

Planung von Mittelspannungsnetzen mithilfe eines Ameisenalgorithmus

Jonathan Zeller

Bachelorvortrag – 27.9.2021

Lehrstuhl Algorithmen und Datenstrukturen

Gutachter: Prof. Dr. Hannah Bast

Betreuer: Wolfgang Biener, Janis Kähler, Matthias Hertel

Gliederung

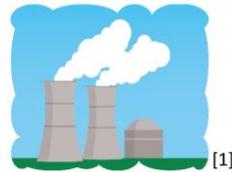
- Teil 1 - Grundlagen
 - Grundlagen Elektrotechnik
 - Grundlagen Ameisenalgorithmen
- Teil 2 – Der Algorithmus
- Teil 3 – Analyse und Ergebnisse
 - Die drei Testnetze
 - Ergebnisse

Gliederung

- **Teil 1 - Grundlagen**
 - **Grundlagen Elektrotechnik**
 - Grundlagen Ameisenalgorithmen
- Teil 2 – Der Algorithmus
- Teil 3 – Analyse und Ergebnisse
 - Die drei Testnetze
 - Ergebnisse

Grundlagen Elektrotechnik

- Komponenten von Stromnetzen
 - Erzeuger
 - Verbraucher



[1] Courtesy NASA/JPL-Caltech

[2] https://favpng.com/png_view/solar-solar-panels-solar-power-photovoltaics-solar-energy-solar-cell-png/e35HH3TC

[3] Vecteezy.com

Grundlagen Elektrotechnik

■ Komponenten von Stromnetzen

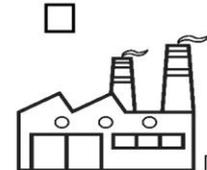
- Erzeuger
- Verbraucher
- Transformatoren
- Busse



[1]



[2]



[3]

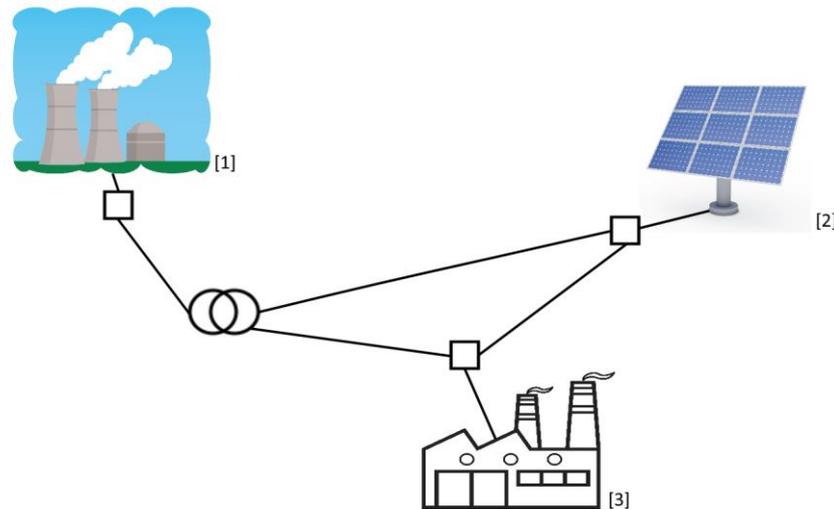
[1] Courtesy NASA/JPL-Caltech

[2] https://favpng.com/png_view/solar-solar-panels-solar-power-photovoltaics-solar-energy-solar-cell-png/e35HH3TC

[3] Vecteezy.com

Grundlagen Elektrotechnik

- Komponenten von Stromnetzen
 - Erzeuger
 - Verbraucher
 - Transformatoren
 - Busse
 - Leitungen



[1] Courtesy NASA/JPL-Caltech

[2] https://favpng.com/png_view/solar-solar-panels-solar-power-photovoltaics-solar-energy-solar-cell-png/e35HH3TC

[3] Vecteezy.com

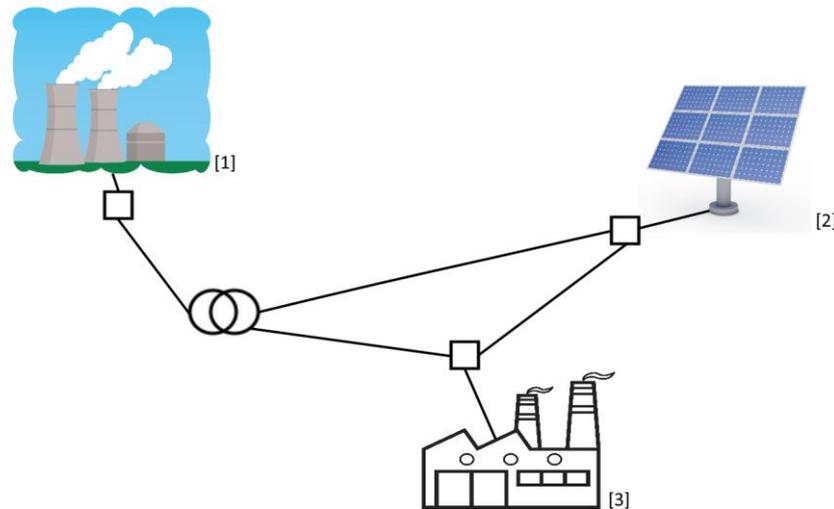
Grundlagen Elektrotechnik

■ Komponenten von Stromnetzen

- Erzeuger
- Verbraucher
- Transformatoren
- Busse
- Leitungen

■ Problem der Netzplanung:

- Exponentielle Anzahl an möglichen Netzentwürfen



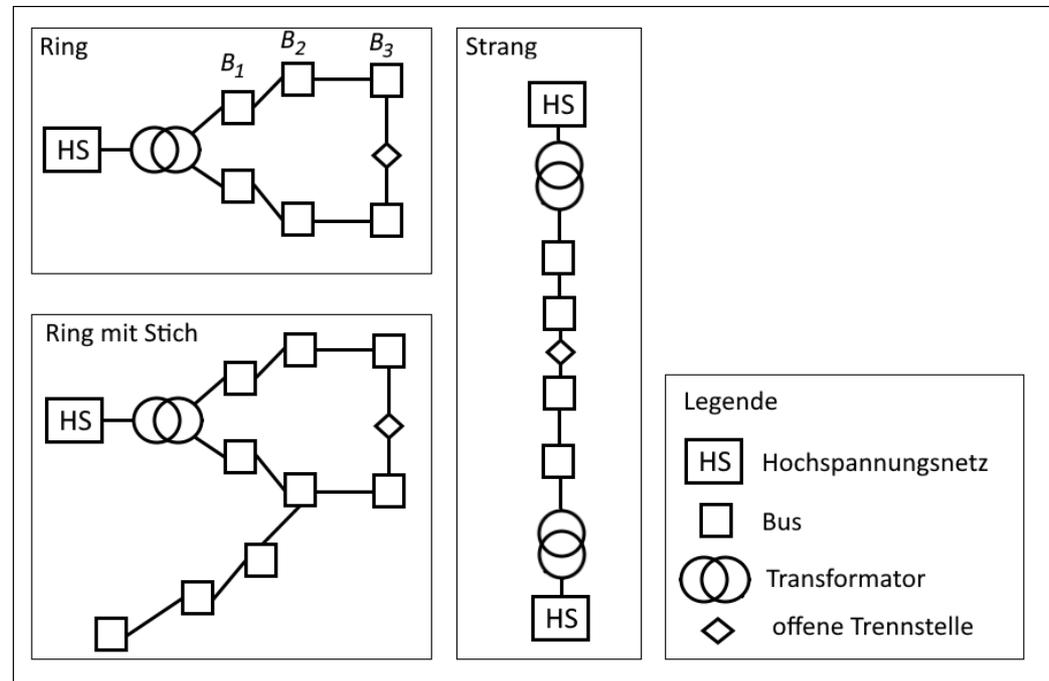
[1] Courtesy NASA/JPL-Caltech

[2] https://favpng.com/png_view/solar-solar-panels-solar-power-photovoltaics-solar-energy-solar-cell-png/e35HH3TC

[3] Vecteezy.com

Grundlagen Elektrotechnik

- Bedingungen an Mittelspannungsnetze
 - Versorgungssicherheit: N-1 Kriterium
 - Struktur: Ring, Strang und Stich

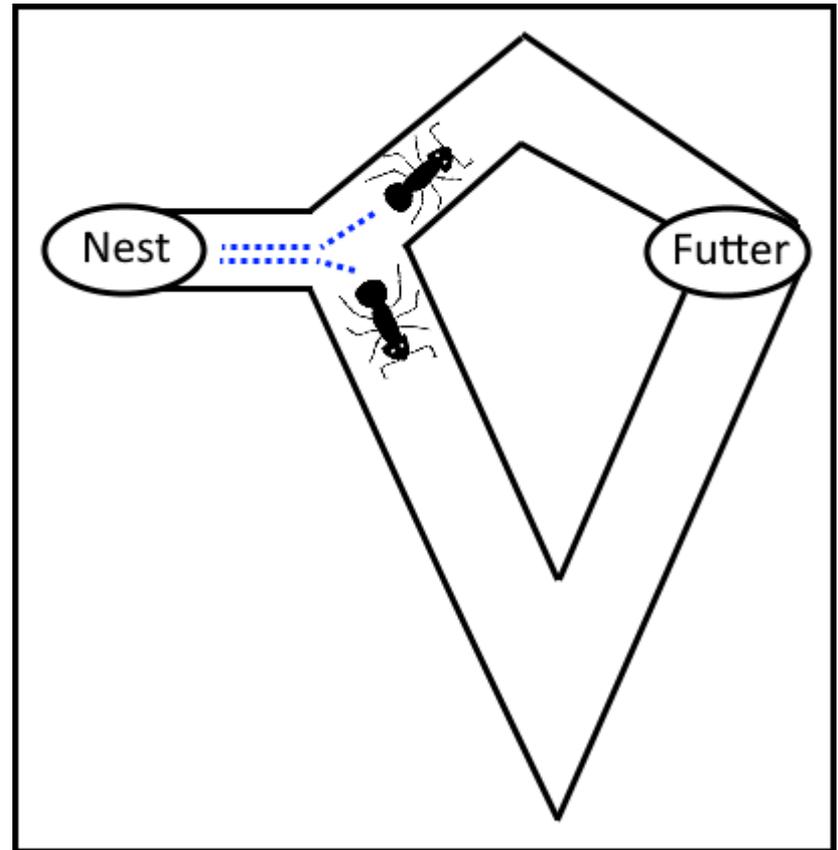


Gliederung

- **Teil 1 - Grundlagen**
 - Grundlagen Elektrotechnik
 - **Grundlagen Ameisenalgorithmen**
- Teil 2 – Der Algorithmus
- Teil 3 – Analyse und Ergebnisse
 - Die drei Testnetze
 - Ergebnisse

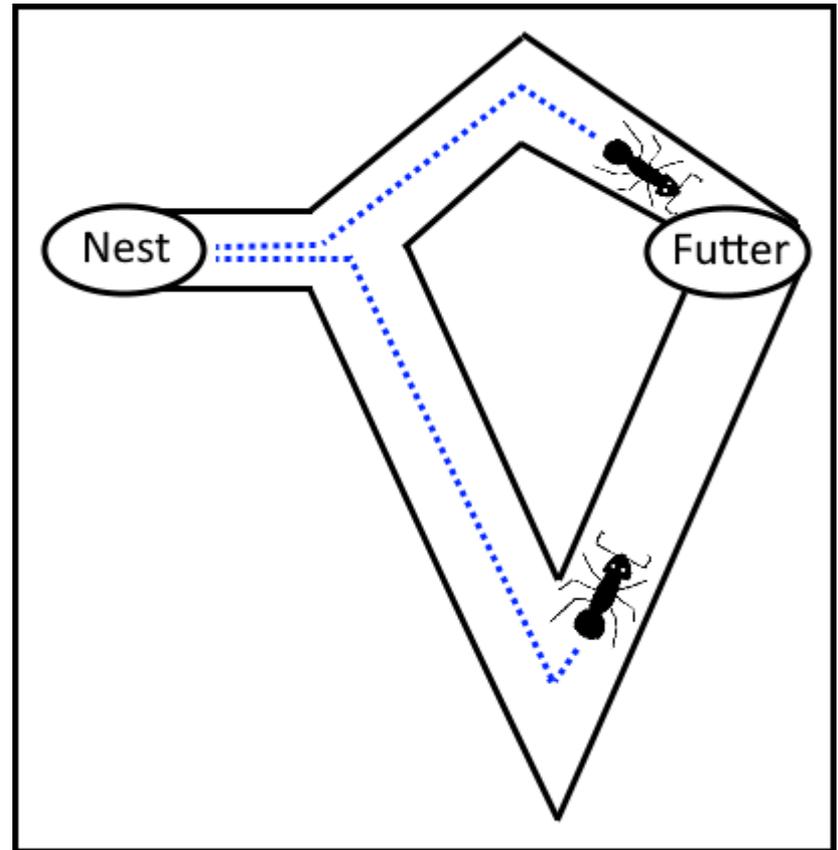
Grundlagen Ameisenalgorithmen

- Vorbild an echten Ameisen
 - Hinterlassen von Pheromonen
 - Zufällige Erkundung, der Wege $W = \{w_o, w_u\}$



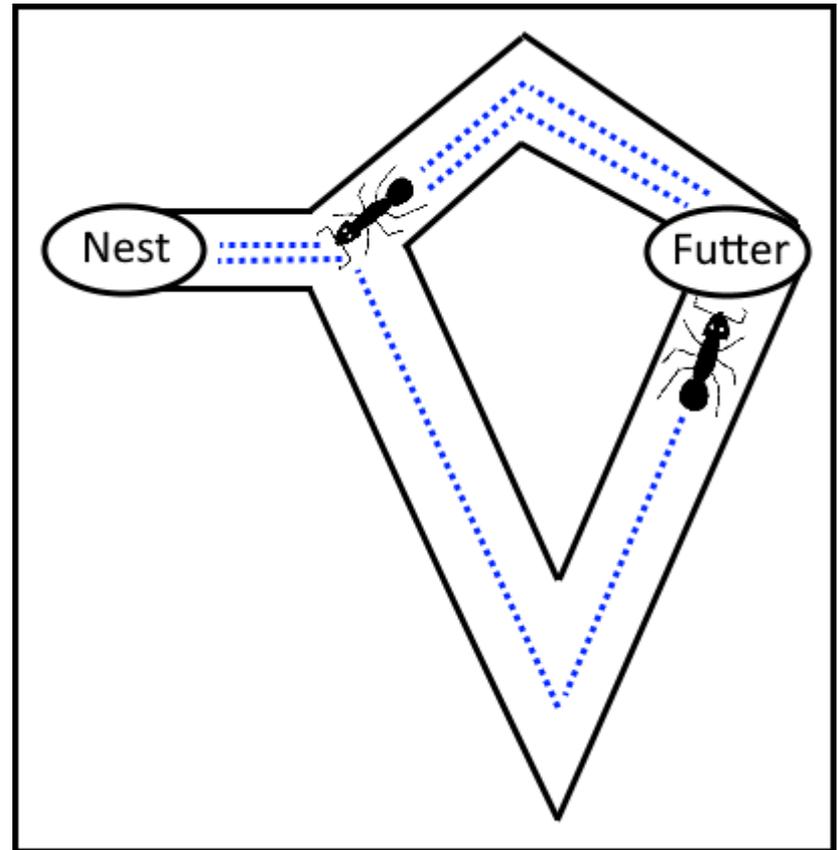
Grundlagen Ameisenalgorithmen

- Vorbild an echten Ameisen
 - Hinterlassen von Pheromonen
 - Zufällige Erkundung, der Wege $W = \{w_o, w_u\}$
 - Entscheidung bei der Wahl des Wegs wird von der Pheromonkonzentration τ beeinflusst



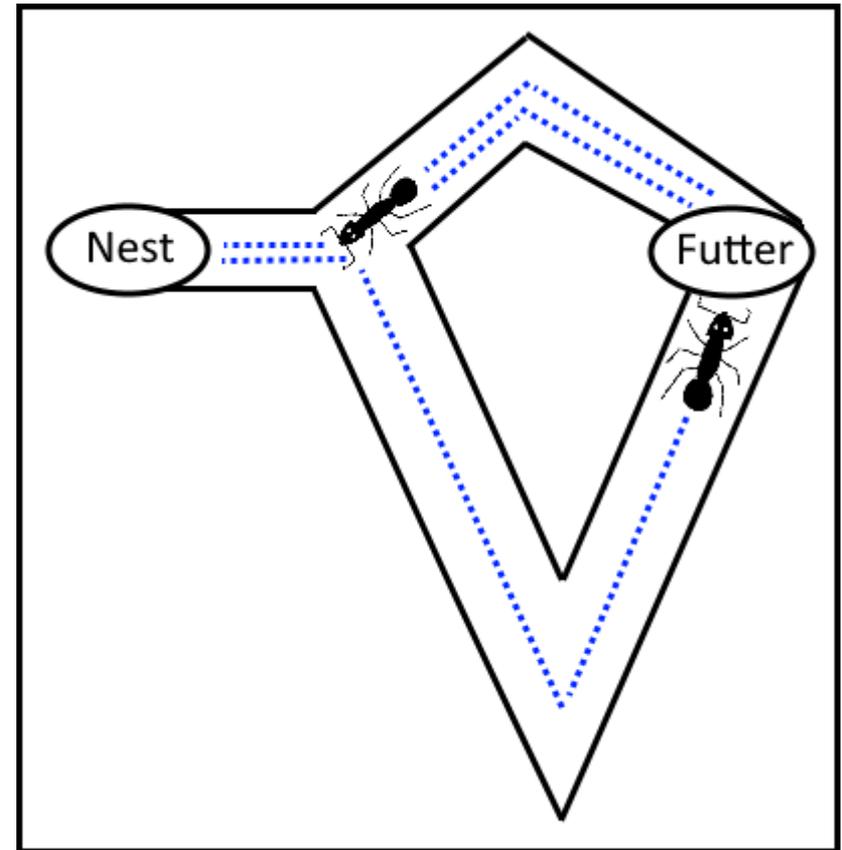
Grundlagen Ameisenalgorithmen

- Vorbild an echten Ameisen
 - Hinterlassen von Pheromonen
 - Zufällige Erkundung, der Wege $W = \{w_o, w_u\}$
 - Entscheidung bei der Wahl des Wegs wird von der Pheromonkonzentration τ beeinflusst



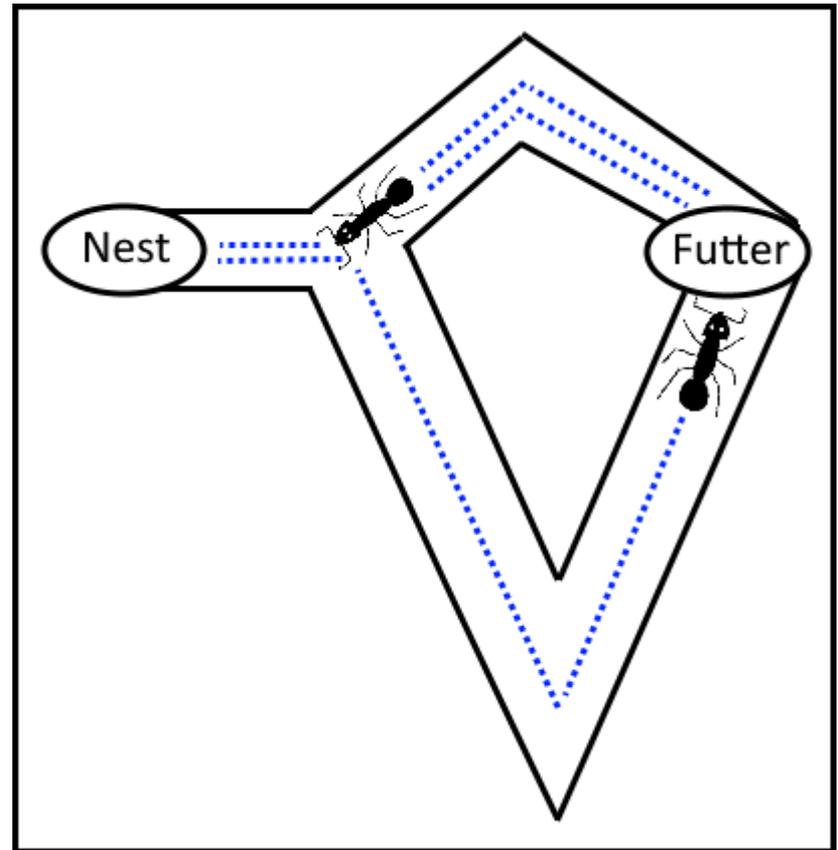
Grundlagen Ameisenalgorithmen

- Vorbild an echten Ameisen
 - Hinterlassen von Pheromonen
 - Zufällige Erkundung, der Wege $W = \{w_o, w_u\}$
 - Entscheidung bei der Wahl des Wegs wird von der Pheromonkonzentration τ beeinflusst
 - $P(w_o) = \frac{\tau_o}{\tau_o + \tau_u} = \frac{2}{2+1} = 66,6 \%$
 - $P(w_u) = \frac{\tau_u}{\tau_o + \tau_u} = \frac{1}{2+1} = 33,3 \%$



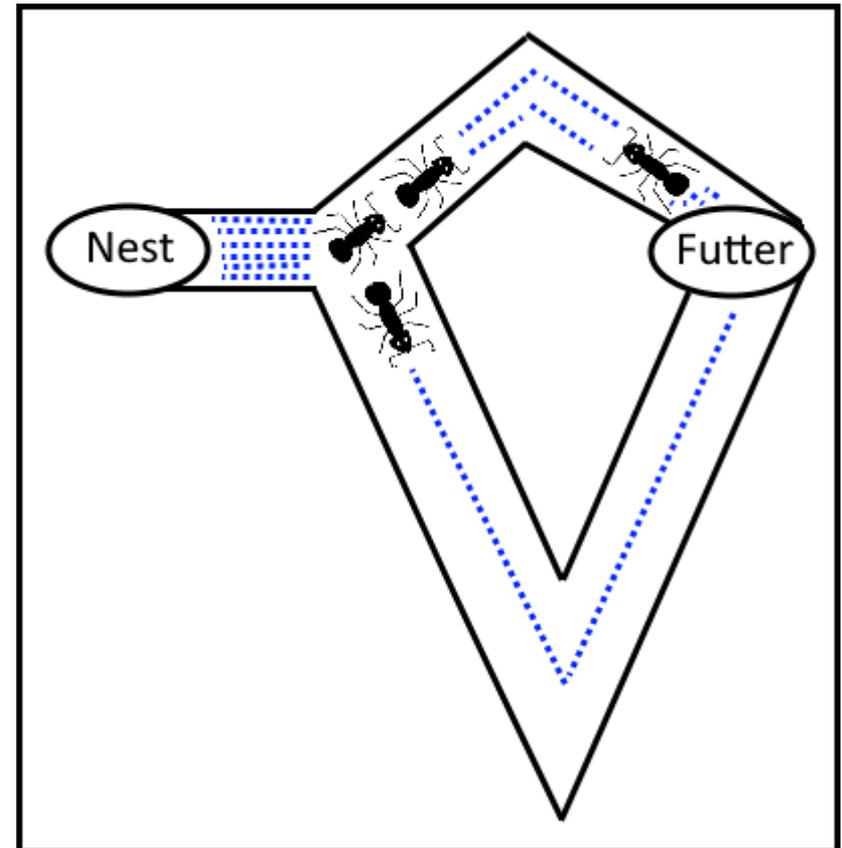
Grundlagen Ameisenalgorithmen

- Vorbild an echten Ameisen
 - Hinterlassen von Pheromonen
 - Zufällige Erkundung, der Wege $W = \{w_o, w_u\}$
 - Entscheidung bei der Wahl des Wegs wird von der Pheromonkonzentration τ beeinflusst
 - $P(w_o) = \frac{\tau_o}{\tau_o + \tau_u} = \frac{2}{2+1} = 66,6 \%$
 - $P(w_u) = \frac{\tau_u}{\tau_o + \tau_u} = \frac{1}{2+1} = 33,3 \%$
 - $P(w_i) = \frac{\tau_i}{\sum_{w_k \in W} \tau_k}$



Grundlagen Ameisenalgorithmen

- Vorbild an echten Ameisen
 - Hinterlassen von Pheromonen
 - Zufällige Erkundung, der Wege $W = \{w_o, w_u\}$
 - Entscheidung bei der Wahl des Wegs wird von der Pheromonkonzentration τ beeinflusst
- $P(w_o) = \frac{\tau_o}{\tau_o + \tau_u} = \frac{2}{2+1} = 66,6 \%$
- $P(w_u) = \frac{\tau_u}{\tau_o + \tau_u} = \frac{1}{2+1} = 33,3 \%$
- $P(w_i) = \frac{\tau_i}{\sum_{w_k \in W} \tau_k}$



Motivation

- Aufgrund der erneuerbaren Energien und E-Autos müssen die Stromnetze ausgebaut werden
- Exponentielles Wachstum der möglichen Netzentwürfe

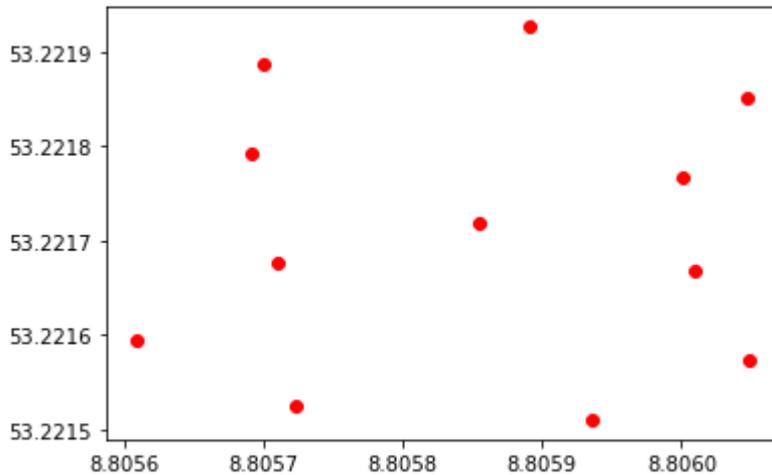
Gliederung

- Teil 1 - Grundlagen
 - Grundlagen Elektrotechnik
 - Grundlagen Ameisenalgorithmen
- **Teil 2 – Der Algorithmus**
- Teil 3 – Analyse und Ergebnisse
 - Die drei Testnetze
 - Ergebnisse

Der Algorithmus

Algorithmus zur
Mittelspannungsnetzplanung:

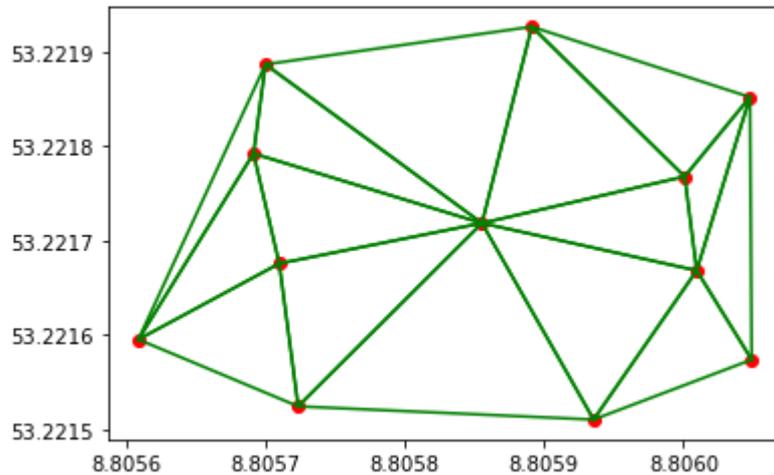
- **Eingabe: Busse mit Koordinaten**



Der Algorithmus

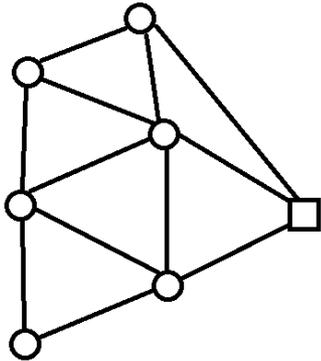
Algorithmus zur
Mittelspannungsnetzplanung:

- Eingabe: Busse mit Koordinaten
- **Triangulierung der Eingabe**



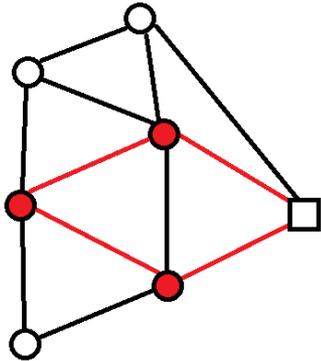
Einschub: Idee des Algorithmus

- Ausgangssituation: Triangulierung



- Transformator
- Bus
- Kanten
- Triangulierung

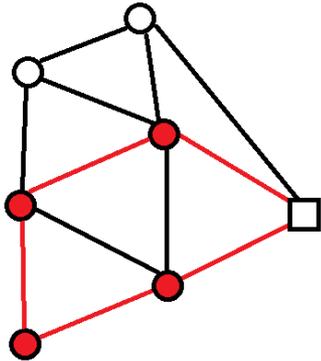
Einschub: Idee des Algorithmus



- Transformator
- Bus
- Kanten
Triangulierung
- angeschlossener
Bus
- Stromkabel
MS Netz

- Ausgangssituation: Triangulierung
- Starte Algorithmus an einem Transformator und erzeuge winziges Ringnetz
- **Wiederhole, bis alle Busse angeschlossen sind:**
 - **Erweitere Ringnetz mit benachbartem Dreieck**

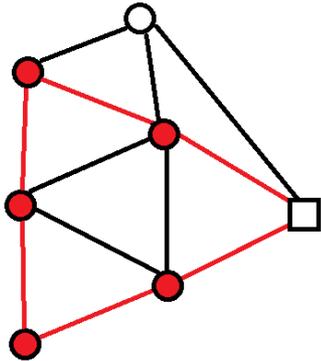
Einschub: Idee des Algorithmus



- Transformator
- Bus
- Kanten
- Triangulierung
- angeschlossener Bus
- Stromkabel
- MS Netz

- Ausgangssituation: Triangulierung
- Starte Algorithmus an einem Transformator und erzeuge winziges Ringnetz
- **Wiederhole, bis alle Busse angeschlossen sind:**
 - **Erweitere Ringnetz mit benachbartem Dreieck**

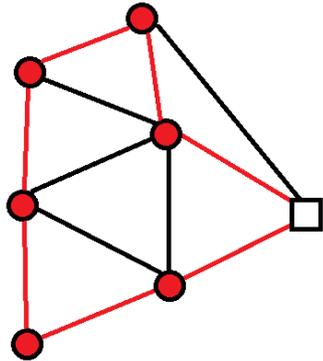
Einschub: Idee des Algorithmus



- Transformator
- Bus
- Kanten
— Triangulierung
- angeschlossener Bus
- Stromkabel
— MS Netz

- Ausgangssituation: Triangulierung
- Starte Algorithmus an einem Transformator und erzeuge winziges Ringnetz
- **Wiederhole, bis alle Busse angeschlossen sind:**
 - **Erweitere Ringnetz mit benachbartem Dreieck**

Einschub: Idee des Algorithmus



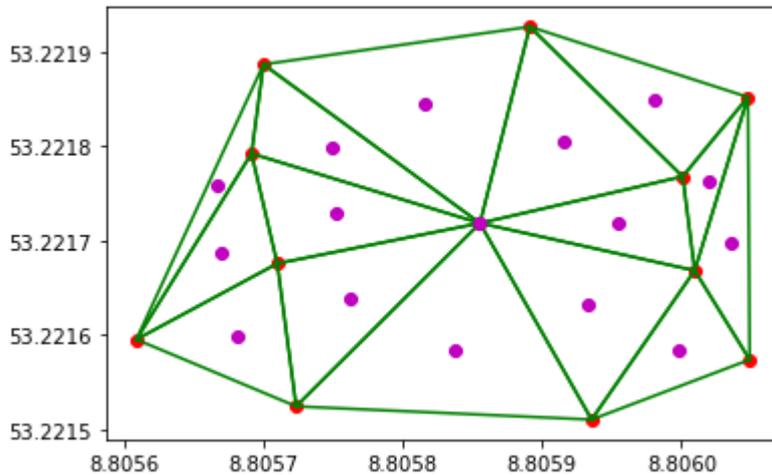
- Transformator
- Bus
- Kanten
Triangulierung
- angeschlossener
Bus
- Stromkabel
MS Netz

- Ausgangssituation: Triangulierung
- Starte Algorithmus an einem Transformator und erzeuge winziges Ringnetz
- **Wiederhole, bis alle Busse angeschlossen sind:**
 - **Erweitere Ringnetz mit benachbartem Dreieck**

Der Algorithmus

Algorithmus zur
Mittelspannungsnetzplanung:

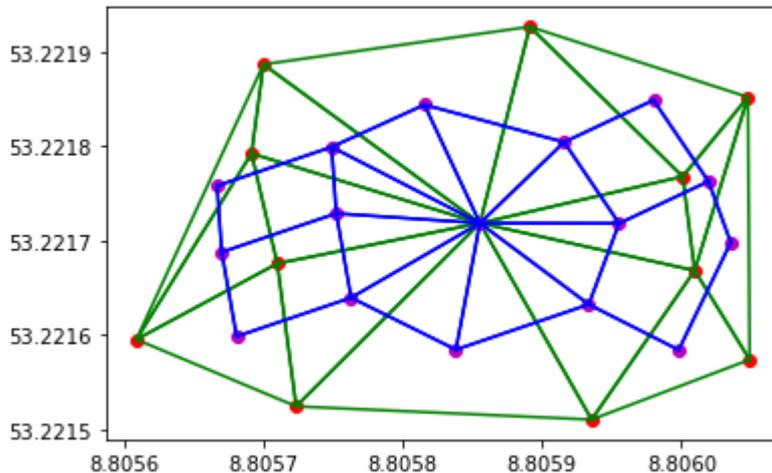
- Eingabe: Busse mit Koordinaten
- Triangulierung der Eingabe
- **Dreiecke als Knoten repräsentieren**



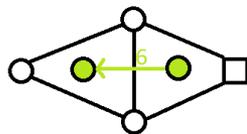
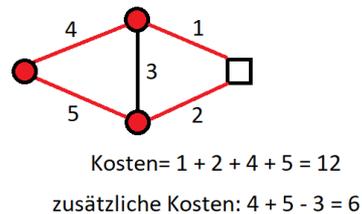
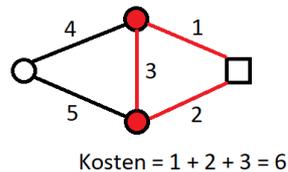
Der Algorithmus

Algorithmus zur
Mittelspannungsnetzplanung:

- Eingabe: Busse mit Koordinaten
- Triangulierung der Eingabe
- Dreiecke als Knoten repräsentieren
- **Benachbarte Dreiecke verbinden**



Der Algorithmus

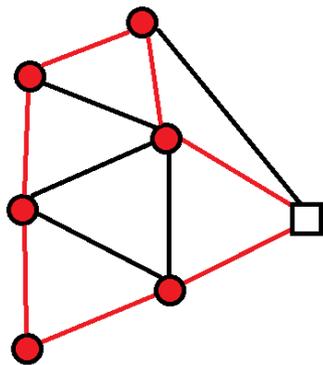


- Transformator
- Bus
- Kanten
- Triangulierung
- angeschlossener Bus
- Stromkabel
- MS Netz
- center of mass Dreieck

Algorithmus zur Mittelspannungsnetzplanung:

- Eingabe: Busse mit Koordinaten
- Triangulierung der Eingabe
- Dreiecke als Knoten repräsentieren
- Benachbarte Dreiecke verbinden
- **Kantengewichte berechnen**

Der Algorithmus

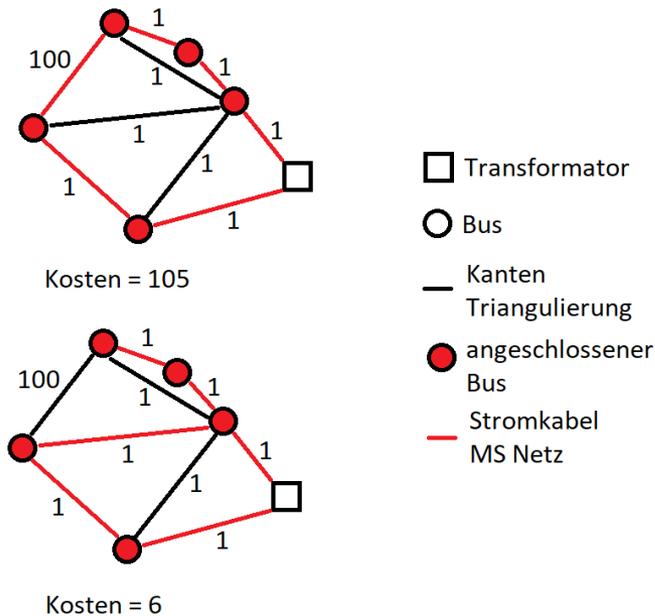


- Transformator
- Bus
- Kanten
— Triangulierung
- angeschlossener Bus
- Stromkabel
— MS Netz

Algorithmus zur Mittelspannungsnetzplanung:

- Eingabe: Busse mit Koordinaten
- Triangulierung der Eingabe
- Dreiecke als Knoten repräsentieren
- Benachbarte Dreiecke verbinden
- Kantengewichte berechnen
- **Optimierungsschleife starten:**
 - **Ameisen erzeugen eine Lösung, indem sie nach und nach Dreiecke auswählen**

Der Algorithmus



Algorithmus zur Mittelspannungsnetzplanung:

- Eingabe: Busse mit Koordinaten
- Triangulierung der Eingabe
- Dreiecke als Knoten repräsentieren
- Benachbarte Dreiecke verbinden
- Kantengewichte berechnen
- Optimierungsschleife starten:
 - Ameisen erzeugen eine Lösung, indem sie nach und nach Dreiecke auswählen
- **Lokale Nachbesserungen, z.B. Stichoptimierung**

Der Algorithmus

- `prepare_datastructures()`
for *iteration* = 0 to *nr_of_iterations* – 1 **do**:
 for *ant_nr* = 0 to *nr_of_ants* – 1 **do**:
 `ant[ant_nr].construct_solution()`
 `ant[ant_nr].update_pheromones()`

Gliederung

- Teil 1 - Grundlagen
 - Grundlagen Elektrotechnik
 - Grundlagen Ameisenalgorithmen
- Teil 2 – Der Algorithmus
- **Teil 3 – Analyse und Ergebnisse**
 - **Die drei Testnetze**
 - Ergebnisse

Die drei Testnetze

- Anforderungen an die Testnetze
 - Abdecken aller Randfälle
 - Bekanntes globales Optimum

Einschub: Untergrenze der Kosten

- **Satz 1:** Eine Untergrenze U der Kosten ist durch folgende Formel gegeben:

$$U = \sum_{i=1}^{nr_Busse} c_i$$

c_1 = kleinstes Kantengewicht

c_2 = zweitkleinstes Kantengewicht

...

Einschub: Untergrenze der Kosten

- **Satz 1:** Eine Untergrenze U der Kosten ist durch folgende Formel gegeben:

$$U = \sum_{i=1}^{nr_Busse} c_i$$

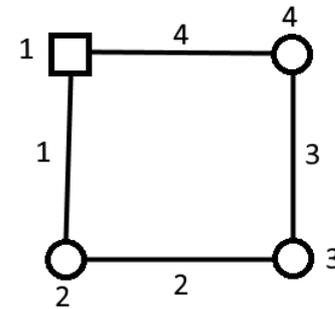
c_1 = kleinstes Kantengewicht

c_2 = zweitkleinstes Kantengewicht

...

- **Beweis:**

- Für einen Ring mit N Bussen, werden N Leitungen benötigt



Einschub: Untergrenze der Kosten

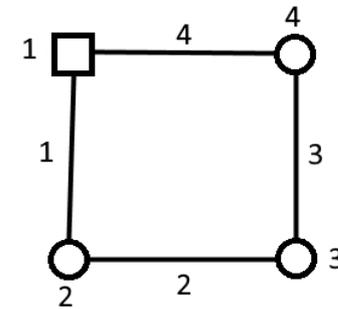
- **Satz 1:** Eine Untergrenze U der Kosten ist durch folgende Formel gegeben:

$$U = \sum_{i=1}^{nr_Busse} c_i$$

c_1 = kleinstes Kantengewicht

c_2 = zweitkleinstes Kantengewicht

...



- **Beweis:**

- Für einen Ring mit N Bussen, werden N Leitungen benötigt
- Die günstigste Möglichkeit besteht darin die N Leitungen mit den geringsten Kosten zu nehmen

Einschub: Untergrenze der Kosten

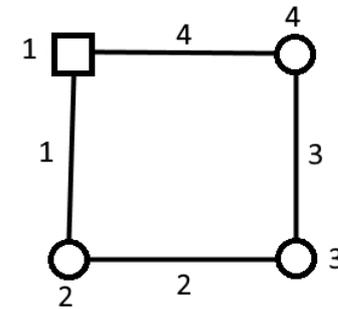
- **Satz 1:** Eine Untergrenze U der Kosten ist durch folgende Formel gegeben:

$$U = \sum_{i=1}^{nr_Busse} c_i$$

c_1 = kleinstes Kantengewicht

c_2 = zweitkleinstes Kantengewicht

...

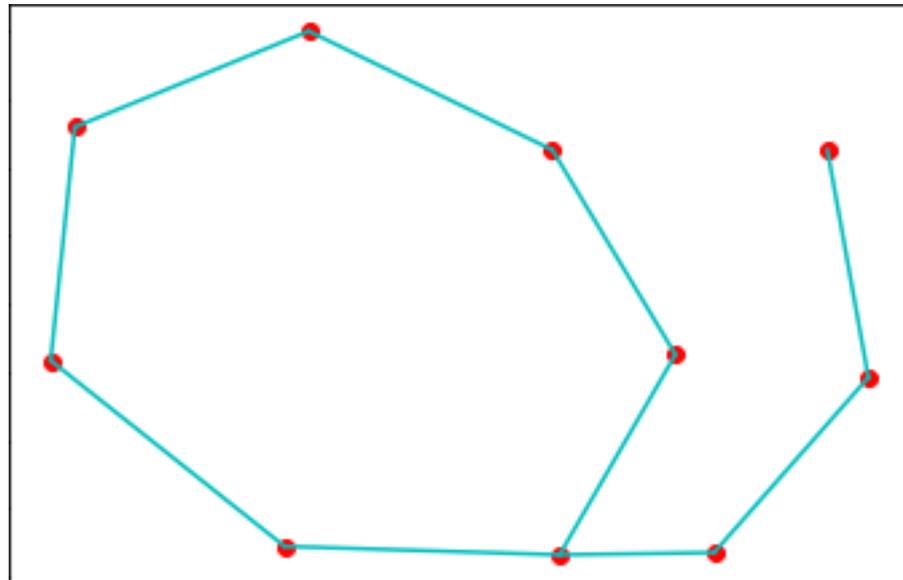


- **Beweis:**

- Für einen Ring mit N Bussen, werden N Leitungen benötigt
- Die günstigste Möglichkeit besteht darin die N Leitungen mit den geringsten Kosten zu nehmen
- Da ein Stich eine Leitung entfernt, aber eine andere hinzufügt ändert dies nichts daran, dass weiterhin N Leitungen benötigt werden

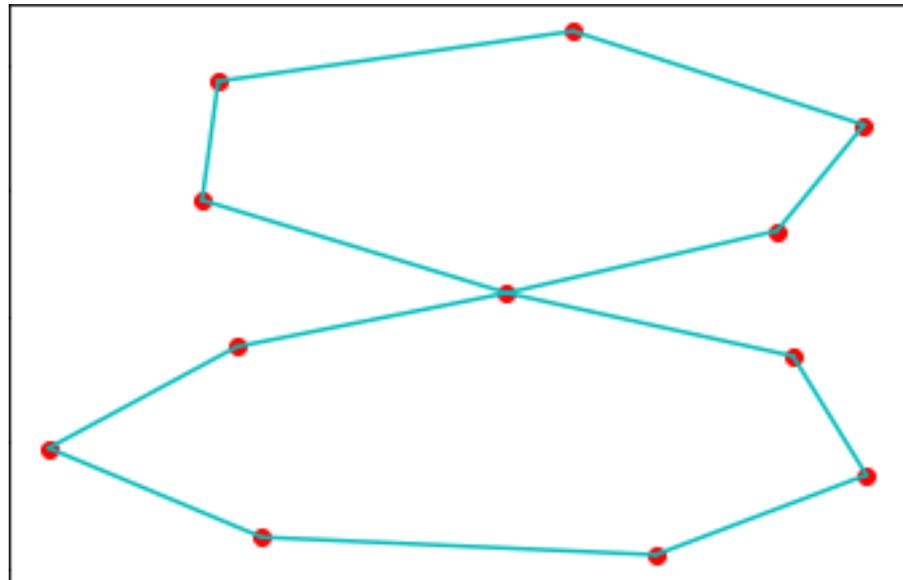
Die drei Testnetze

- Testnetz 1:
 - Jeder Bus ist mit jedem Bus verbunden
 - Die abgebildeten Kanten haben ein Kantengewicht von 1
 - Alle anderen Kanten haben ein Kantengewicht von 2
 - Nach Satz 1 liegt die Untergrenze bei 10
 - Da das abgebildete Netz gültig ist kann diese untere Schranke erreicht werden



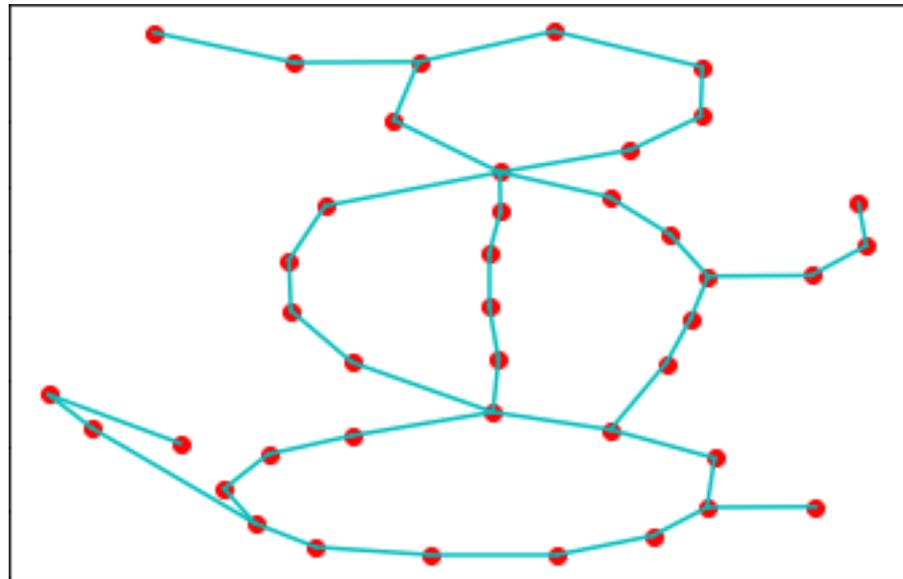
Die drei Testnetze

- Testnetz 2:
 - Jeder Bus ist mit jedem Bus verbunden
 - Die abgebildeten Kanten haben ein Kantengewicht von 1
 - Alle anderen Kanten haben ein Kantengewicht von 2,5
 - Globales Optimum liegt bei 13



Die drei Testnetze

- Testnetz 3:
 - Jeder Bus ist mit jedem Bus verbunden
 - Die abgebildeten Kanten haben ein Kantengewicht von 1
 - Alle anderen Kanten haben ein Kantengewicht von 4,5
 - Globales Optimum liegt bei 44



Die drei Testnetze

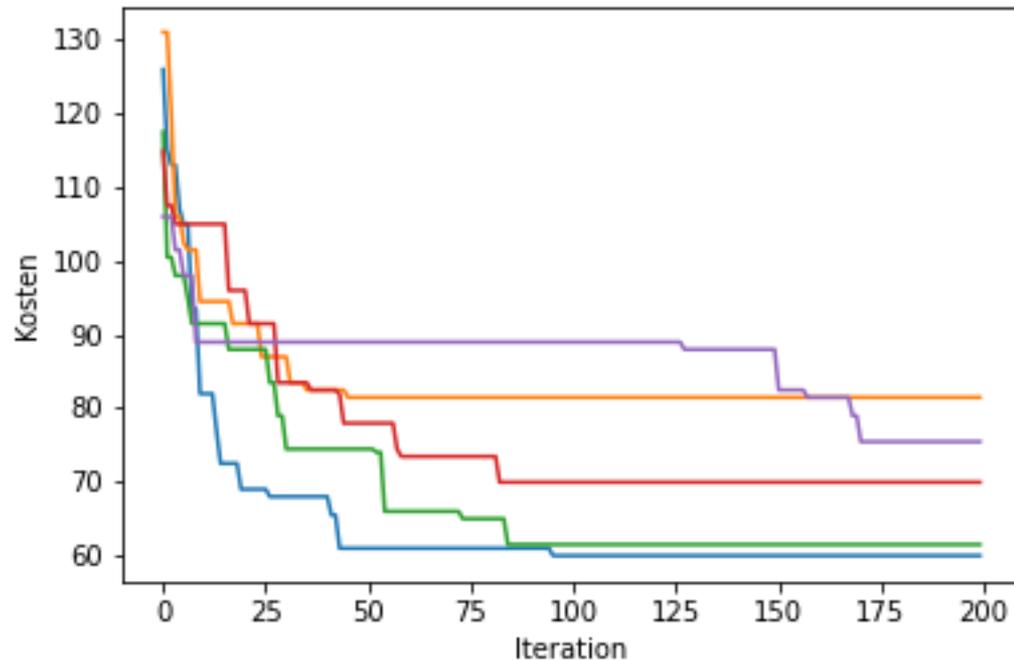
- Vergleichsalgorithmus:
 - Greedy Algorithmus
 - Verwendet ebenfalls Triangulierung
 - Wählt in jedem Schritt das billigste Dreieck

Gliederung

- Teil 1 - Grundlagen
 - Grundlagen Elektrotechnik
 - Grundlagen Ameisenalgorithmen
- Teil 2 – Der Algorithmus
- **Teil 3 – Analyse und Ergebnisse**
 - Die drei Testnetze
 - **Ergebnisse**

Die drei Testnetze

- Ergebnisse einiger Durchläufe des Ameisenalgorithmus:



Die drei Testnetze

- Ergebnisse:

Testnetz Nr.	Globales Optimum	Beste Lösung des Ameisenalgorithmus	Lösung des greedy Algorithmus
1	10		
2	13		
3	44		

Die drei Testnetze

- Ergebnisse:

Testnetz Nr.	Globales Optimum	Beste Lösung des Ameisenalgorithmus	Lösung des greedy Algorithmus
1	10	10	
2	13	13	
3	44	60	

Die drei Testnetze

- Ergebnisse:

Testnetz Nr.	Globales Optimum	Beste Lösung des Ameisenalgorithmus	Lösung des greedy Algorithmus
1	10	10	10
2	13	13	22
3	44	60	127,9

Zusammenfassung

- Reduzierung des Suchraums mithilfe der Triangulierung
- Lösungskonstruktion der Ameisen wird über Pheromone beeinflusst
- Der Ameisenalgorithmus erzielt gute bis sehr gute Ergebnisse