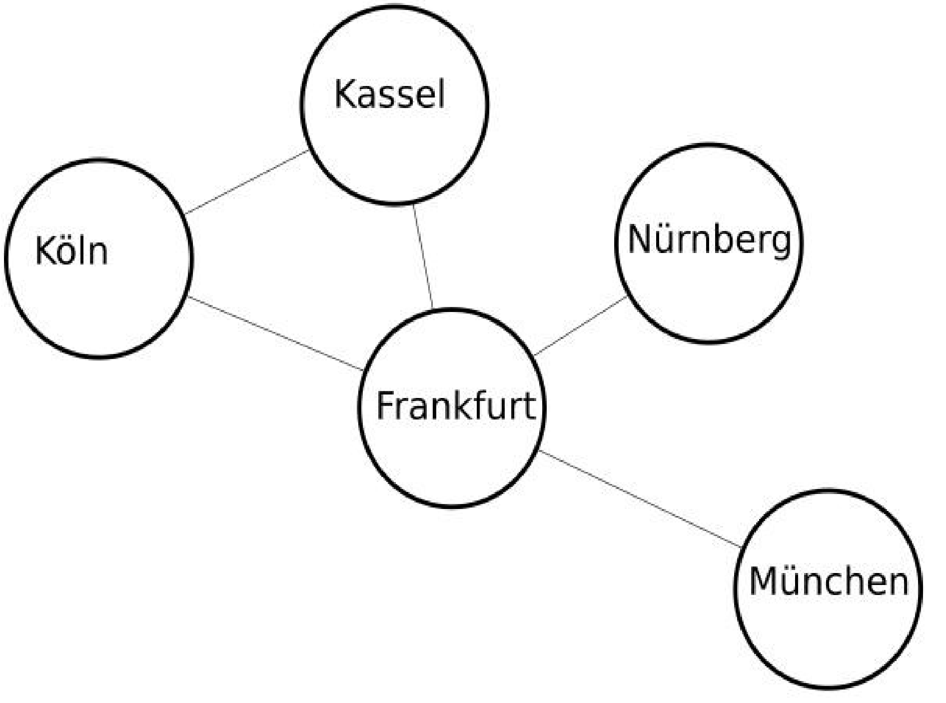


Höchstspannungsnetz

- Jeweils 3 bis 4 Leiter
- Erdseile
- Je nach Spannung werden unterschiedliche Materialien für die Masten und die Isolatoren verwendet
- Viele weitere Faktoren spielen eine wichtige Rolle (Windbelastungen, Schneelasten, Stadtbild)

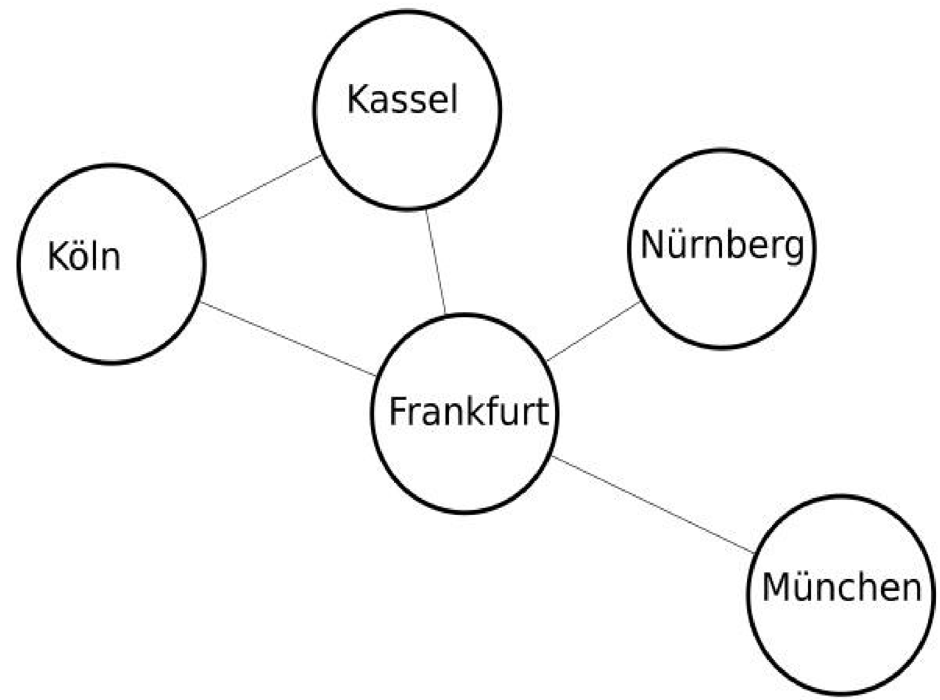
Graph

- Verwendete Datenstruktur zur Modellierung des Höchstspannungsnetzes
- Einfache Knoten mit x und y Koordinaten
- Kanten haben einen Start- und Endknoten



Graph

- Städte werden durch Knoten realisiert
- Kanten stellen die Verbindungen dar
- Stets ungerichtet



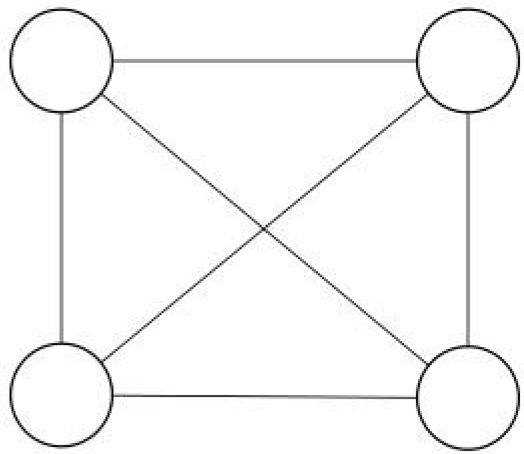
Graph

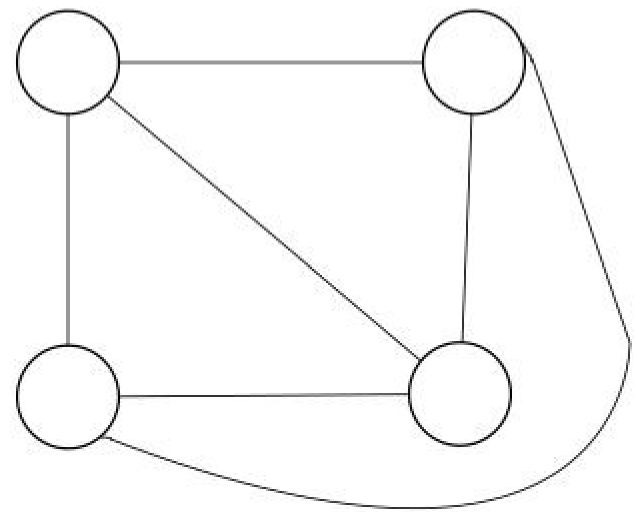
- Planarität:

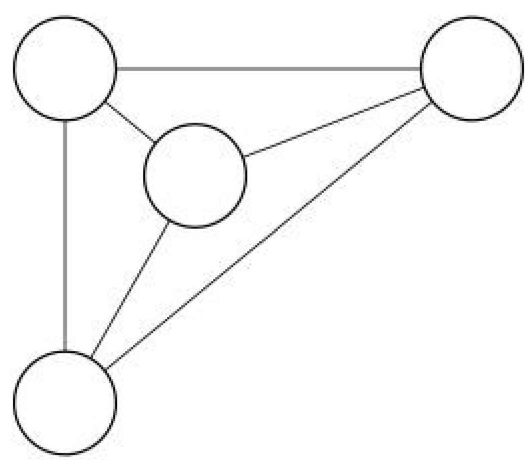
  Ein Graph ist planar sofern er eine Darstellung hat, indem sich keine Kanten überschneiden
- Es gibt Möglichkeiten einen planaren Graphen auch nicht planar darzustellen
- Ist der Graph planar, so gibt es immer auch eine Möglichkeit diesen mittels geraden Kanten planar darzustellen

Graph

- Planarität

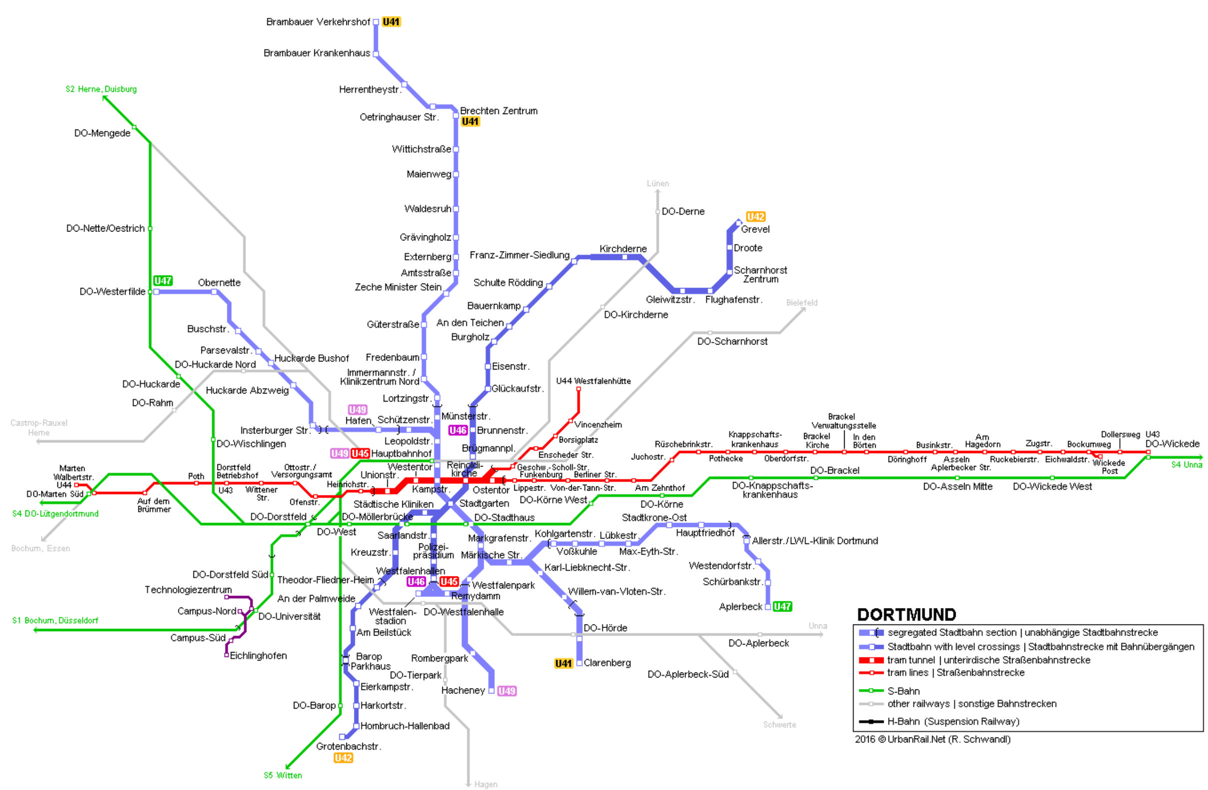






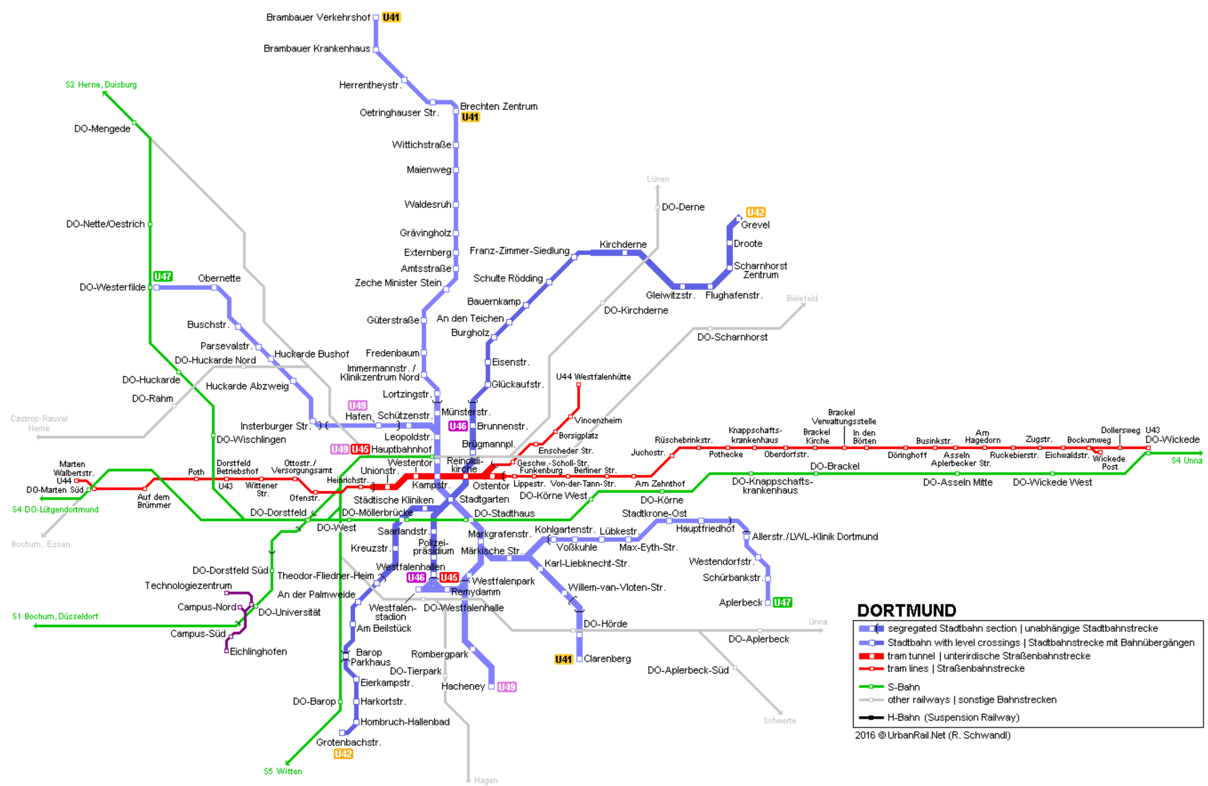
MetroMap-Layout-Problem

- MetroMap ist die besondere Darstellung eines Graphen
- Soll sehr übersichtlich und leserlich sein
- Häufig Verwendet zur Darstellung von Bus- und Bahnnetzen
- Fast alle verwendeten Karten sind manuell gezeichnet



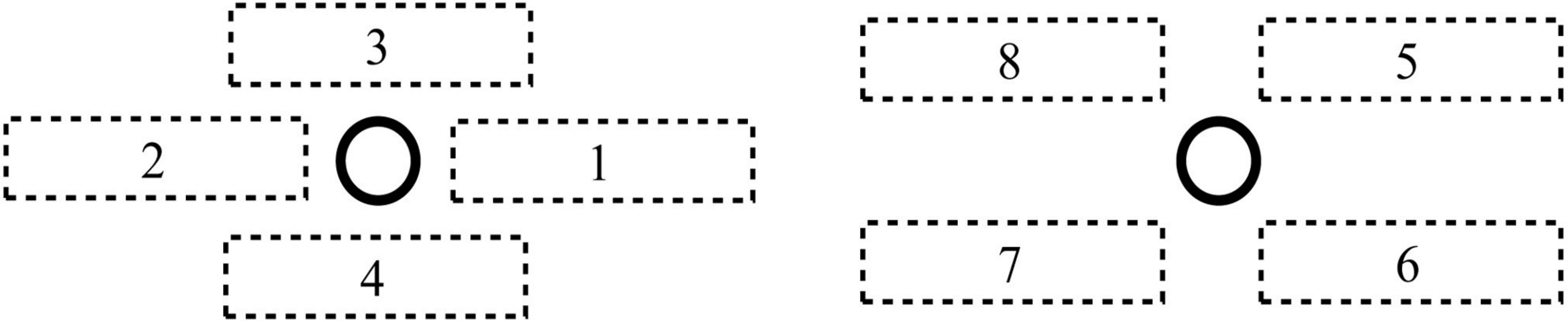
MetroMap-Layout-Problem

- Einige wichtige Eigenschaften:
- Benutzt viele Farben zur besseren Visualisierung
- Planar!
- Unterschiedliche Formen
- Ist nicht mehr geographisch richtig



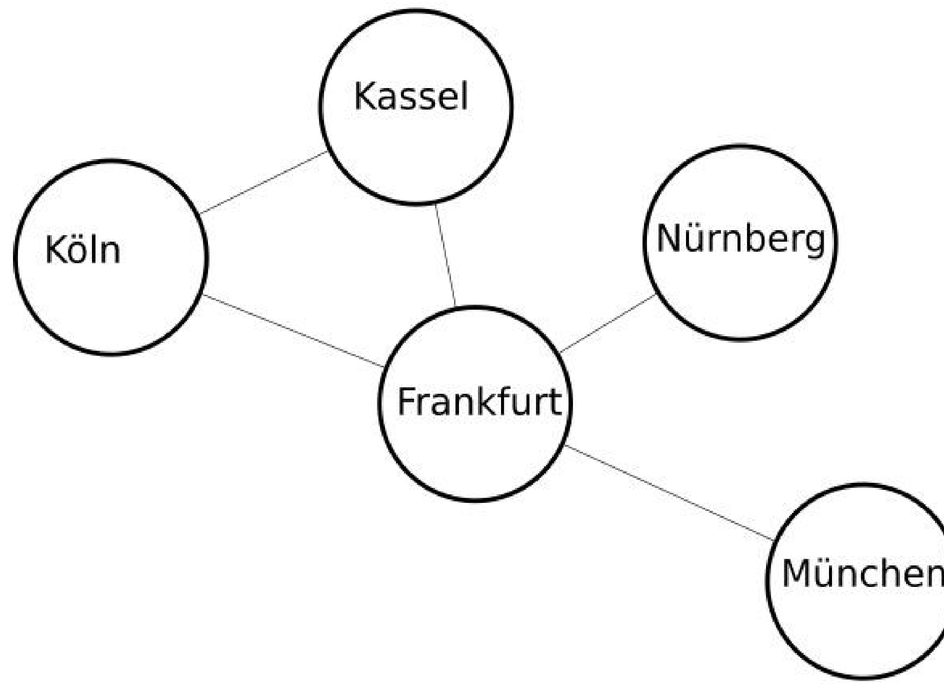
MetroMap-Layout-Problem

- Beschriftung der Objekte



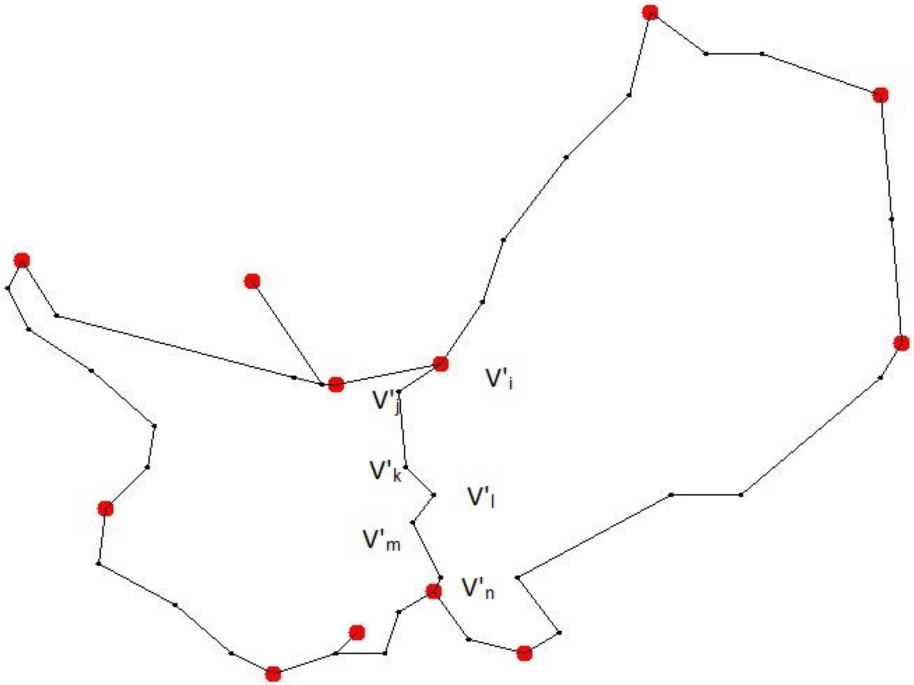
Vom Höchstspannungsnetz zum Graphen

- Wie aus der Karte einen Graphen bekommen



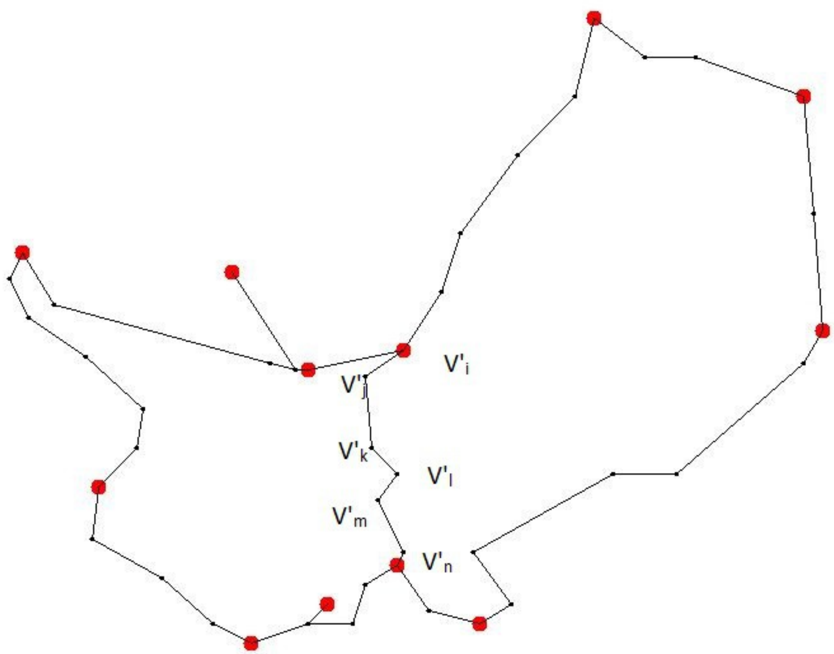
Vom Höchstspannungsnetz zum Graphen

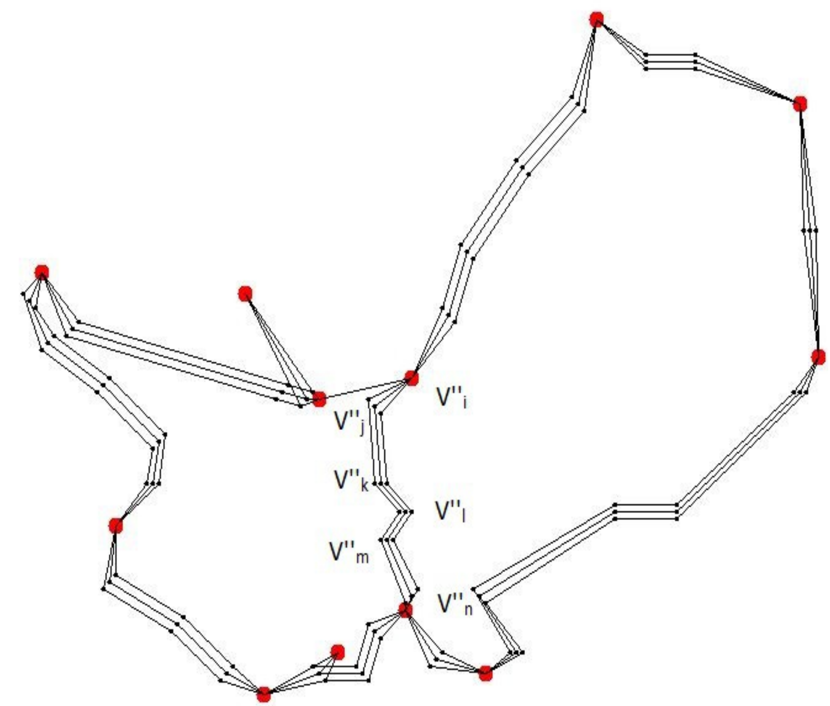
- 1. Wichtige Städte werden zu unbeweglichen Knoten und Ecken in den Verbindungen werden zu einfachen Knoten



Vom Höchstspannungsnetz zum Graphen

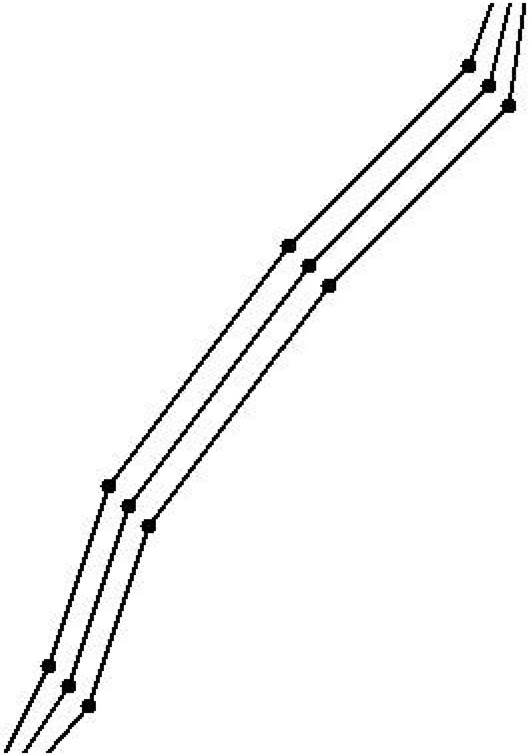
- 2. Modellierung der Leiterseile durch weitere Knoten und Kanten





Vom Höchstspannungsnetz zum Graphen

- Modellierung der Leiterseile

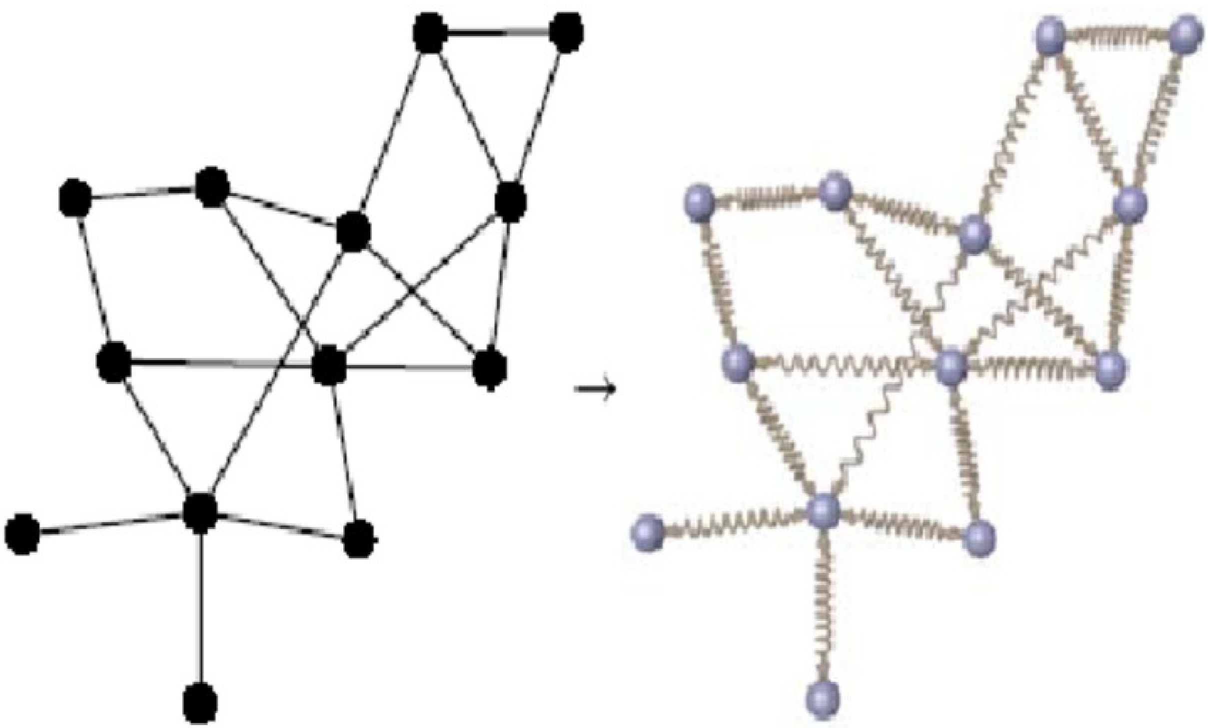


Spring-Embedder

- Knoten gleichmäßig verteilen
- Minimale Überschneidung der Kanten (Planarität)
- Einheitliche Länge der Kanten
- Möglichst symmetrisch
- Alles bleibt in der darzustellenden Fläche

Spring-Embedder

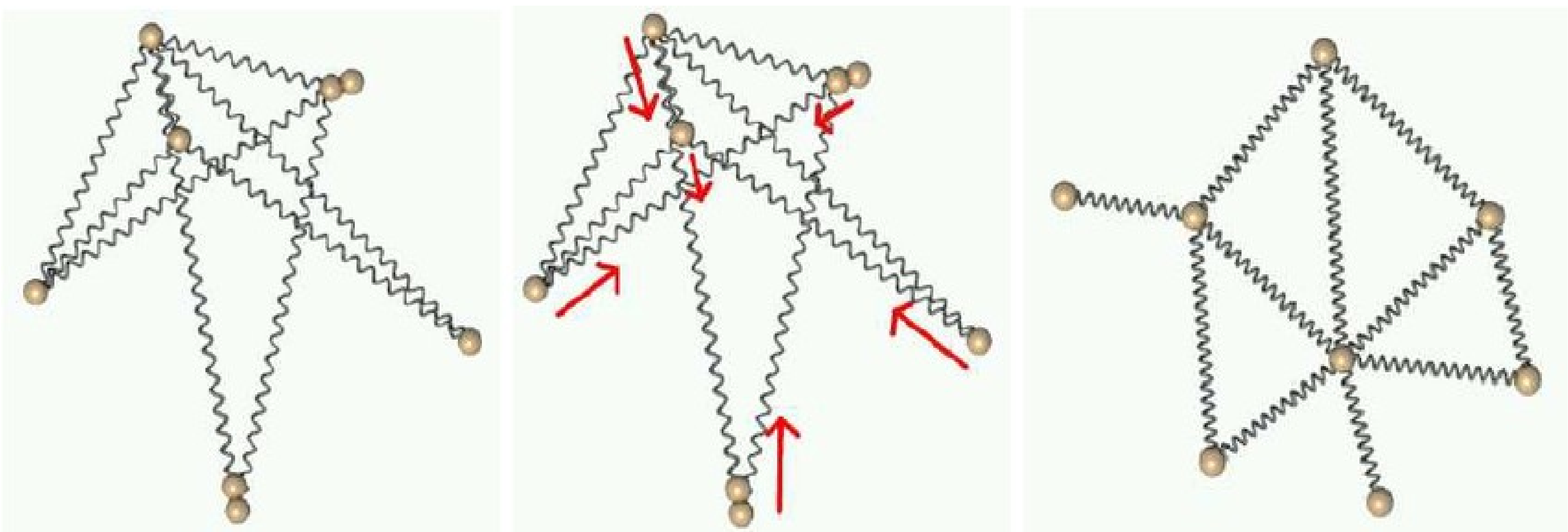
- Basierend auf ein Modell der Physik



Spring-Embedder

- Kanten werden als Federn interpretiert
- Diese verschieben die Knoten bis ein „minimal energy state“ erreicht ist
- Indem keine Feder mehr eine Kraft auf einen Knoten auswirkt

  oder sich die Kräfte der Federn auflöst



Spring-Embedder

- Anziehende Kräfte zwischen jedem adjazenten Knoten
- Abstoßende Kräfte zwischen jedem Knoten
- Diese Kräfte müssen dabei nicht der Realität entsprechen und können beliebig gewählt werden

Spring-Embedder

- Optimale Distanz ***k*** zwischen zwei Knoten (Länge der Feder)

$$k = C\sqrt{A/|V|}$$

- ***A*** ist die Fläche, die zur Verfügung steht, demnach Länge * Weite der Oberfläche
- ***|V|*** die Anzahl der Knoten
- Konstante ***C*** zum anpassen der optimalen Distanz, wird experimentell gewählt

Spring-Embedder

- Optimale Distanz ***k*** zwischen zwei Knoten (Länge der Feder)

$$k = C\sqrt{A/|V|}$$

- Je weiter die Knoten von einander entfernt sind oder sich zu nah aneinander befinden, desto größer wird der Einfluss

Spring-Embedder

Eingabe: $G := (V, E)$
Ausgabe: $G := (V, E)$

for $i := 1 \leq iterations$ **do**
$\quad$ **for** $v_i \in V$ **do**
$\quad\quad d_{v_i} := 0;$
$\quad\quad$ **for** $(v_j \in V)$ **do**
$\quad\quad\quad$ **if** $v_i \neq v_j$ **then**
$\quad\quad\quad\quad \Delta := p_{v_i} - p_{v_j};$
$\quad\quad\quad\quad d_{v_i} := d_{v_i} + (\Delta/|\Delta|) \cdot f^r_{v_i,v_j}(|\Delta|));$
$\quad\quad\quad$ **end if**
$\quad\quad$ **end for**
$\quad$ **end for**

$\quad$ **for** $e_{v_i,v_j} \in E$ **do**
$\quad\quad \Delta := p_{v_i} - p_{v_j};$
$\quad\quad d_{v_i} := d_{v_i} - (\Delta/|\Delta|) \cdot f^a_{v_i,v_j}(|\Delta|));$
$\quad\quad d_{v_j} := d_{v_j} + (\Delta/|\Delta|) \cdot f^a_{v_i,v_j}(|\Delta|));$
$\quad$ **end for**

$\quad$ **for** $v_i \in V$ **do**
$\quad\quad p_{v_i} := p_{v_i} + (d_{v_i}/|d_{v_i}|) \cdot min(d_{v_i}, t);$
$\quad\quad p^x_{v_i} := min(W/2, max(-W/2, p^x_{v_i}));$
$\quad\quad p^y_{v_i} := min(L/2, max(-L/2, p^y_{v_i}))$
$\quad$ **end for**
$\quad t := cool(t)$
end for

1) Abstoßende Kräfte
2) Anziehende Kräfte
3) Knoten bewegen

Spring-Embedder

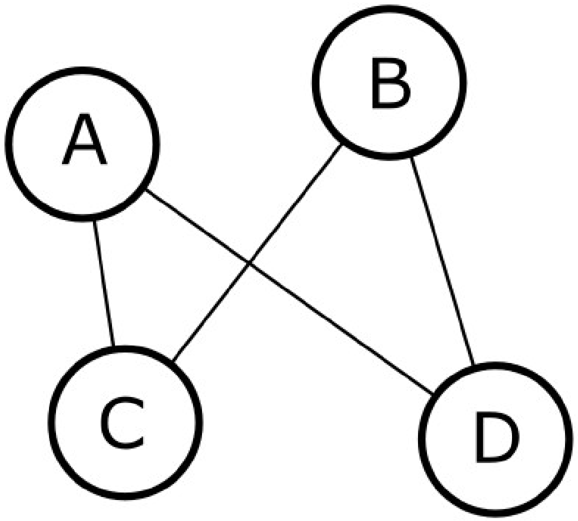
$$f^a_{v_i,v_j}(x) = x^2/k$$

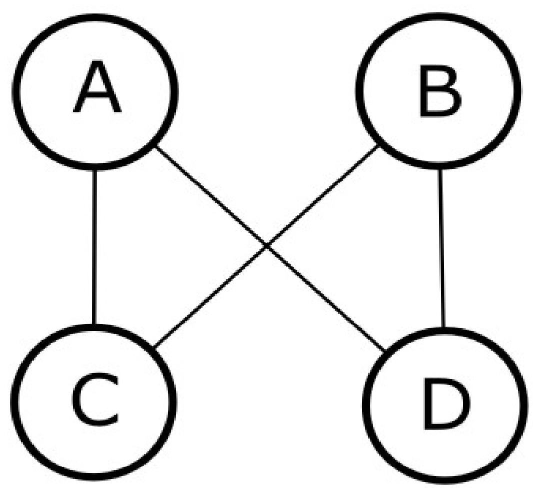
$$f^r_{v_i,v_j}(x) = -k^2/x.$$

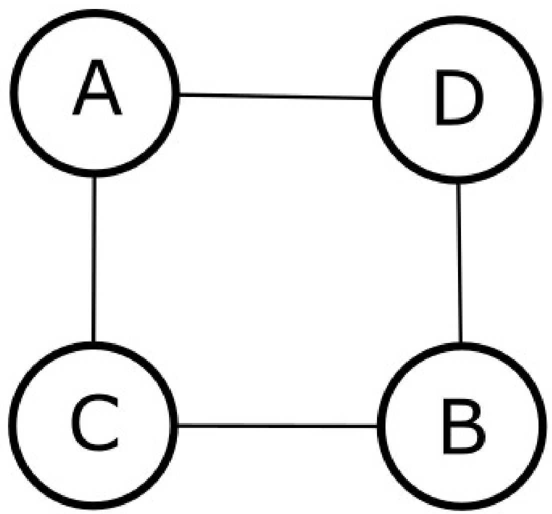
- Summe beider Kräfte lösen sich auf wenn zwei Knoten die optimale Distanz *k* zueinander haben

Spring-Embedder

- Entstehung von lokalen Minima ist das größte Problem
- Algorithmus kann keine momentan schlechtere Lösung wählen um zu einem besseren Ergebnis zu kommen

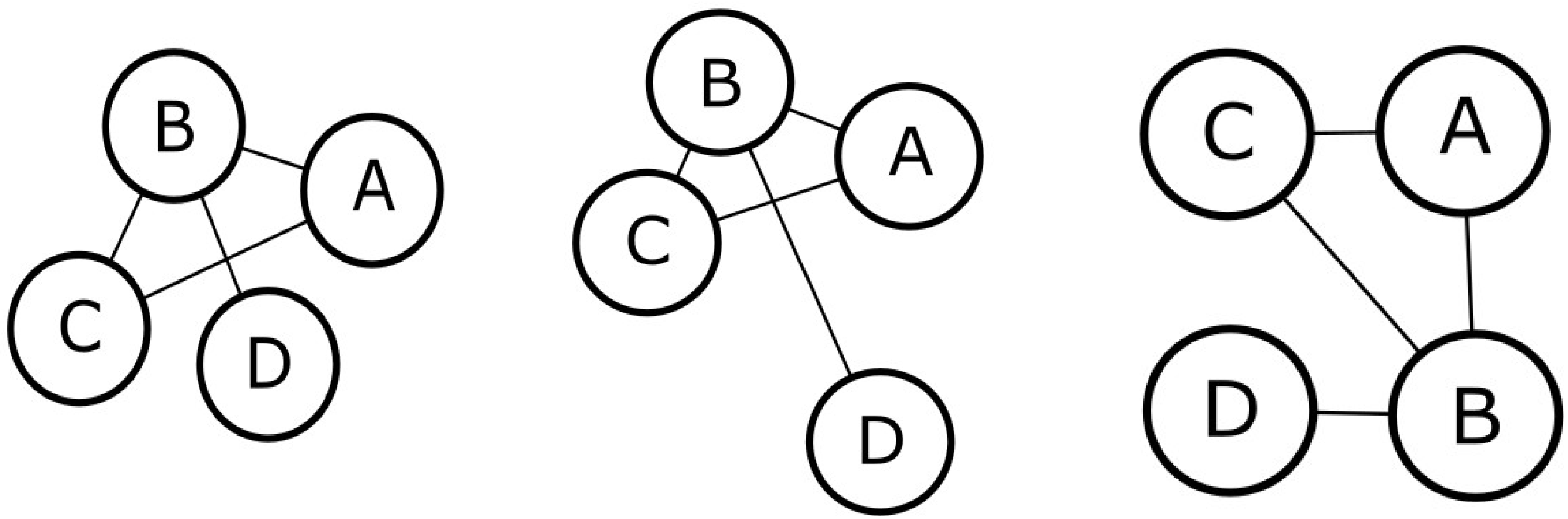






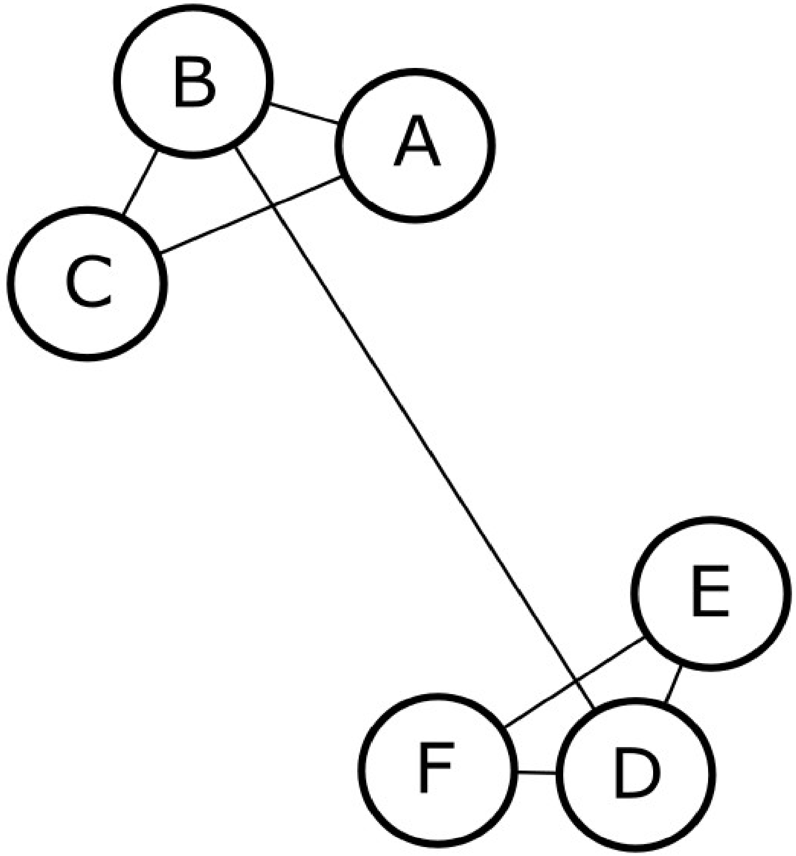
Spring-Embedder

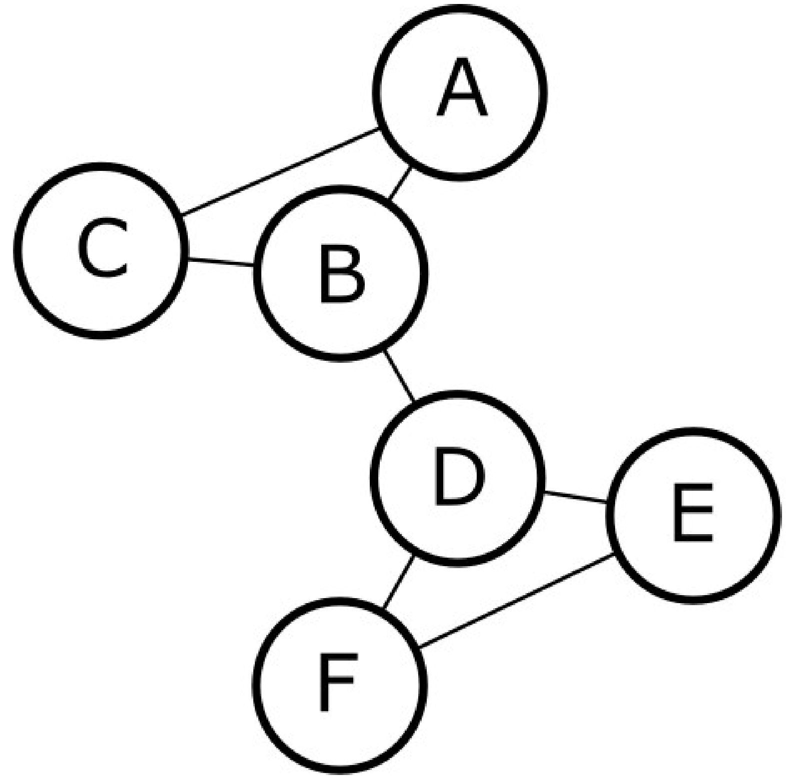
- Entstehung von lokalen Minima ist das größte Problem
- Gruppe von Knoten stoßen einen Einzelnen ab



Spring-Embedder

- Entstehung von lokalen Minima ist das größte Problem
- Zwei Gruppen von Knotenpaaren überwinden nicht das lokale Minima



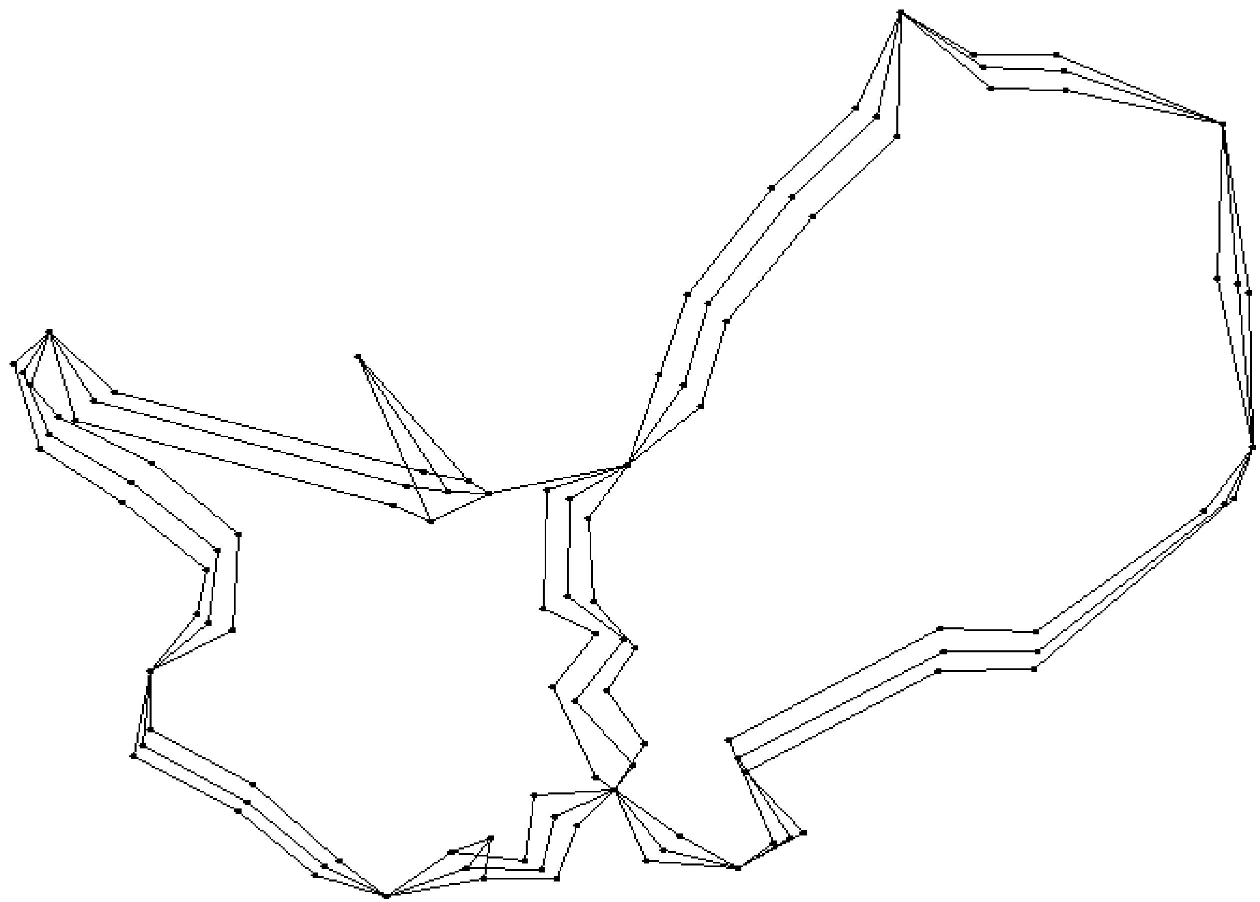


Adaptierung des Höchstspannungsnetzes

- Deutlich striktere Beibehaltung der geographischen Eigenschaften des Graphen(Hindernisse, Standorte von Städte)
- Kein Verteilen der Knoten auf der Oberfläche
- Es existieren Knoten, die sich nicht bewegen lassen
- Die durch das Modellieren der Leiterseile entstandene Struktur soll beibehalten werden
- Es findet nur das Platzieren von Knoten und somit auch von Kanten statt, also kein Erstellen von Labels oder Färbung

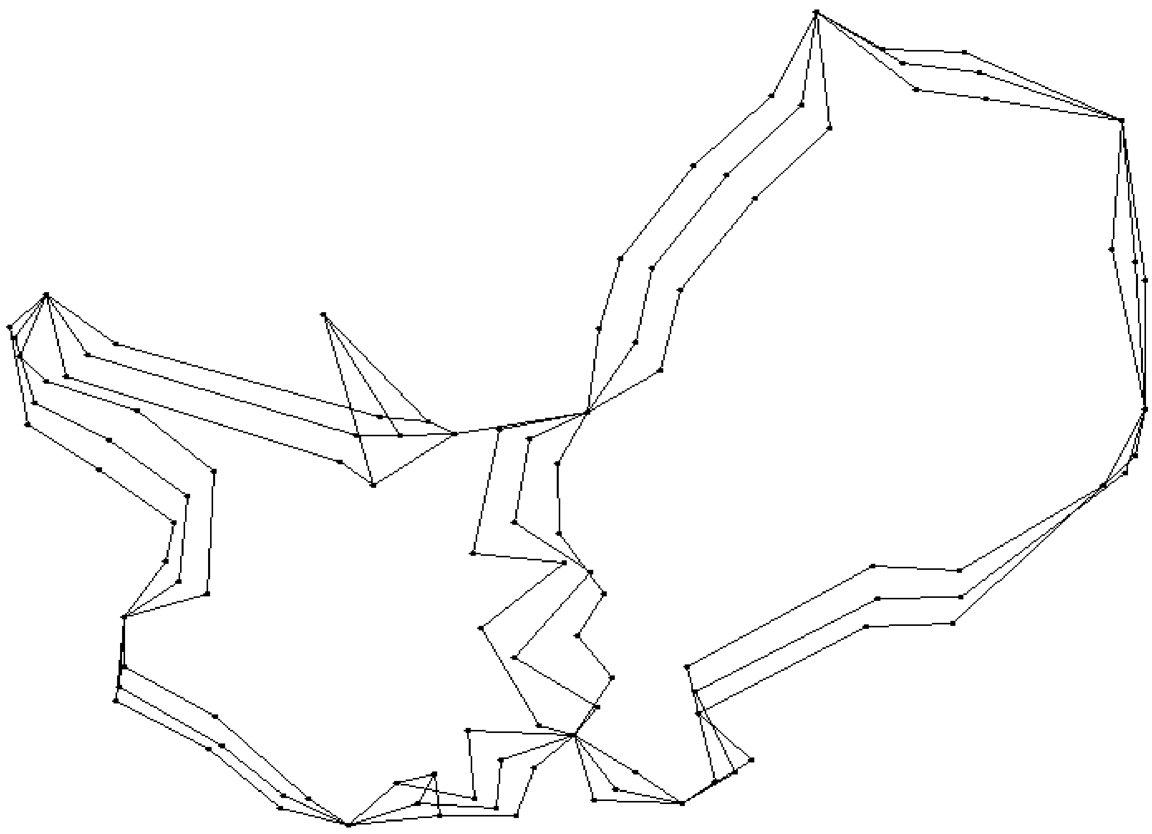
Adaptierung des Höchstspannungsnetzes

- Unveränderter Algorithmus angewendet auf den Graphen aus Kapitel 4 nach 10 Iterationen



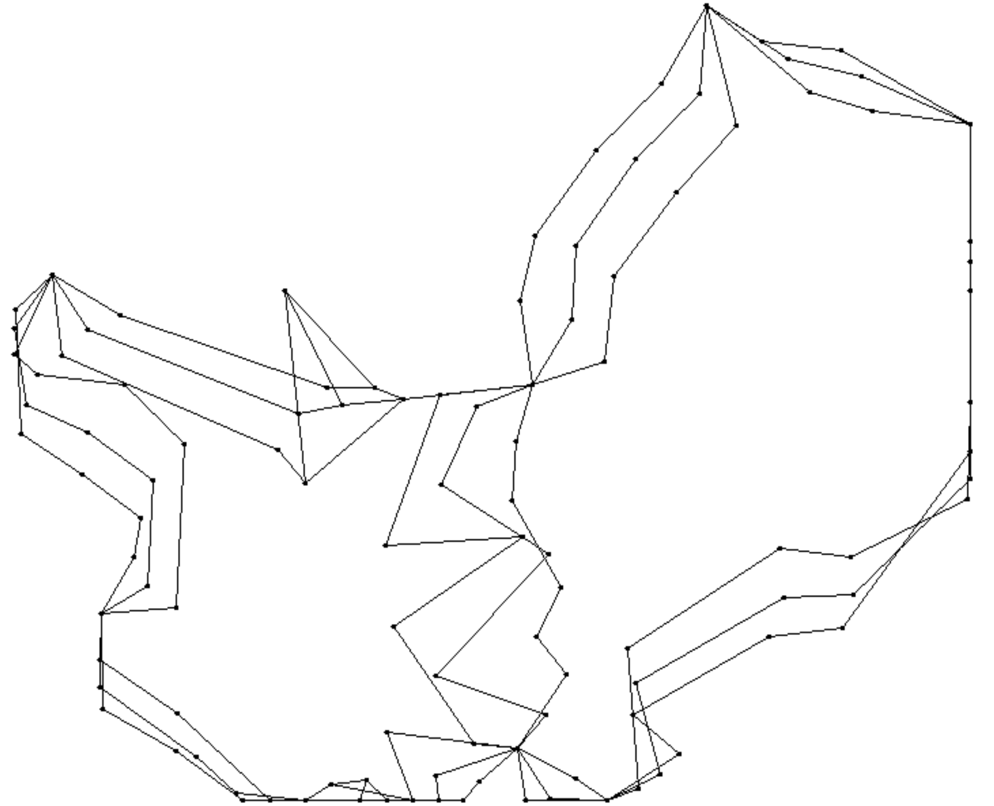
Adaptierung des Höchstspannungsnetzes

- Unveränderter Algorithmus angewendet auf den Graphen aus Kapitel 4 nach 25 Iterationen



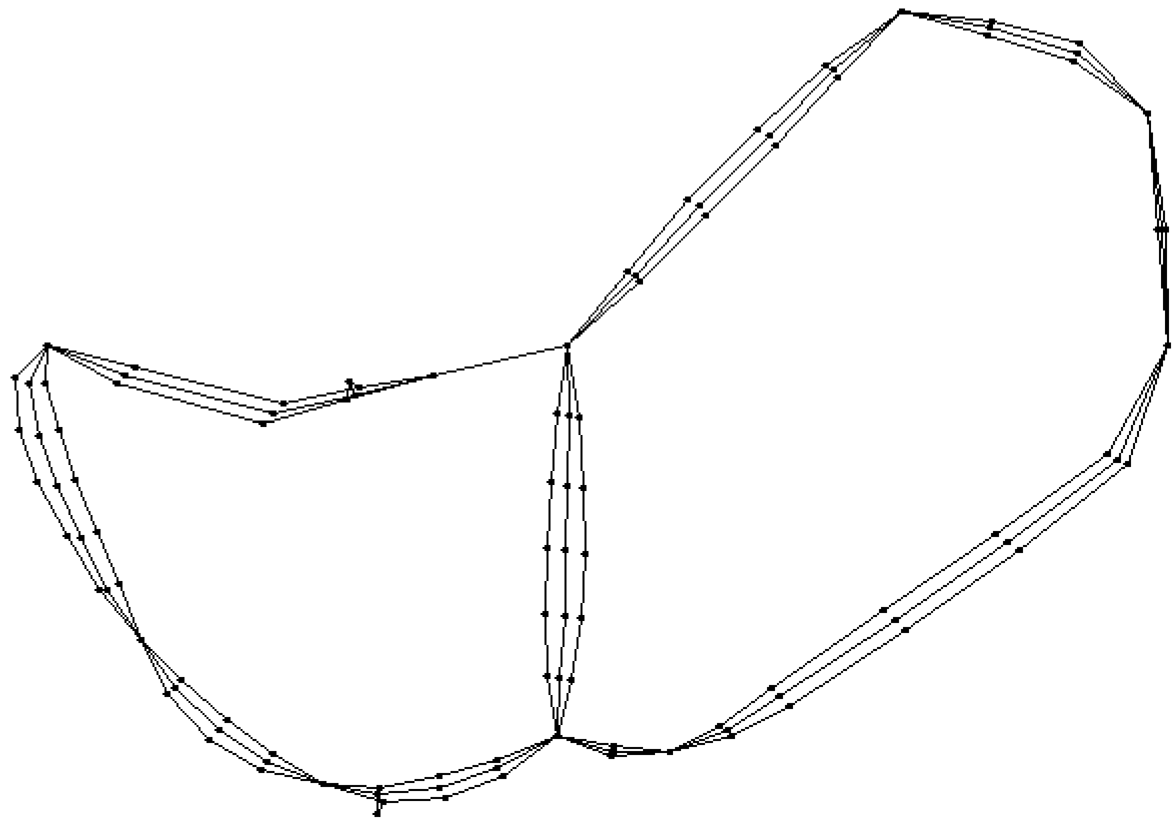
Adaptierung des Höchstspannungsnetzes

- Unveränderter Algorithmus angewendet auf den Graphen aus Kapitel 4 nach 50 Iterationen



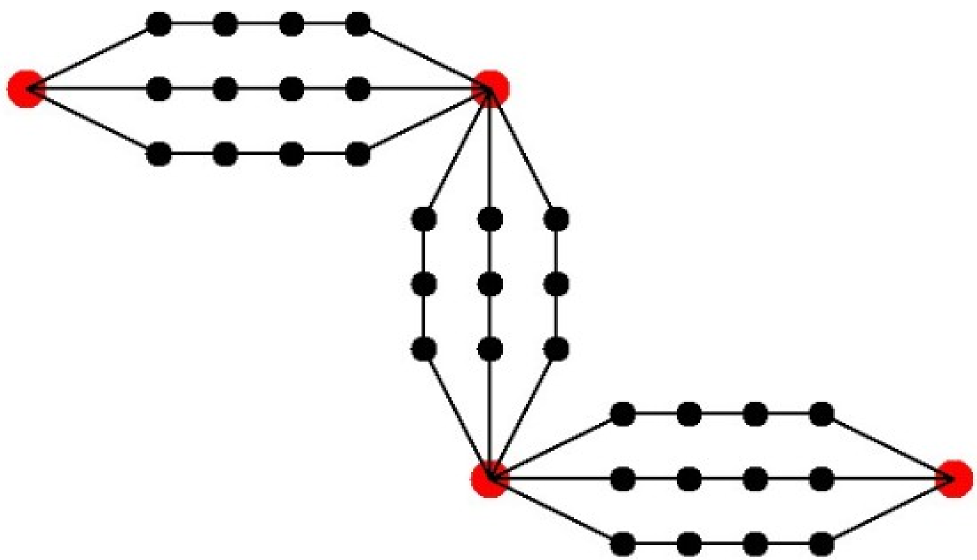
Adaptierung des Höchstspannungsnetzes

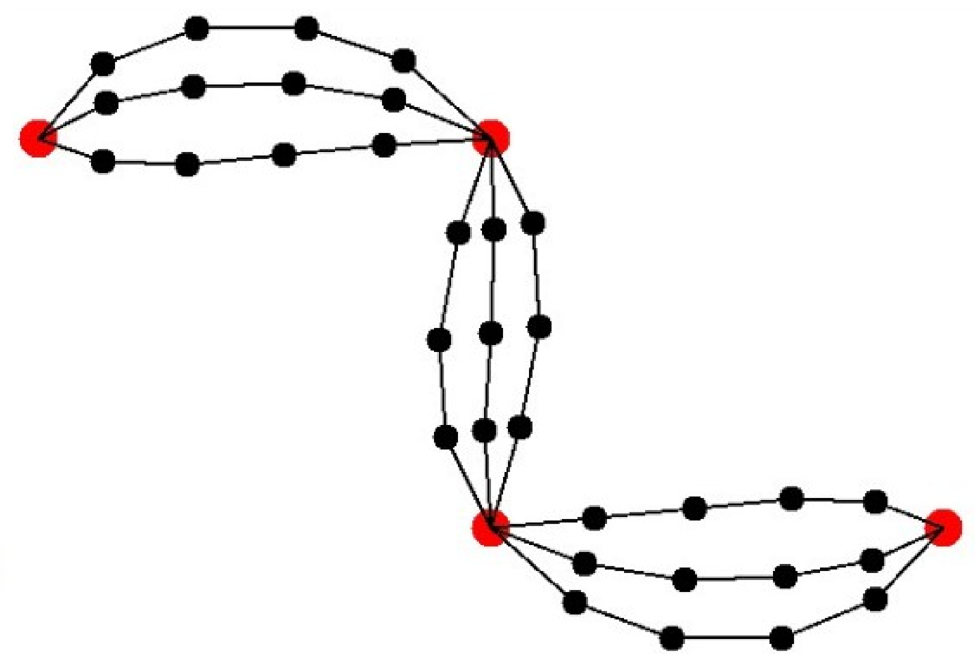
- Algorithmus angewendet auf den Graphen aus Kapitel 4 nach 50 Iterationen nach Änderung der optimalen Distanz



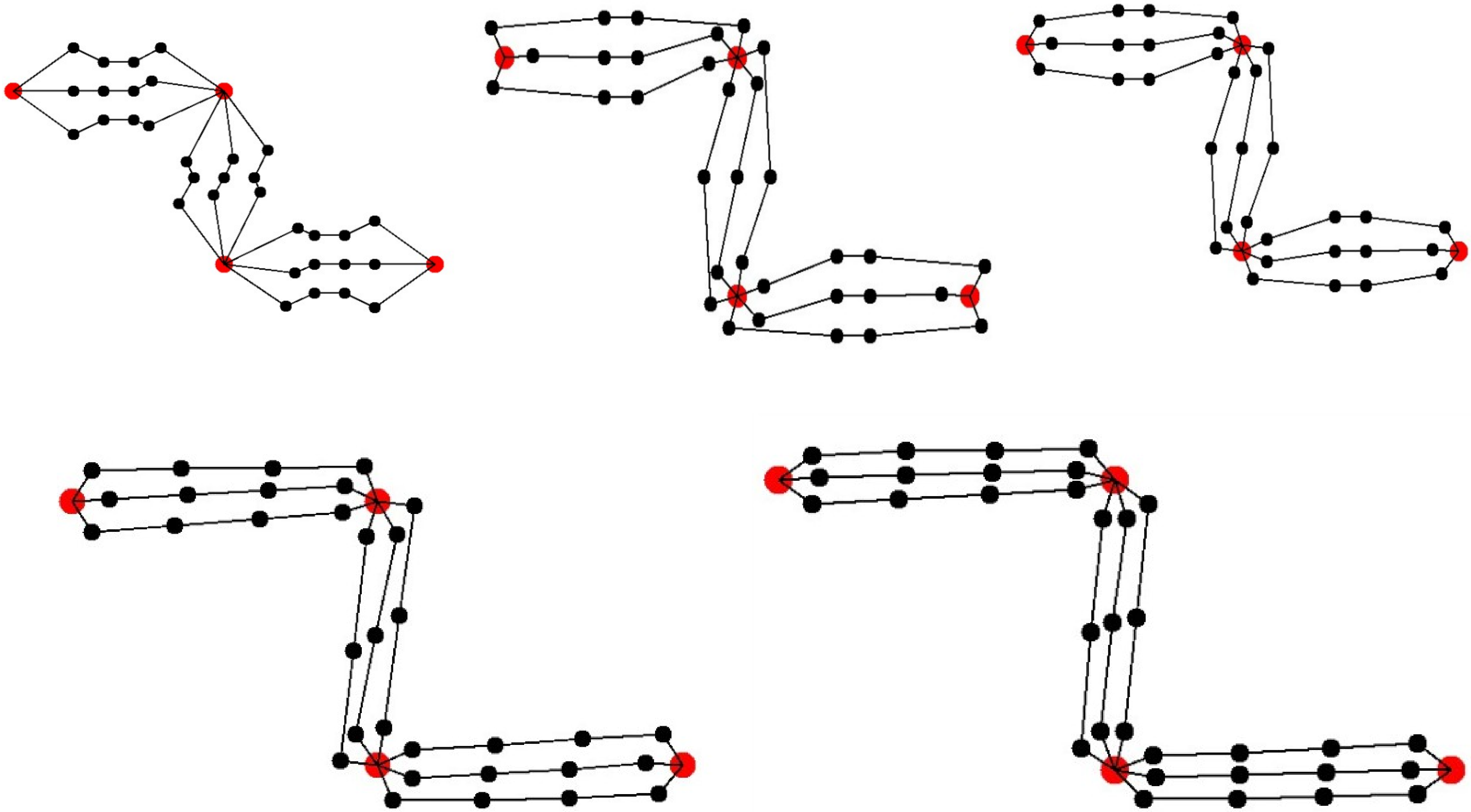
Adaptierung des Höchstspannungsnetzes

- Bildung von Schlangen





Adaptierung des Höchstspannungsnetzes



Adaptierung des Höchstspannungsnetzes

- Erweiterung des Spring-Embedder, durch das Hinzufügen einer weiteren anziehenden Kraft

Eingabe: $G := (V, E)$
Ausgabe: $G := (V, E)$

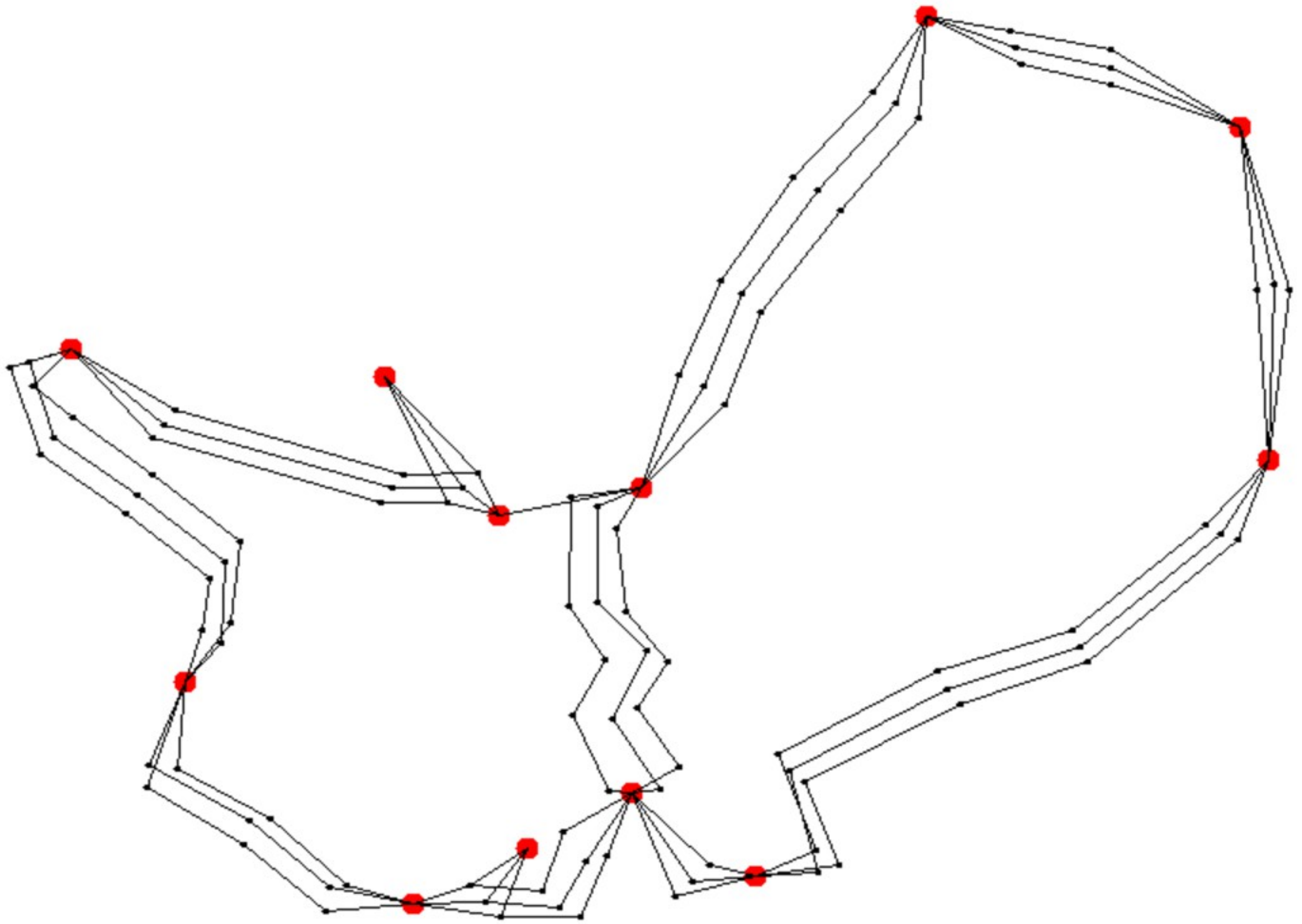
for $i := 1 \leq iterations$ **do**
    ..

    for $e_{v_i,v_j} \in E$ **do**
        $\Delta := p_{v_i} - p^0_{v_i};$
        $d_{v_i} := d_{v_i} - (\Delta/|\Delta|) \cdot f^a_{v_i,p^0_{v_i}}(|\Delta|);$
    end for

    ..
end for

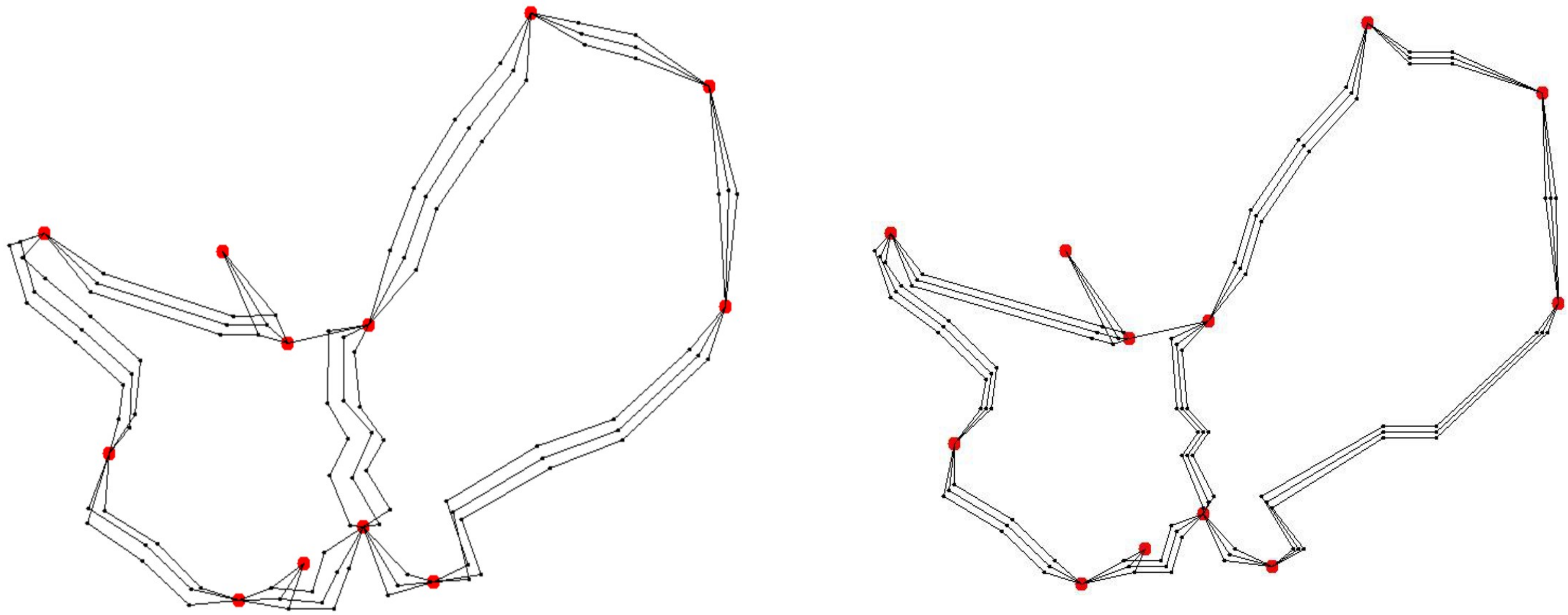
Adaptierung des Höchstspannungsnetzes

- Finaler Graph



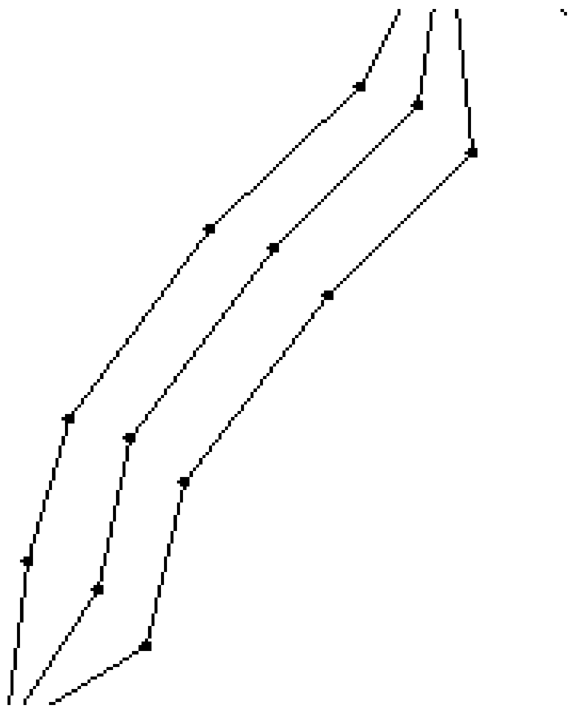
Adaptierung des Höchstspannungsnetzes

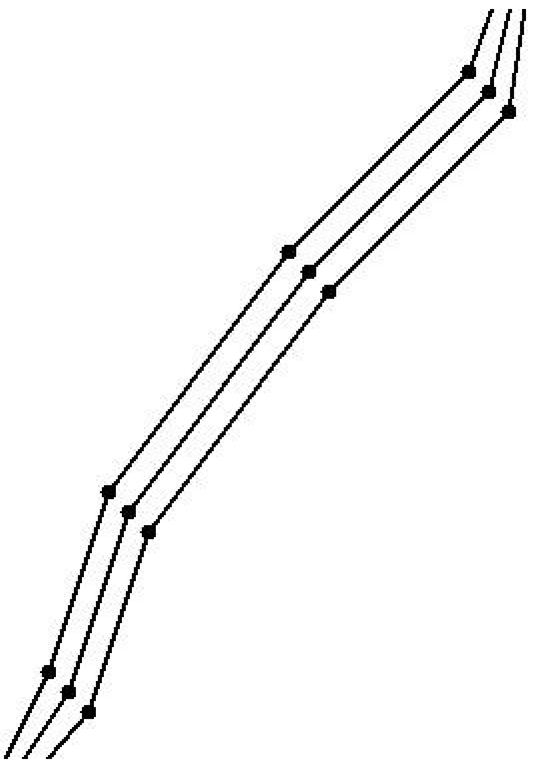
- Finaler Graph



Adaptierung des Höchstspannungsnetzes

- Vergleich Abstand der Leiterseile



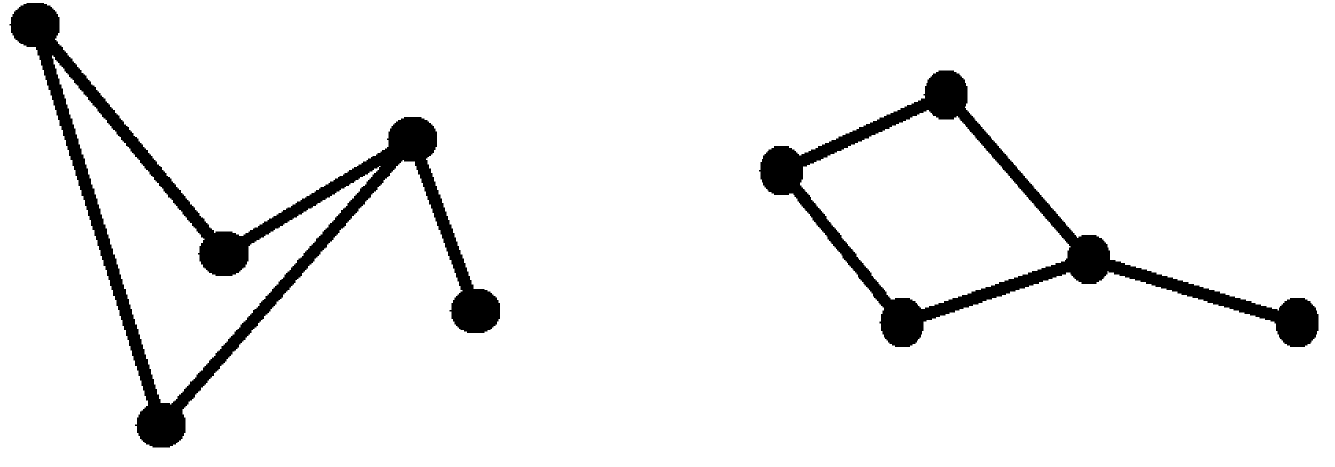


Evaluierung

- Drei unterschiedliche Szenarien
- Das testen des Algorithmus auf unterschiedliche Graphen
- Die Auswirkung der Laufzeit beim Verändern der Knotenmenge
- Die Auswirkung der Laufzeit beim Verändern der Kantenmenge

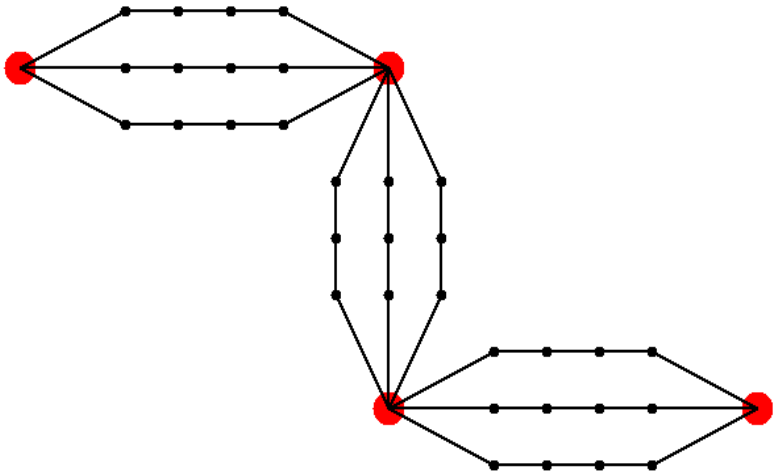
Evaluierung

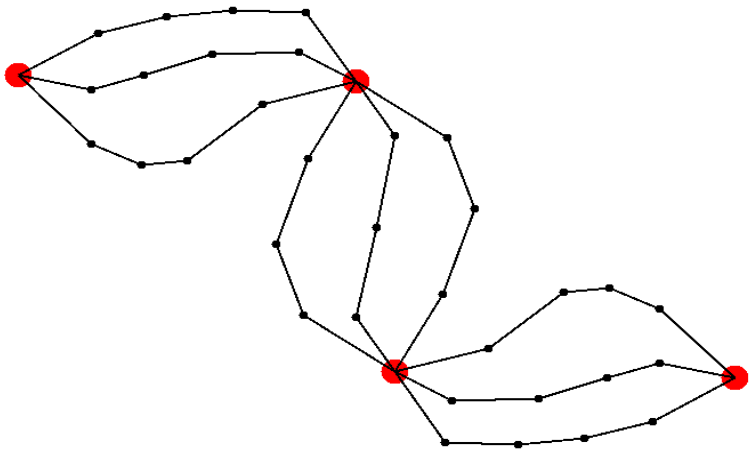
- Sehr kleiner und einfacher Graph
- 7 ms



Evaluierung

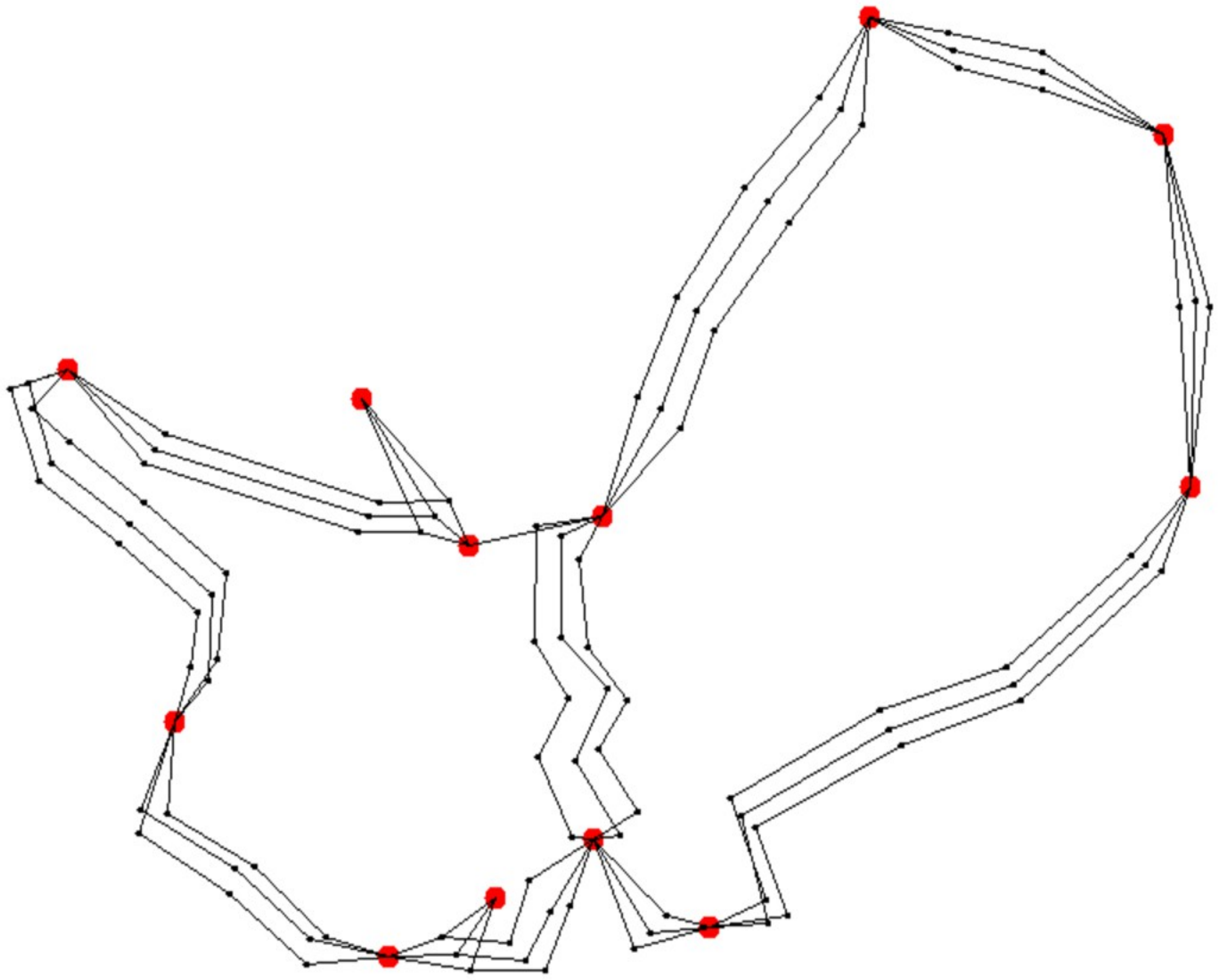
- Mittelgroßer Graph
- 18 ms





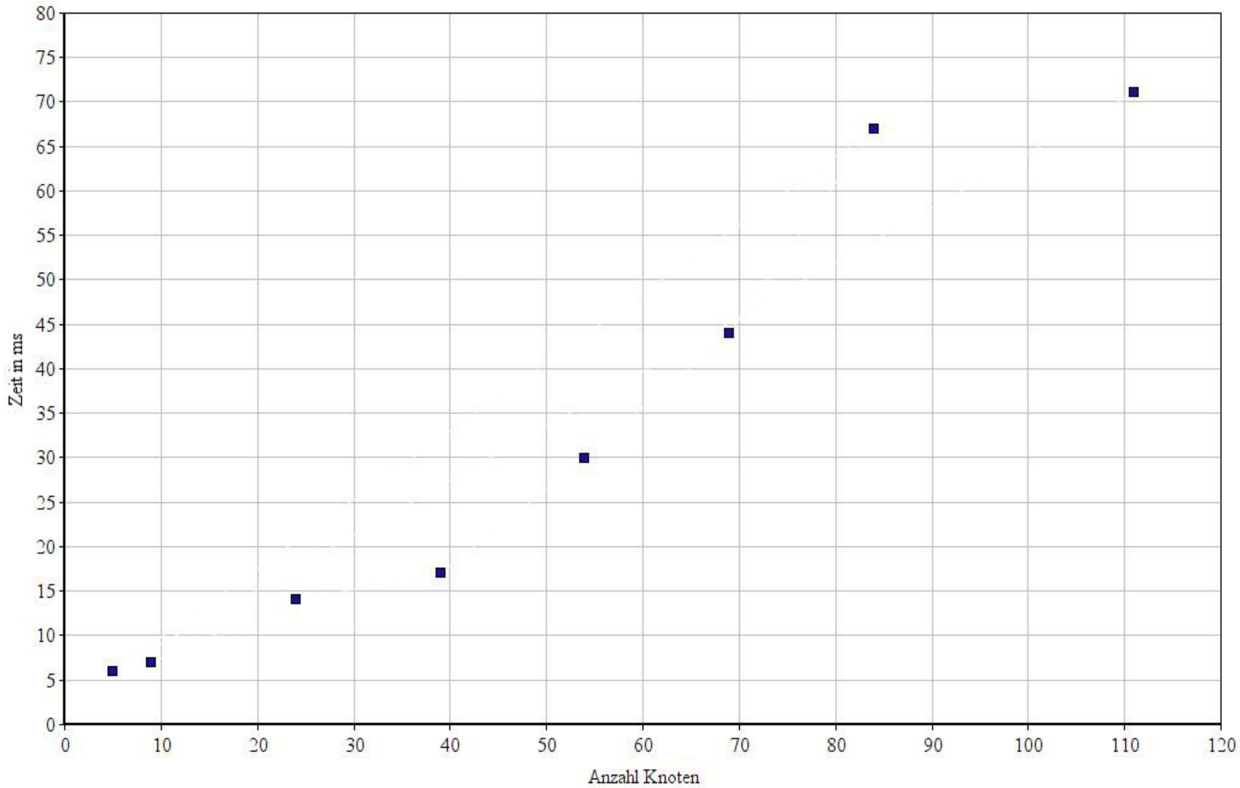
Evaluierung

- Großer Graph
- 71 ms



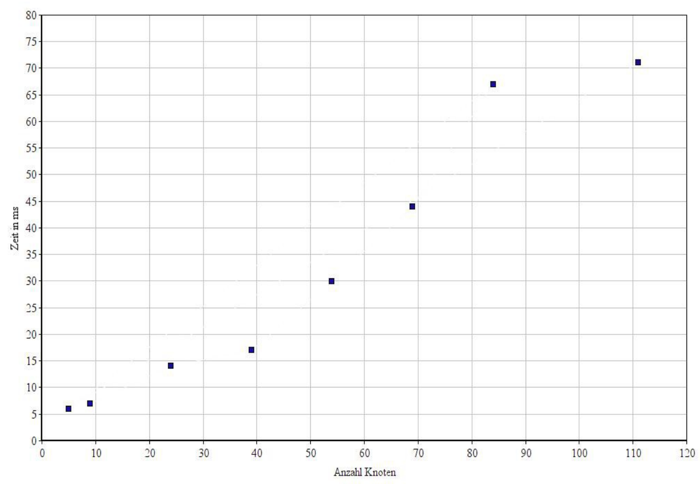
Evaluierung

- Änderung der Anzahl der Knoten



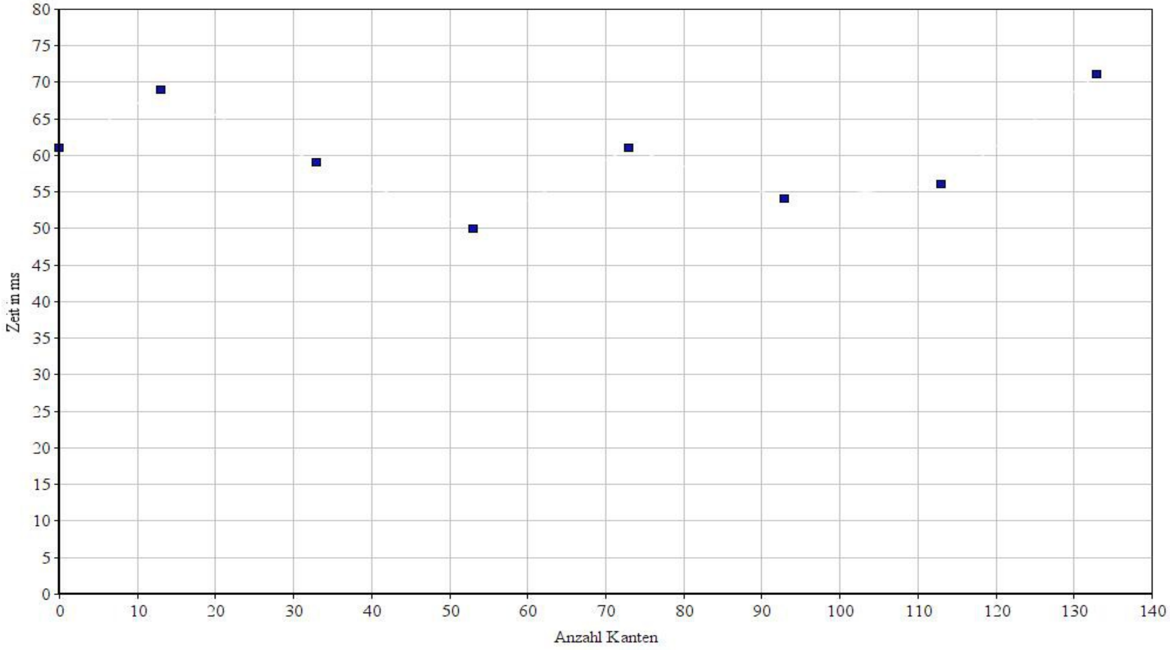
Evaluierung

- Änderung der Anzahl der Knoten
- Exponentieller Anstieg der Laufzeit
- $|V|^2$, das Berechnen der abstoßenden Kraft
- Stets 133 Kanten



Evaluierung

- Änderung der Anzahl der Kanten
- Knotenzahl unverändert lag bei 111



Evaluierung

- Änderung der Anzahl der Kanten
- Keine messbare Veränderung der Laufzeit
- Einfluss der Knoten zu groß