

## Bachelor-Kolloquium

# Konzentrische U-Bahn-Linienpläne

Magnus Lechner  
19.03.2014

Betreuer:  
Prof. Dr. Alexander Wolff  
Dipl.-Inf. Martin Fink

# Motivation

Warum sind U-Bahn-Linienpläne von Interesse?

# Motivation

Warum sind U-Bahn-Linienpläne von Interesse?

London Underground:

- 270 Stationen
- 11 Linien
- 402 km Streckenlänge
- 3,2 Millionen Fahrgäste pro Tag

# Motivation

Warum sind U-Bahn-Linienpläne von Interesse?

London Underground:

- 270 Stationen
- 11 Linien
- 402 km Streckenlänge
- 3,2 Millionen Fahrgäste pro Tag

Linienpläne müssen:

- übersichtlich sein
- eine effiziente Routenplanung ermöglichen

# Motivation

Henry Beck (1933): Schematische Darstellung des Londoner U-Bahn-Netzes



# Motivation

Henry Beck (1933): Schematische Darstellung des Londoner U-Bahn-Netzes



Oktilineares Layout weltweit vorherrschend!

# Motivation

Aufgrund Untersuchungen:

- Abweichung vom oktlinearen Layout

# Motivation

Aufgrund Untersuchungen:

- Abweichung vom oktlinearen Layout
- Designregeln an zugrundeliegendes Netzwerk anpassen



# Motivation

Aufgrund Untersuchungen:

- Abweichung vom oktlinearen Layout
- Designregeln an zugrundeliegendes Netzwerk anpassen

Radial-Konzentrisches Layout

# Motivation

Aufgrund Untersuchungen:

- Abweichung vom oktilinearen Layout
- Designregeln an zugrundeliegendes Netzwerk anpassen

## Radial-Konzentrisches Layout

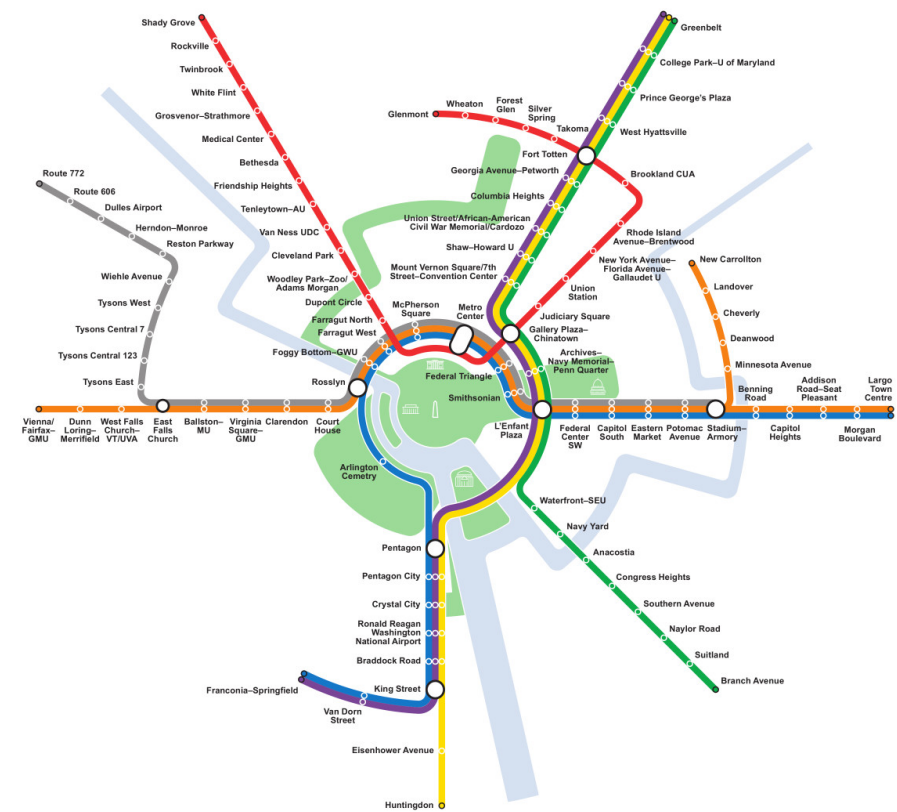


# Motivation

Aufgrund Untersuchungen:

- Abweichung vom oktilinearen Layout
- Designregeln an zugrundeliegendes Netzwerk anpassen

## Radial-Konzentrisches Layout



# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Grundlegende Bedingungen:

- essentielle Bestandteile eines (radial-konzentrischen) Linienplanes
- müssen in jedem Linienplan erfüllt sein

# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Grundlegende Bedingungen:

- essentielle Bestandteile eines (radial-konzentrischen) Linienplanes
- müssen in jedem Linienplan erfüllt sein

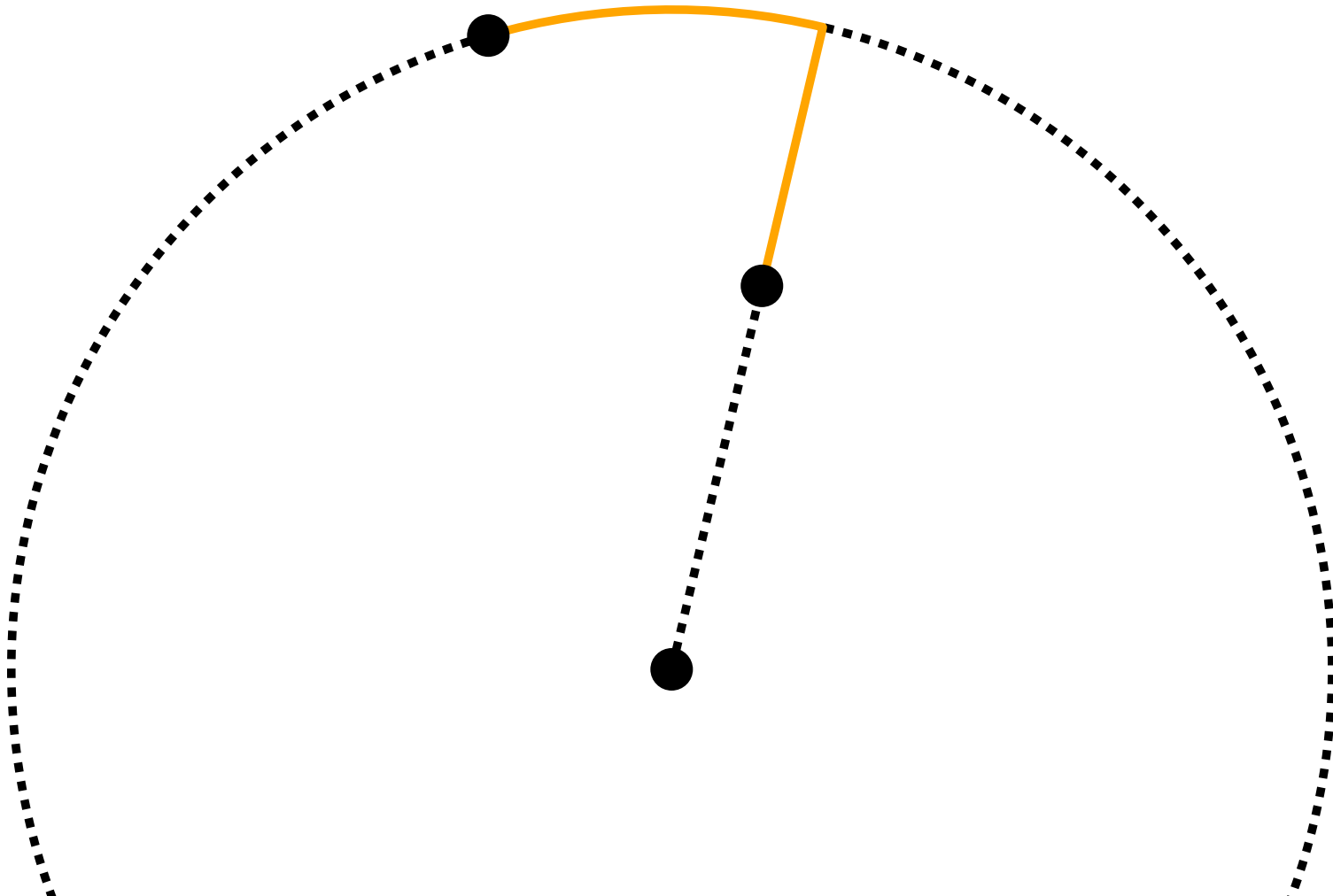
Optimierungskriterien:

- definieren ein optimales Ergebnis
- dienen als Qualitätsmaß

# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Grundlegende Bedingungen:

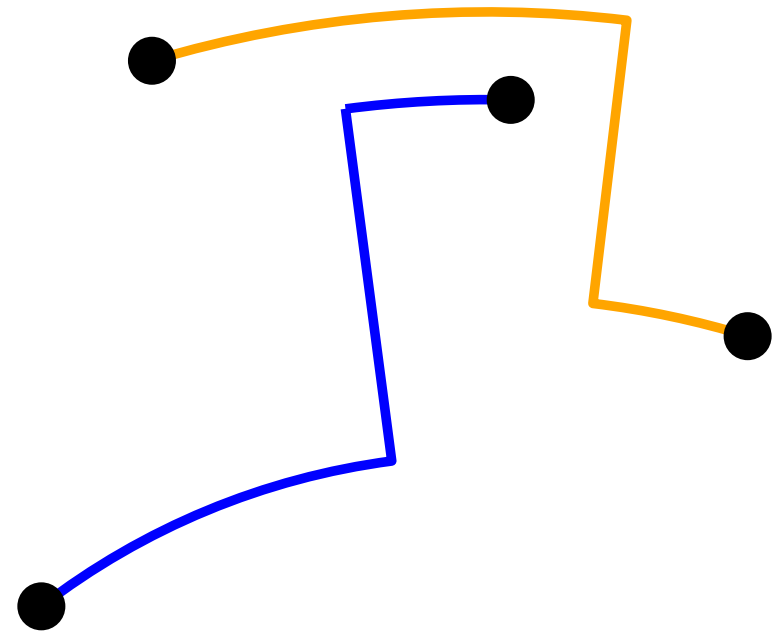
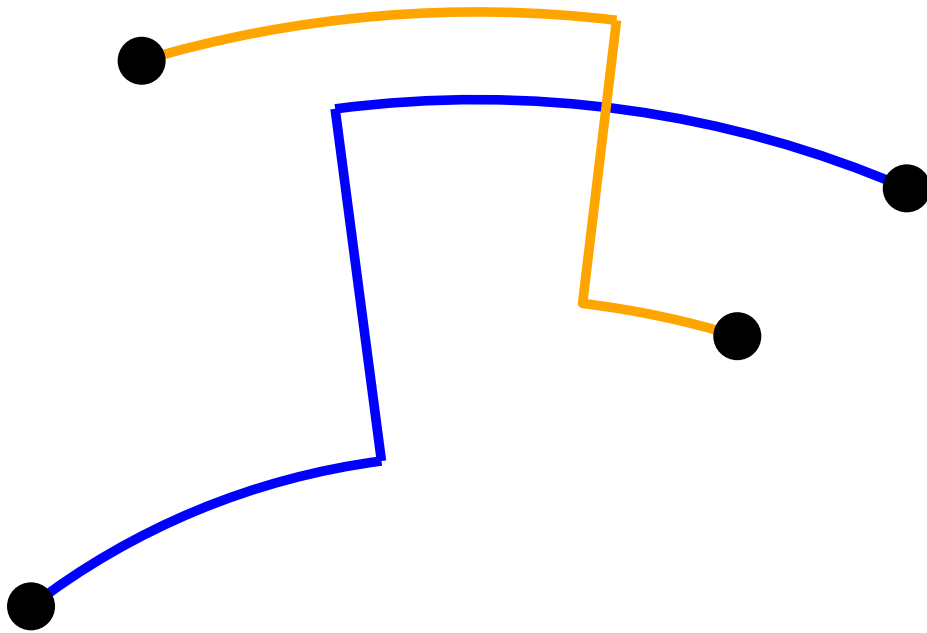
- Nur radiale oder konzentrische Liniensegmente



# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Grundlegende Bedingungen:

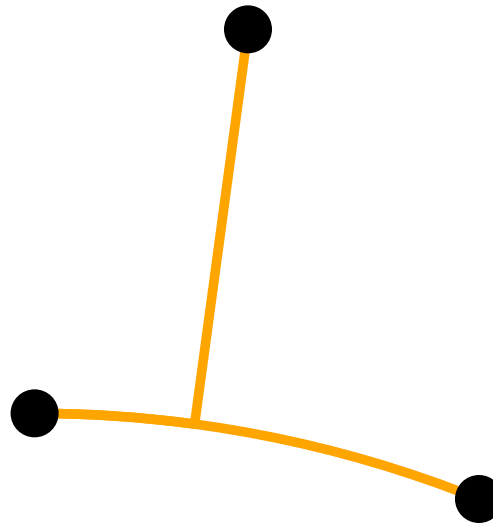
- Nur radiale oder konzentrische Liniensegmente
- Keine Kreuzungen



# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Grundlegende Bedingungen:

- Nur radiale oder konzentrische Liniensegmente
- Keine Kreuzungen
- Linienverläufe eindeutig nachvollziehbar





# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Grundlegende Bedingungen:

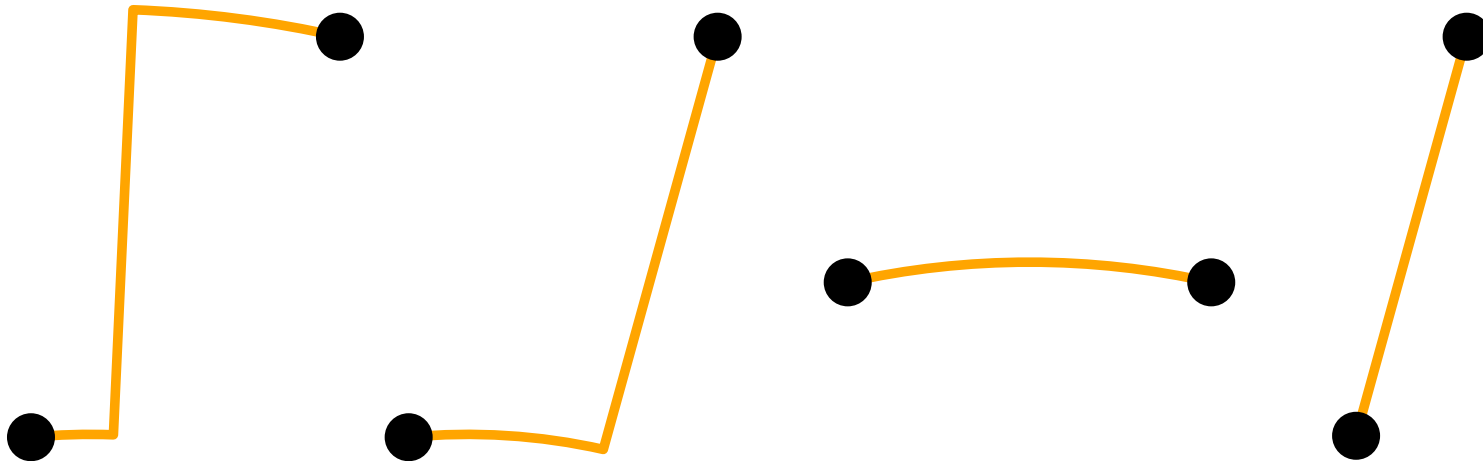
- Nur radiale oder konzentrische Liniensegmente
- Keine Kreuzungen
- Linienverläufe eindeutig nachvollziehbar
- Stationen dürfen nicht aufeinanderliegen

# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Optimierungskriterien:

- Linien sollen möglichst wenig Knicke enthalten

Kante:

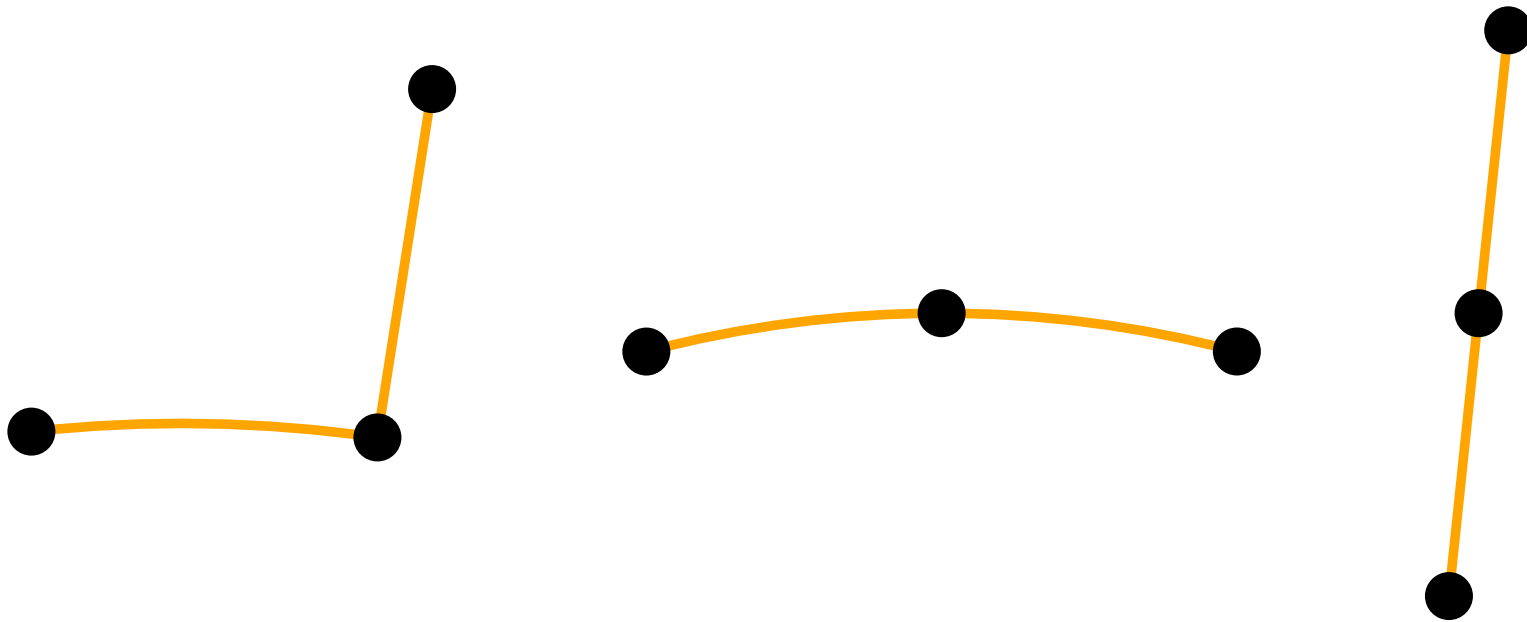


# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Optimierungskriterien:

- Linien sollen möglichst wenig Knicke enthalten

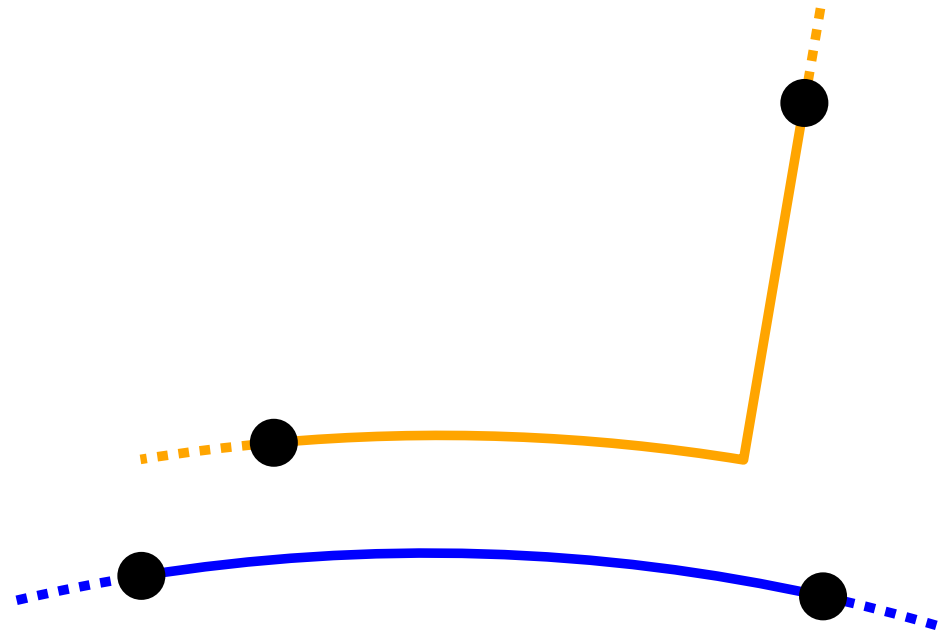
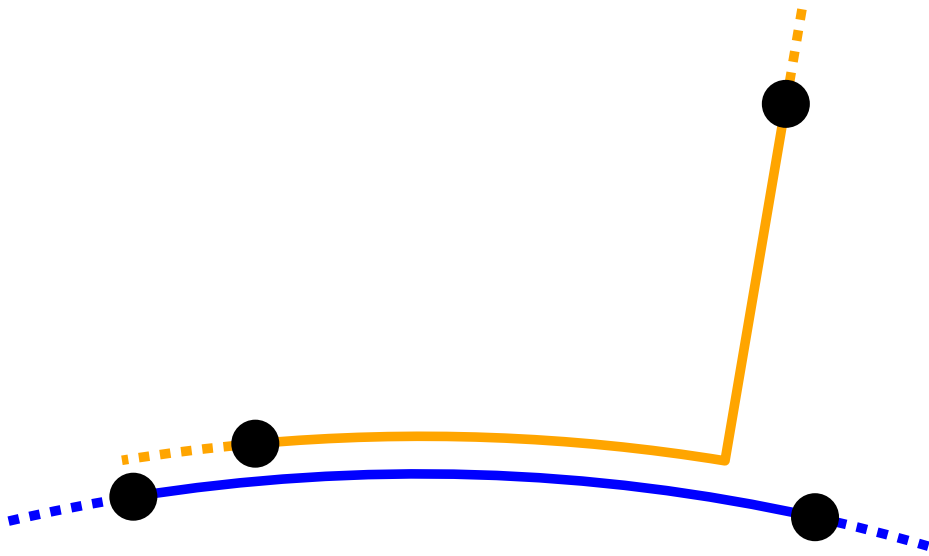
Linie:



# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Optimierungskriterien:

- Linien sollen möglichst wenig Knicke enthalten
- Abstand zwischen benachbarten Liniensegmenten



# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Optimierungskriterien:

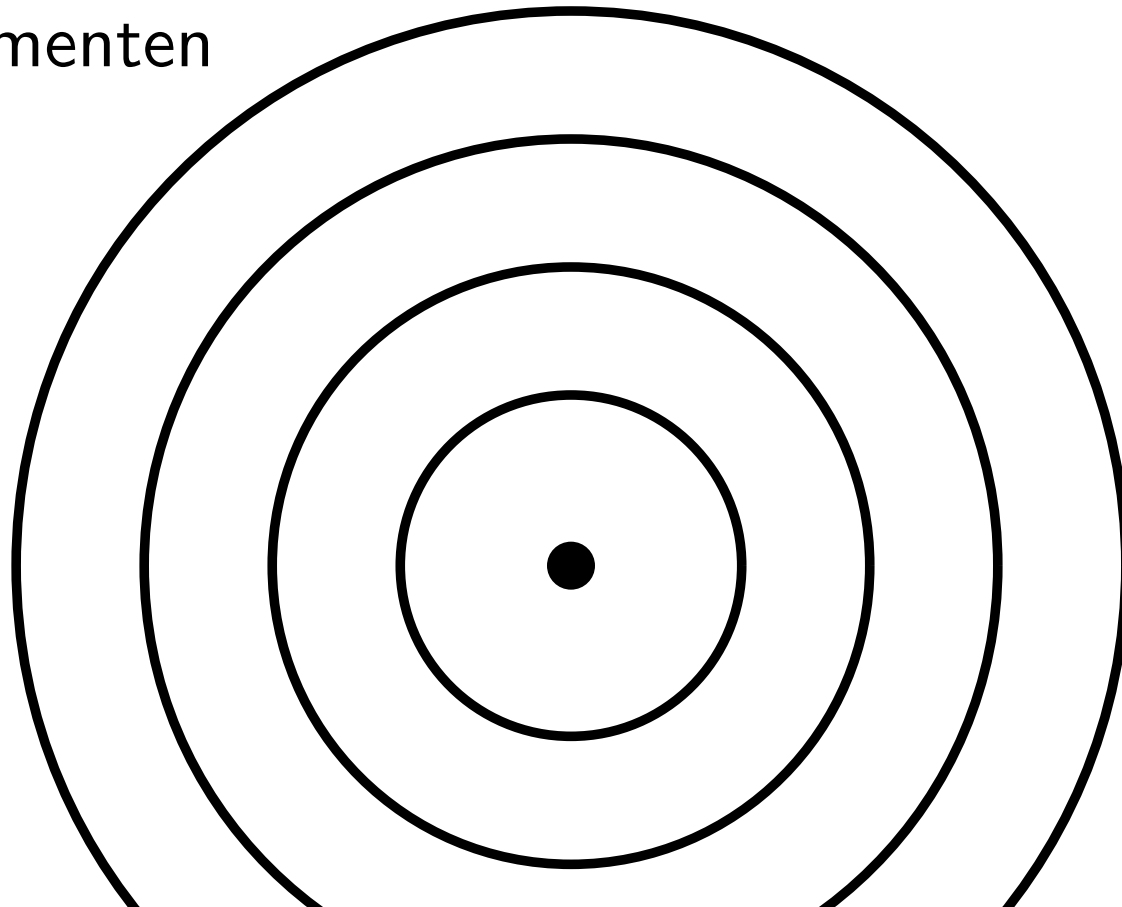
- Linien sollen möglichst wenig Knicke enthalten
- Abstand zwischen benachbarten Liniensegmenten
- Kanten möglichst gleich lang



# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Optimierungskriterien:

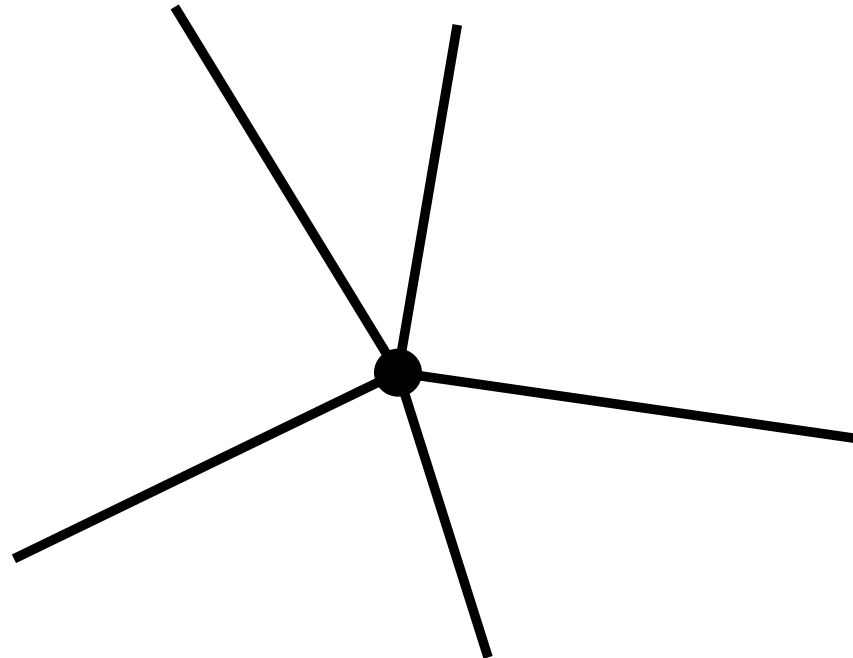
- Linien sollen möglichst wenig Knicke enthalten
- Abstand zwischen benachbarten Liniensegmenten
- Kanten möglichst gleich lang
- Geringe Anzahl unterschiedlicher Radien von konzentrischen Liniensegmenten



# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Optimierungskriterien:

- Linien sollen möglichst wenig Knicke enthalten
- Abstand zwischen benachbarten Liniensegmenten
- Kanten möglichst gleich lang
- Geringe Anzahl unterschiedlicher Radien von konzentrischen Liniensegmenten
- Geringe Anzahl unterschiedlicher Winkel von radialen Liniensegmenten



# Modellierung eines Liniennetzwerkes

Optimierungskriterien:

- Linien sollen möglichst wenig Knicke enthalten
- Abstand zwischen benachbarten Liniensegmenten
- Kanten möglichst gleich lang
- Geringe Anzahl unterschiedlicher Radien von konzentrischen Liniensegmenten
- Geringe Anzahl unterschiedlicher Winkel von radialen Liniensegmenten
- Relative Positionen zwischen Knotenpaaren soll berücksichtigt werden



# Grundlagen

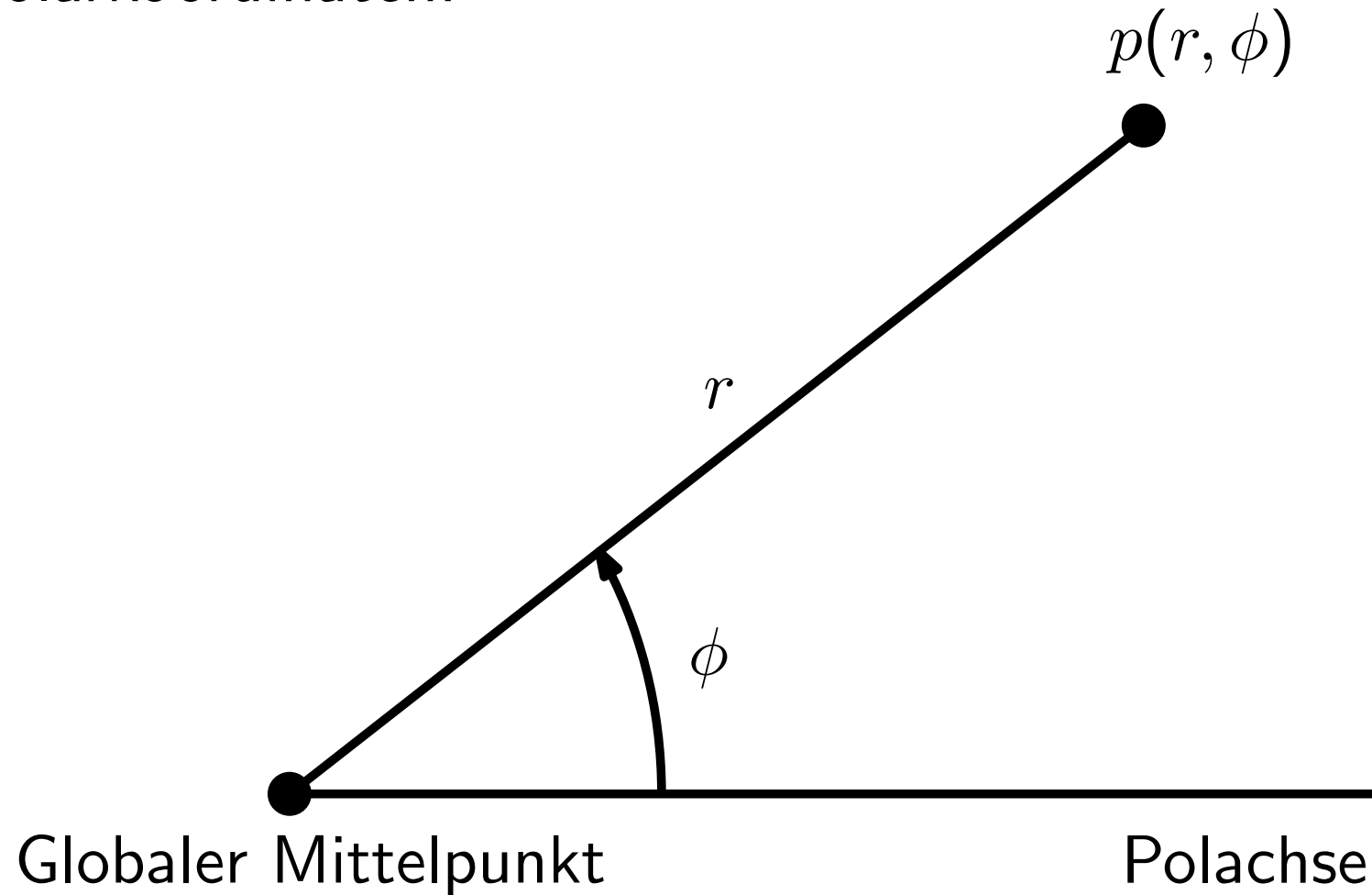
Polarkoordinaten:



Globaler Mittelpunkt

# Grundlagen

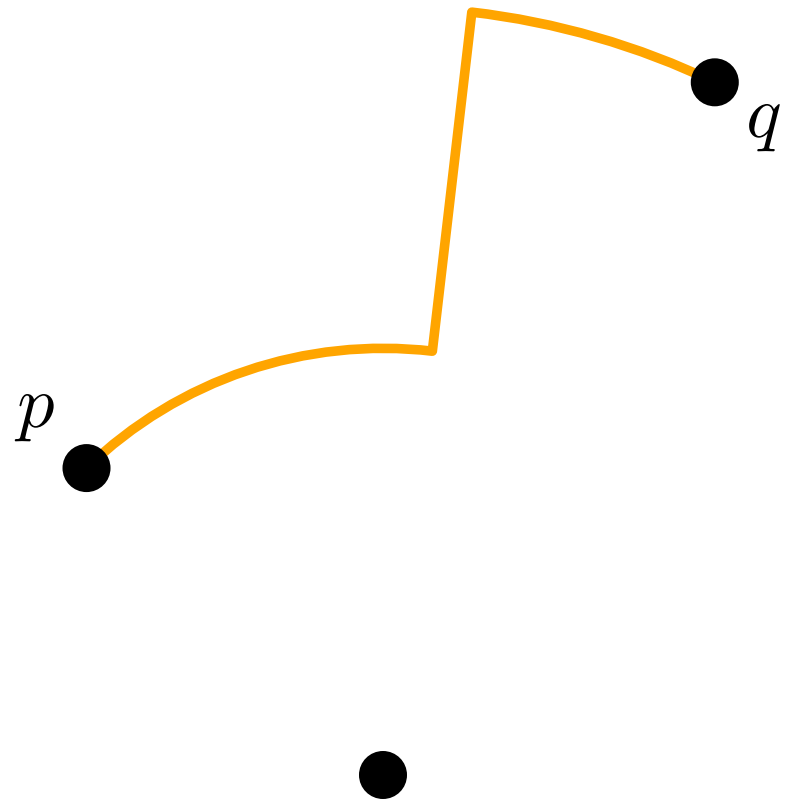
Polarkoordinaten:



# Grundlagen

Kante:

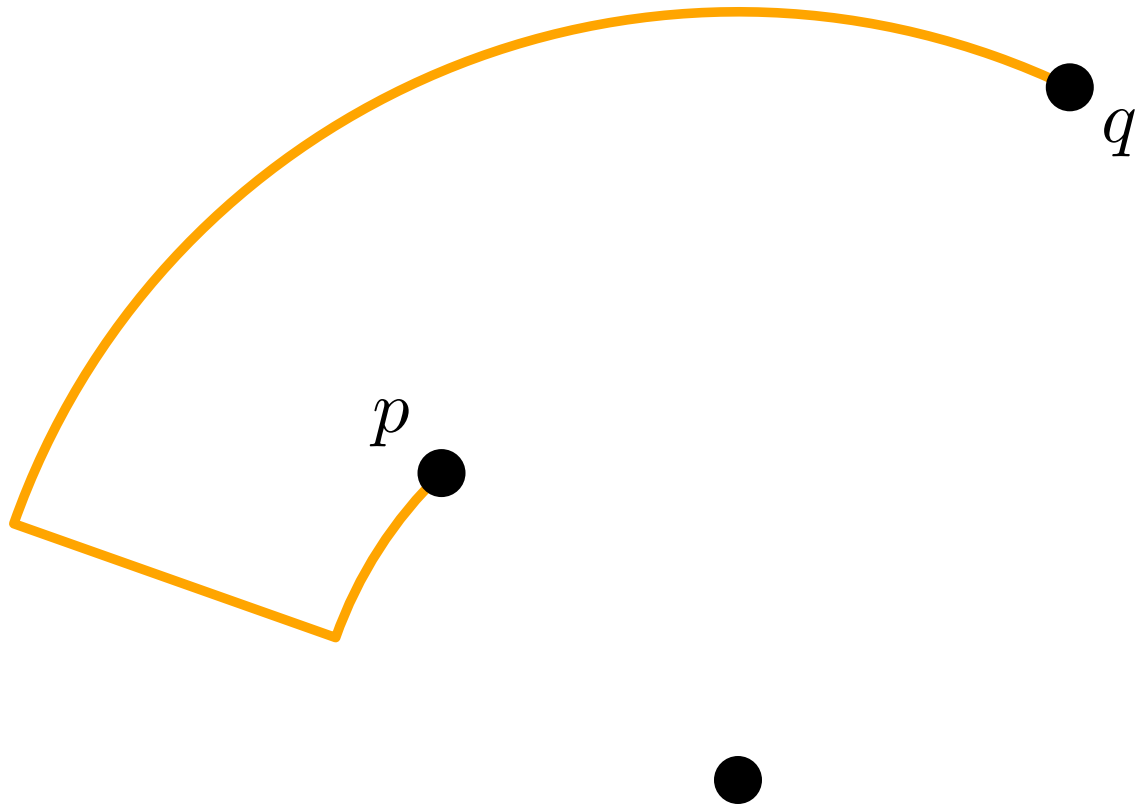
Konzentrisch - Radial - Konzentrisch



# Grundlagen

Kante:

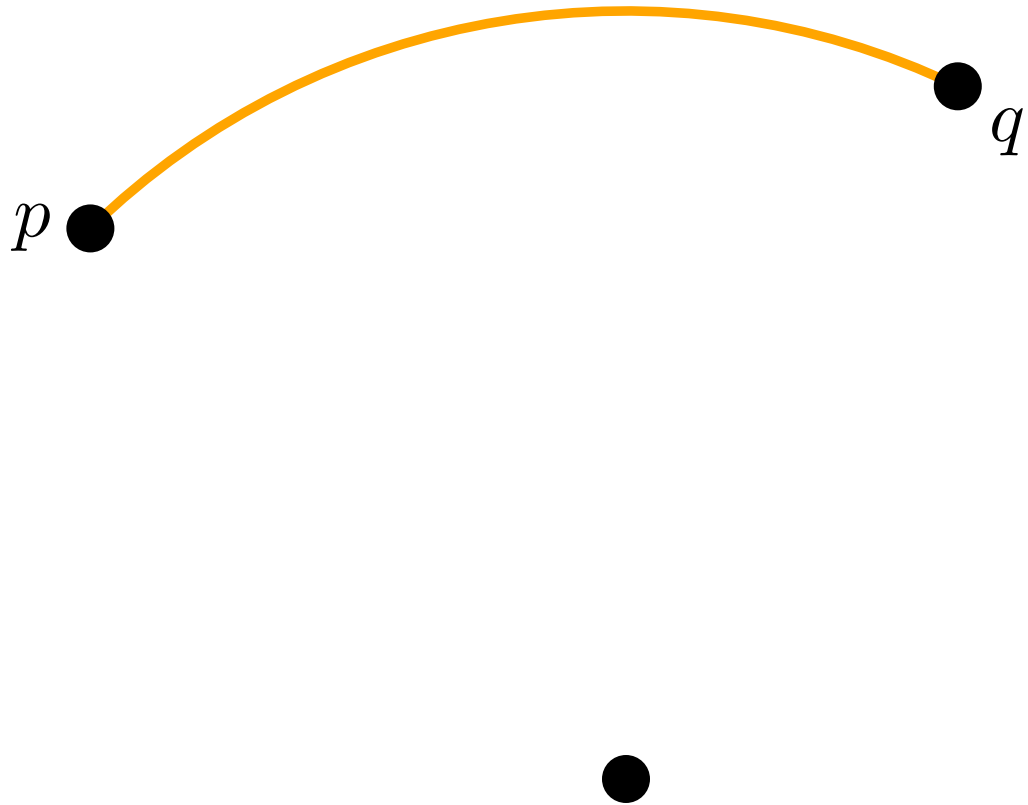
Konzentrisch - Radial - Konzentrisch



# Grundlagen

Kante:

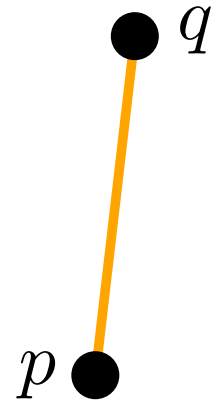
Konzentrisch - Radial - Konzentrisch



# Grundlagen

Kante:

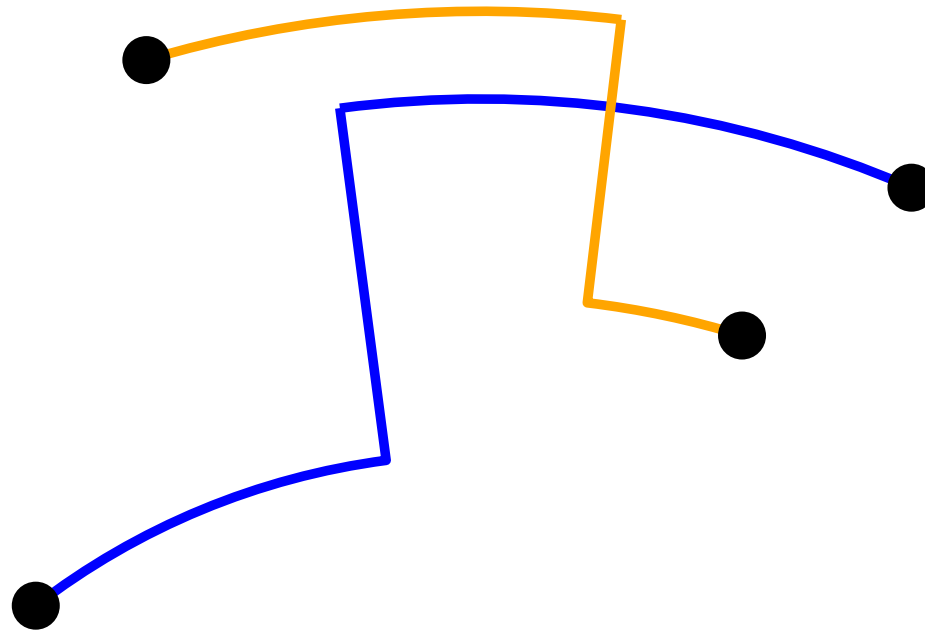
Konzentrisch - Radial - Konzentrisch



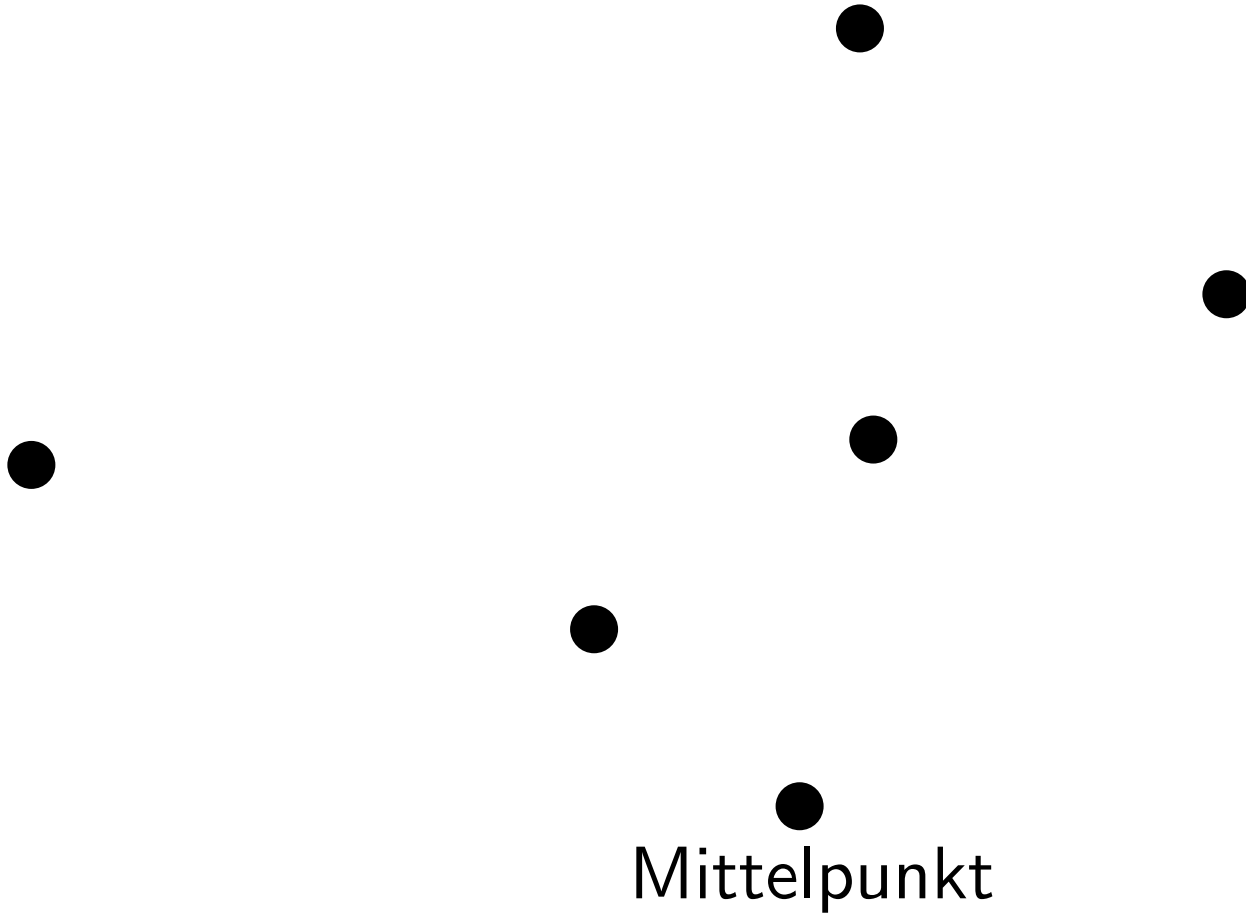
# Grundlagen

Kreuzung:

Radiales Liniensegment einer Kante kreuzt ein konzentrisches Liniensegment einer anderen Kante

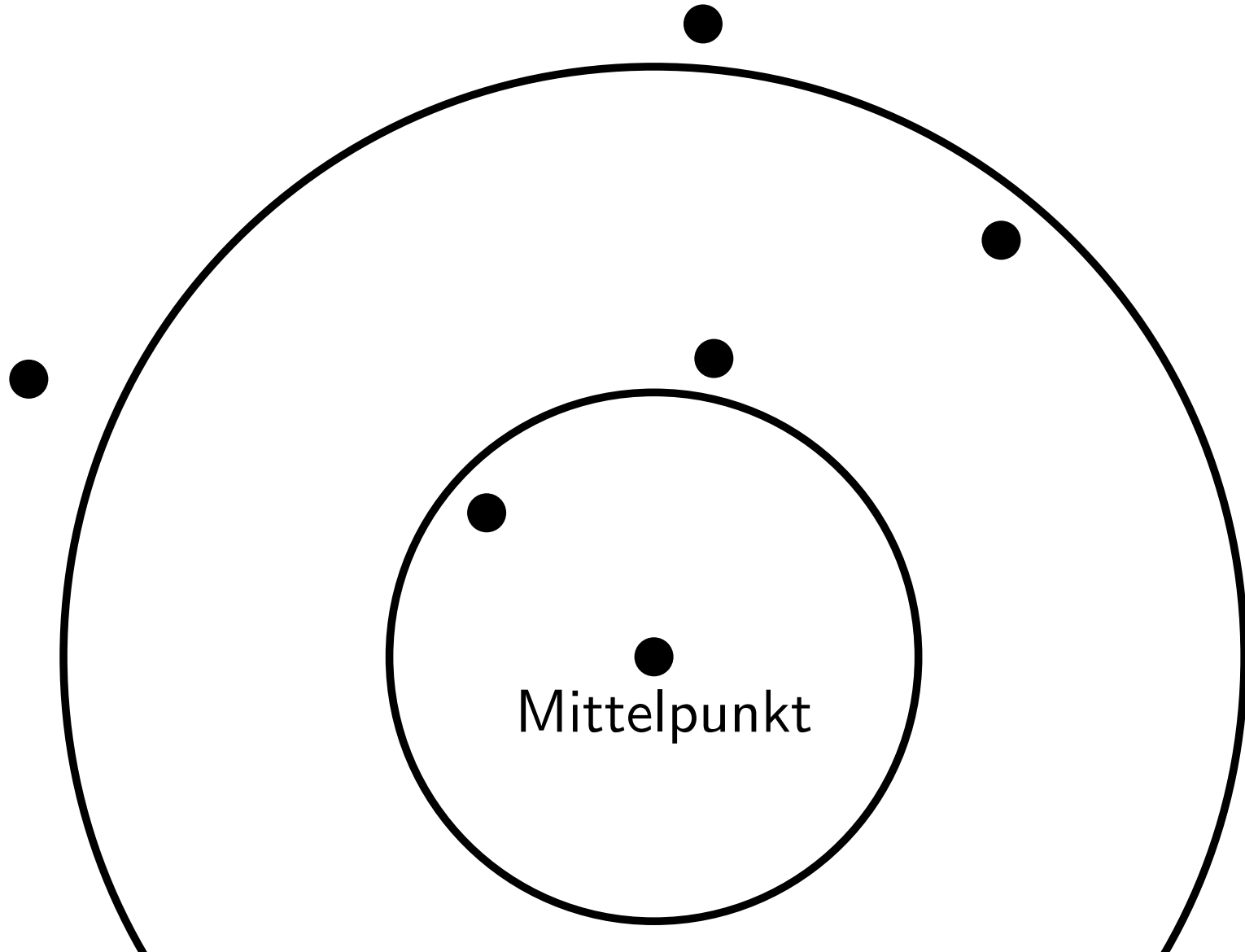


# Heuristischer Ansatz

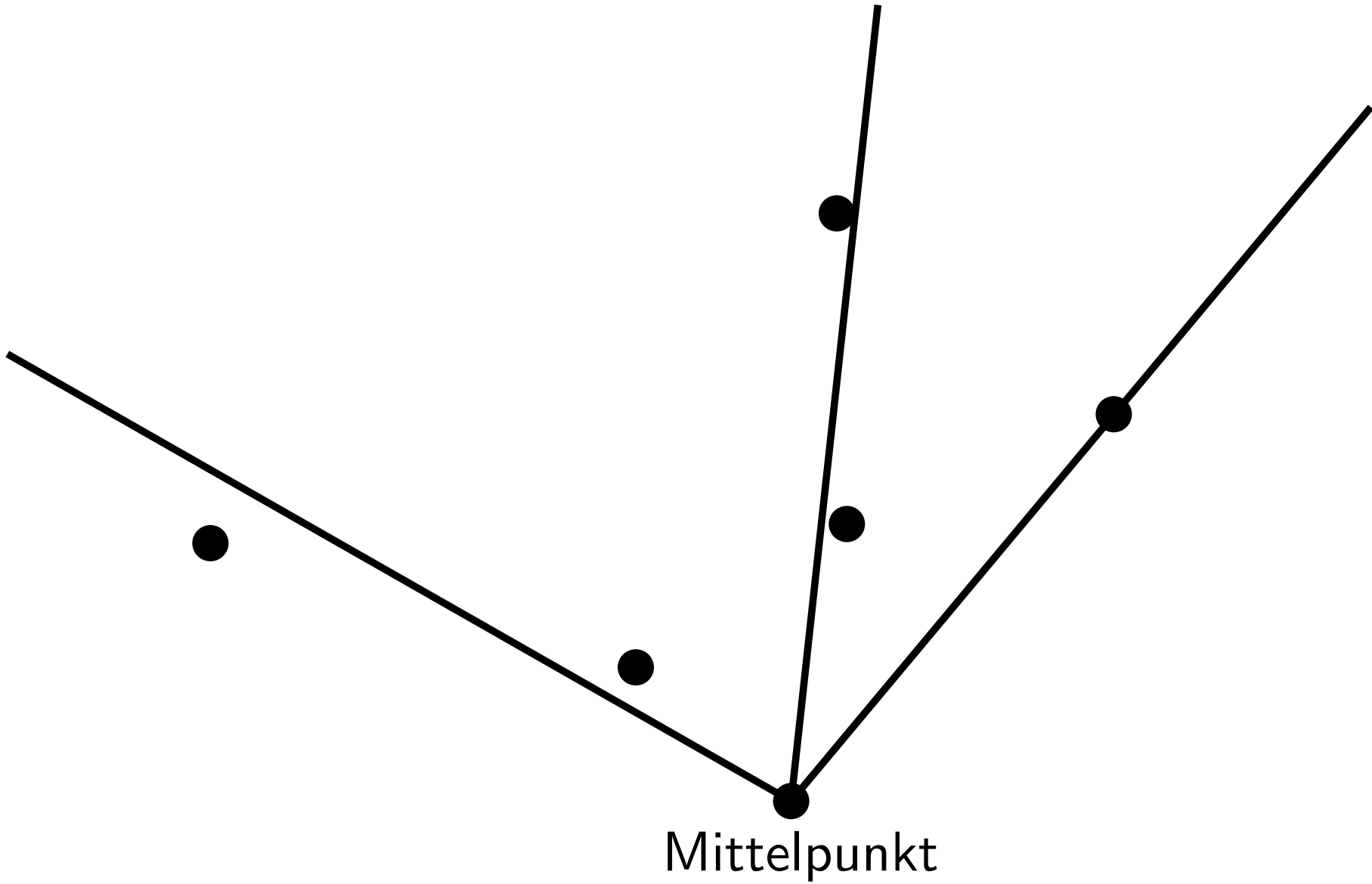




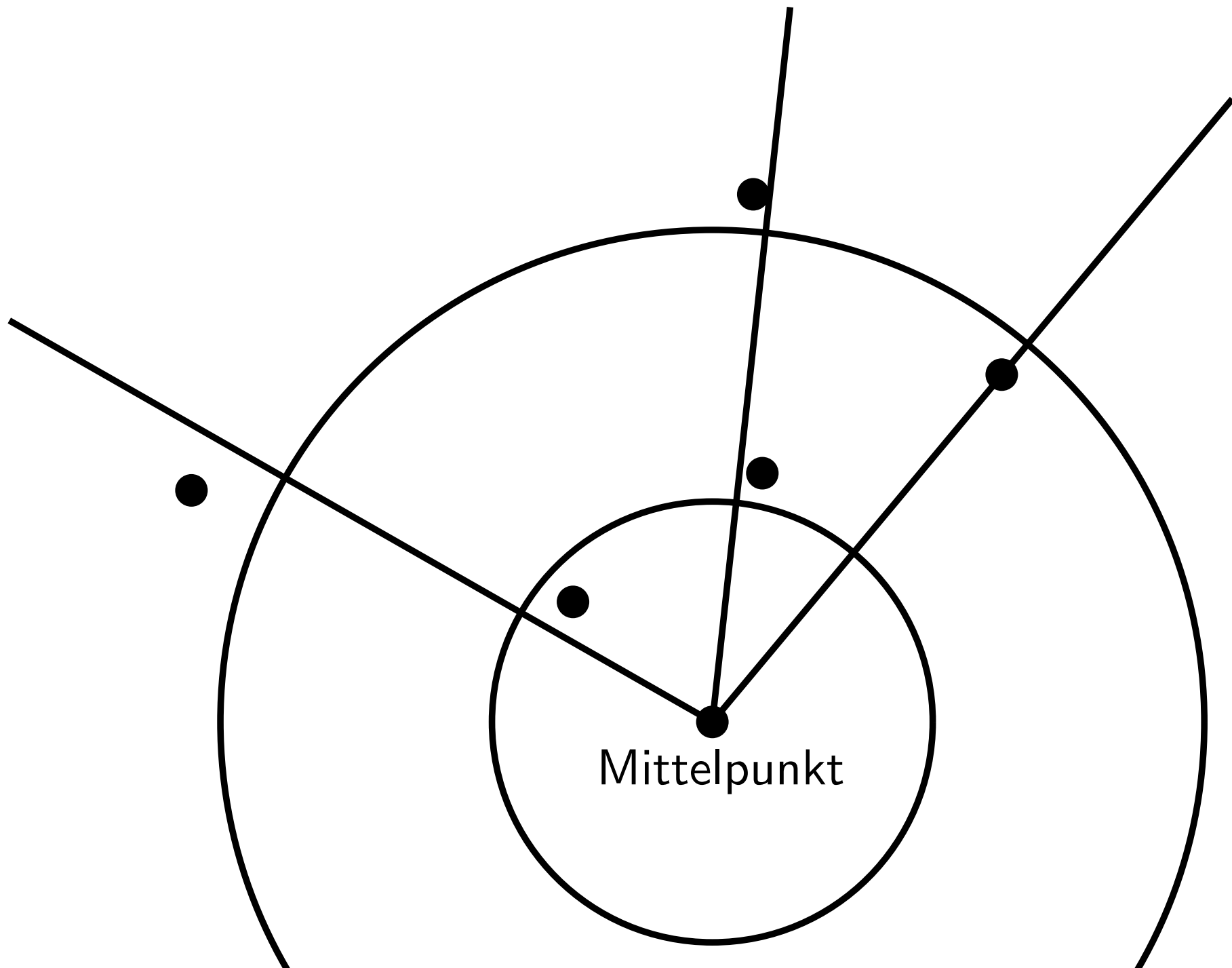
# Heuristischer Ansatz



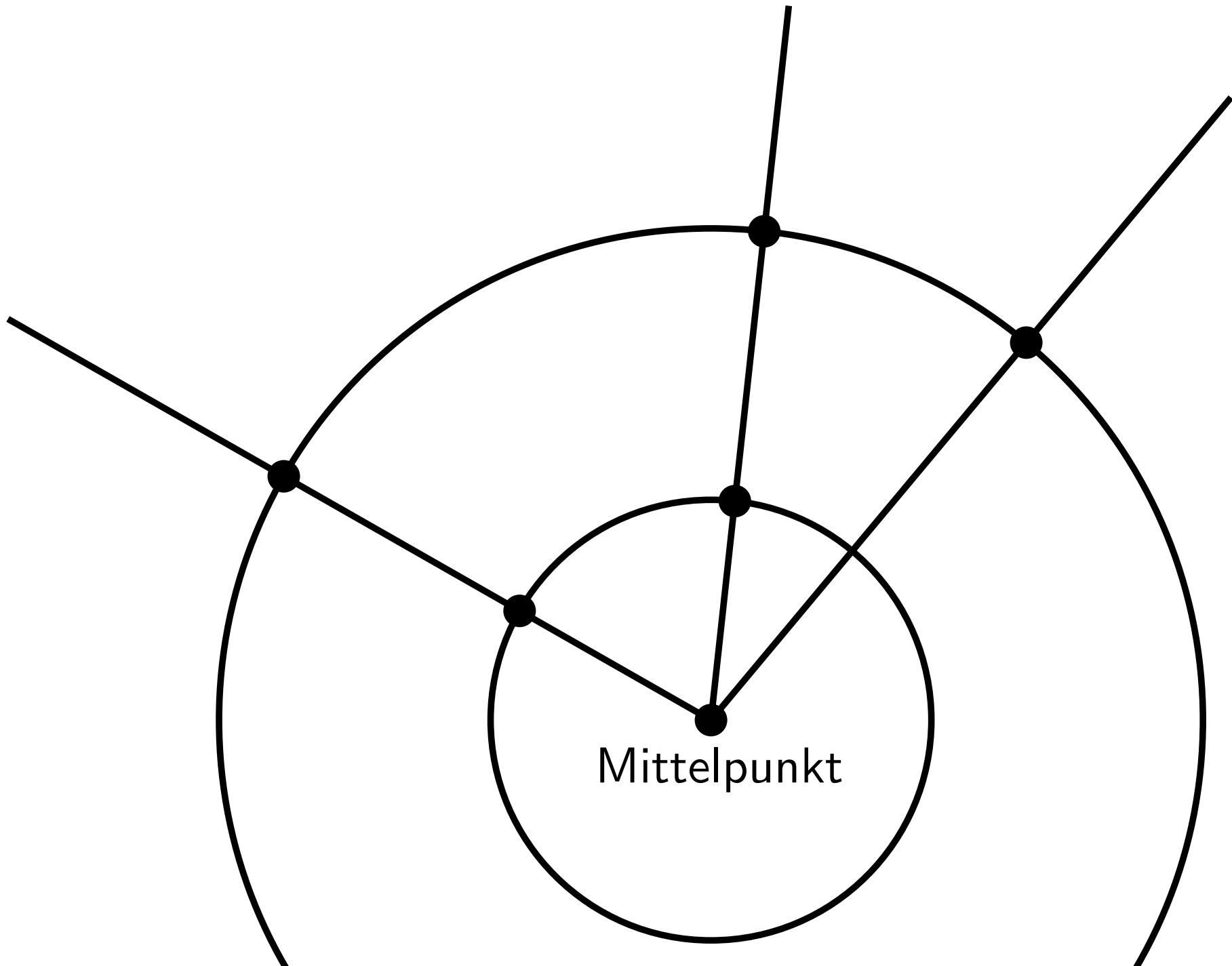
# Heuristischer Ansatz



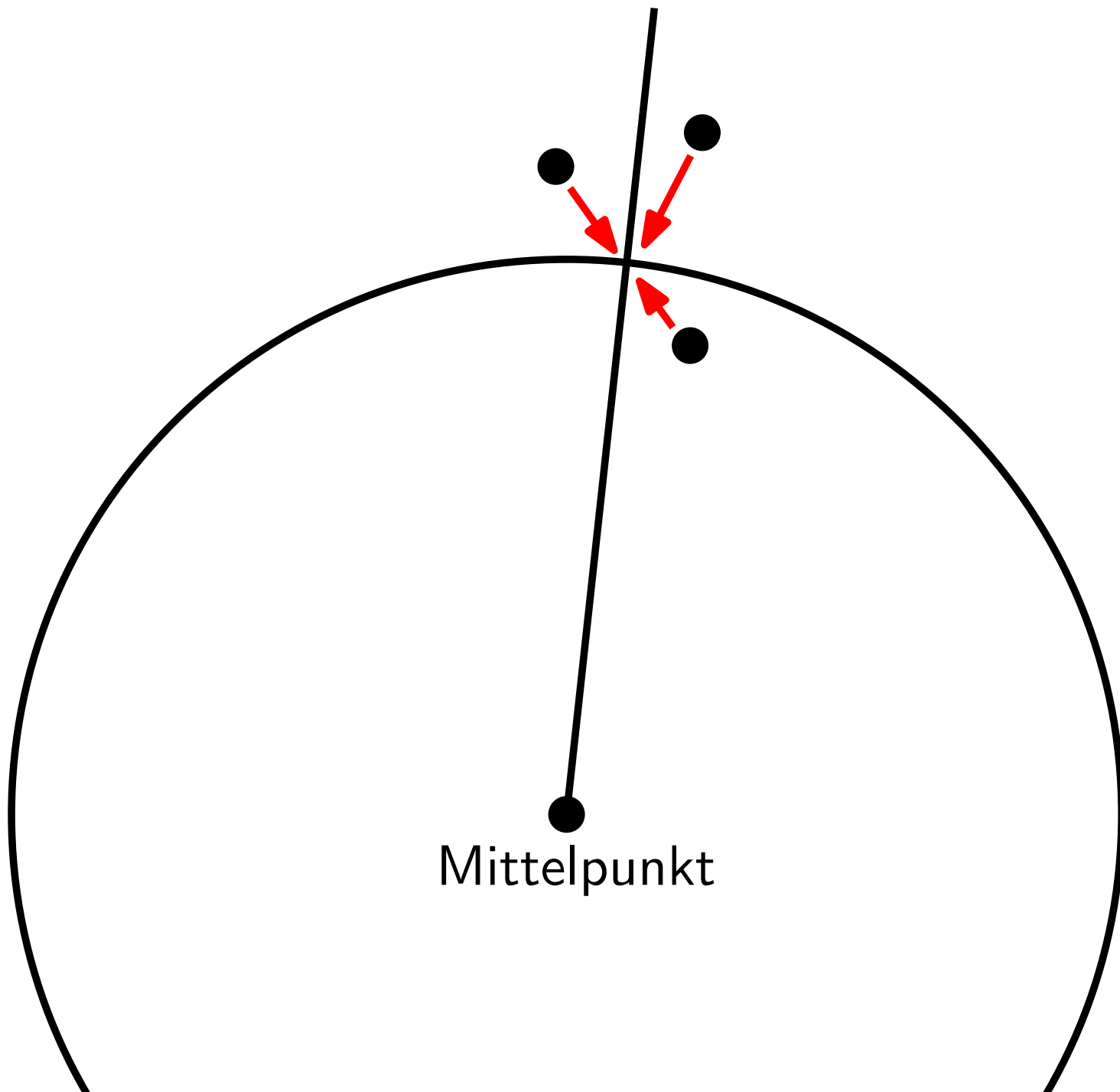
# Heuristischer Ansatz



# Heuristischer Ansatz



# Heuristischer Ansatz



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Besteht aus:

- Variablen

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Besteht aus:

- Variablen
- Nebenbedingungen:
  - Lineare Gleichungen und Ungleichungen
  - Sind in jeder Lösung des Problems erfüllt

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Besteht aus:

- Variablen
- Nebenbedingungen:
  - Lineare Gleichungen und Ungleichungen
  - Sind in jeder Lösung des Problems erfüllt
- Zielfunktion:
  - Enthält zu optimierende Variablen
  - Wird minimiert



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Nebenbedingungen:

- Berücksichtigung der Eingabe
- Kreuzungen
- Überlappungen
- Mehrfachabbildungen

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Nebenbedingungen:

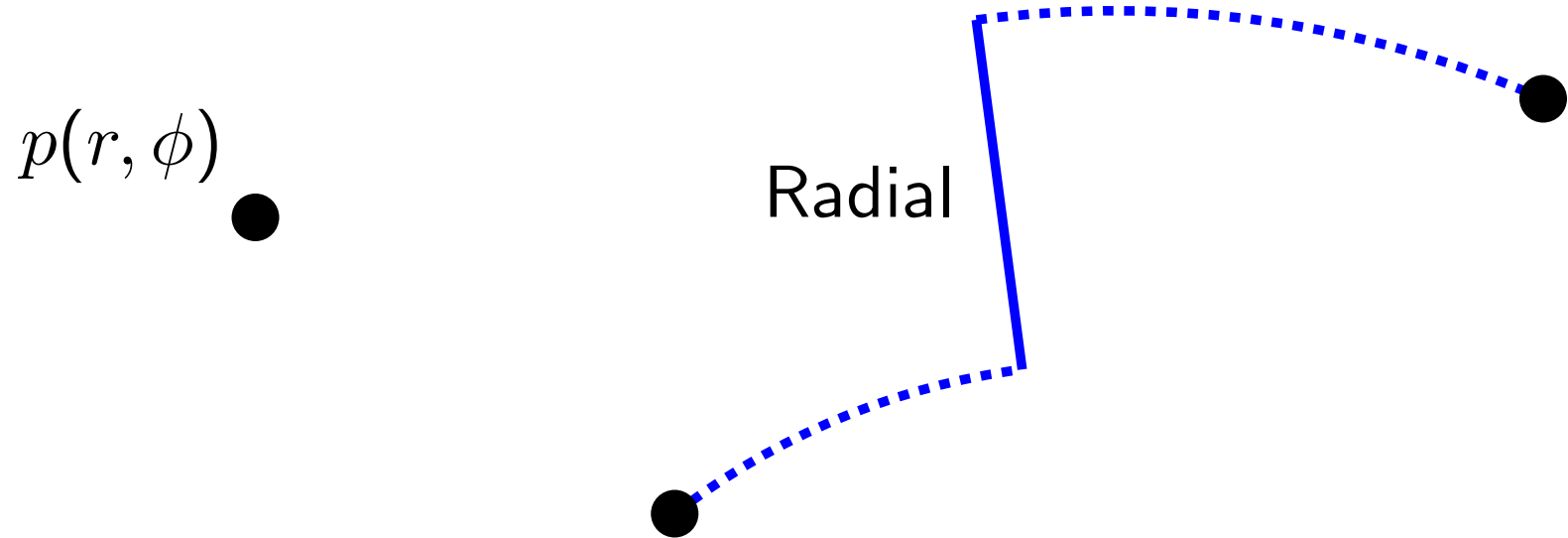
- Berücksichtigung der Eingabe
- Kreuzungen
- Überlappungen
- Mehrfachabbildungen

Zielfunktion:

- Berücksichtigung der Ursprungsposition eines Knotens
- Knickminimierung für eine Kante
- Radialer oder konzentrischer Kantenverlauf
- Knickminimierung für eine Linie

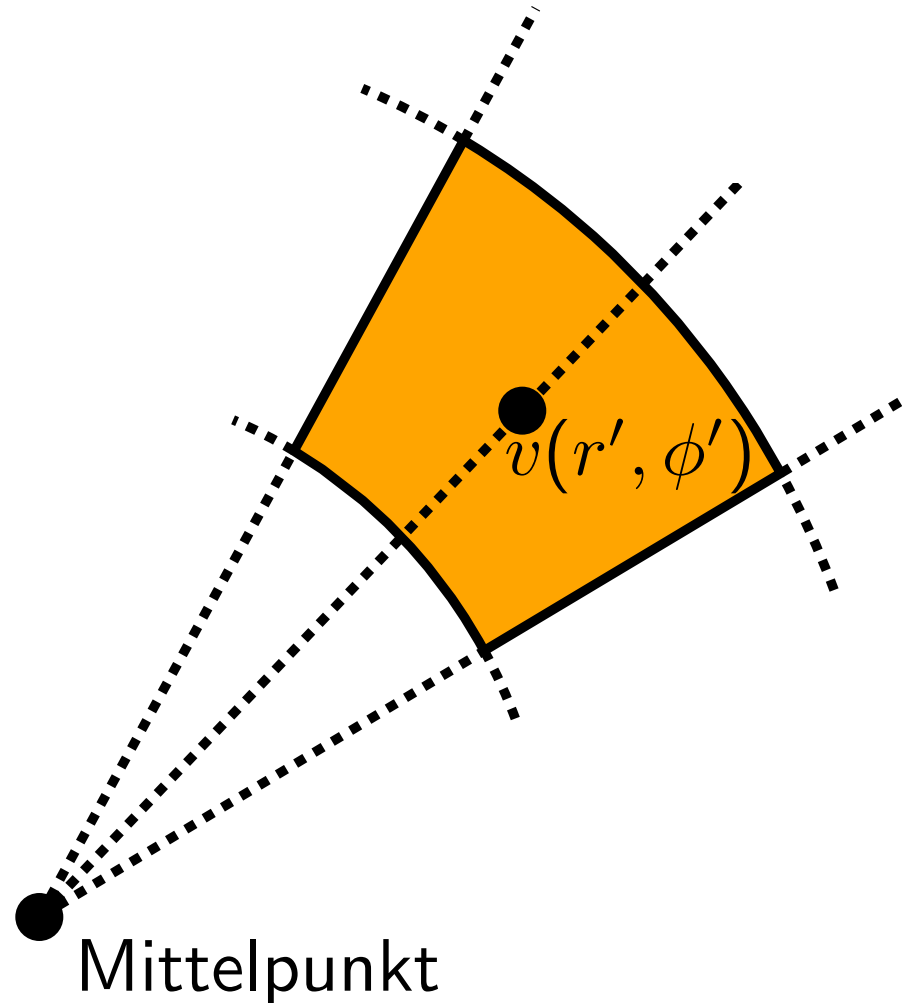
# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Darstellung von Knoten und Kanten:



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Berücksichtigung der Eingabe:



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

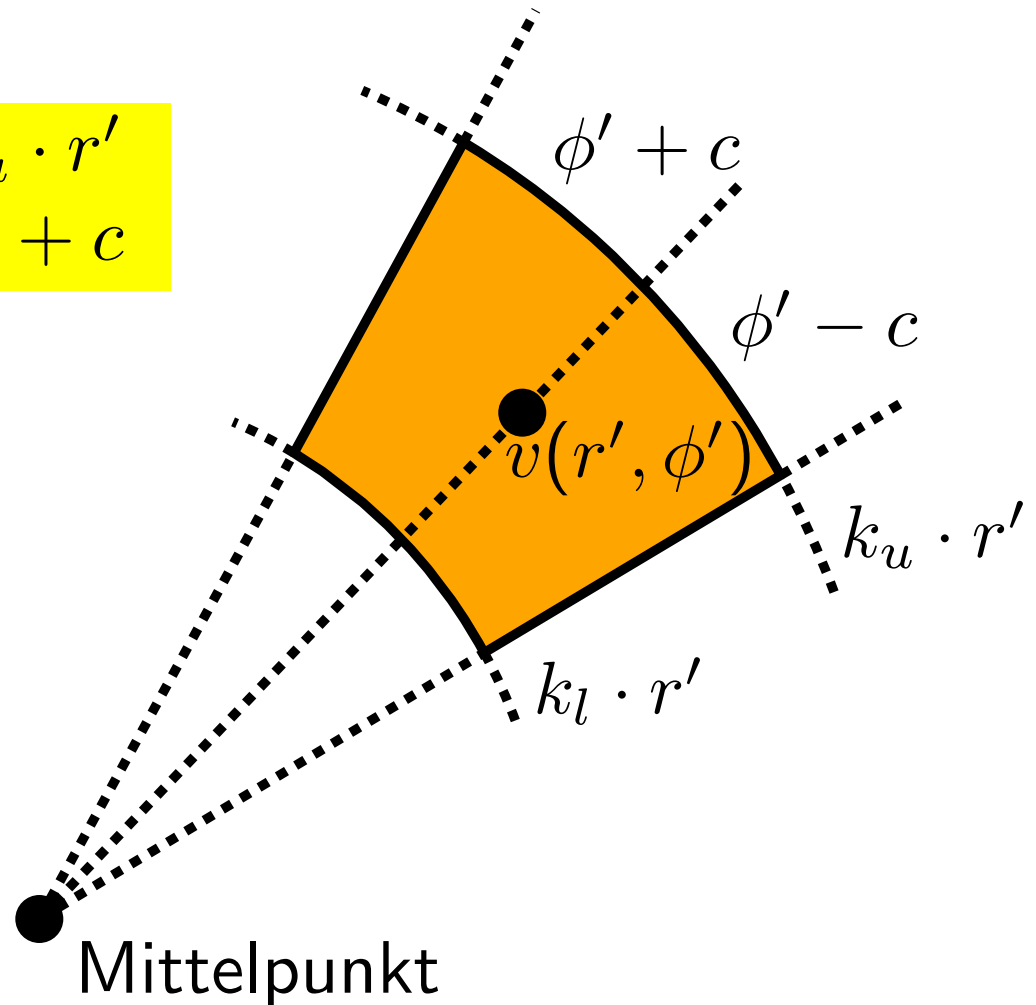
Berücksichtigung der Eingabe:

$$\begin{array}{l} k_l \cdot r' \leq r \leq k_u \cdot r' \\ \phi' - c \leq \phi \leq \phi' + c \end{array}$$

Parameter:

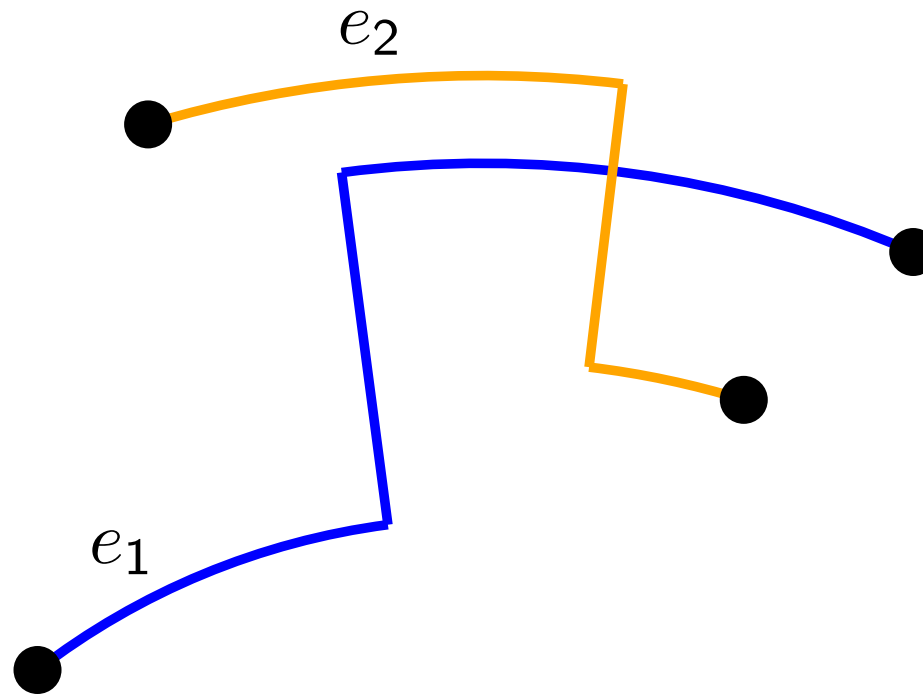
$$0 < c$$

$$k_l < 1 < k_u$$



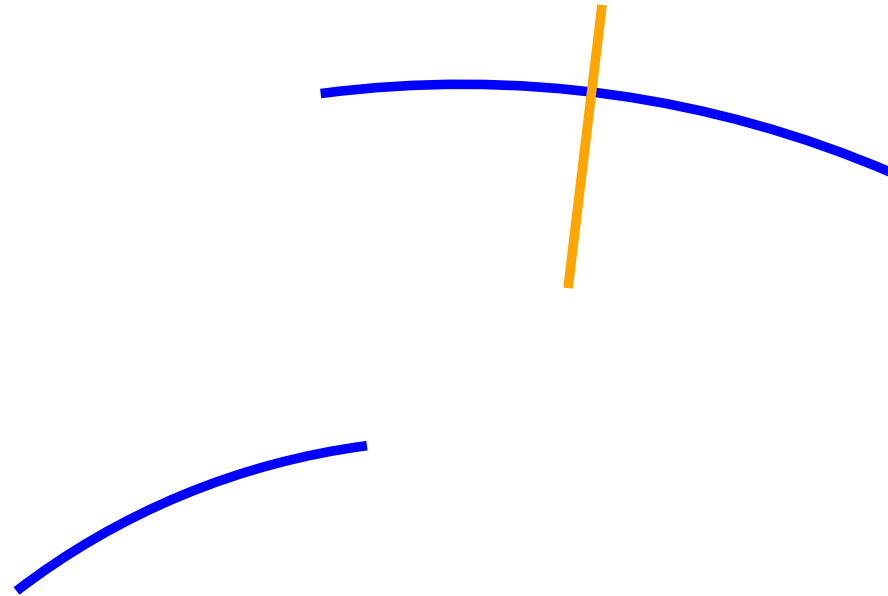
# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Kreuzungen:



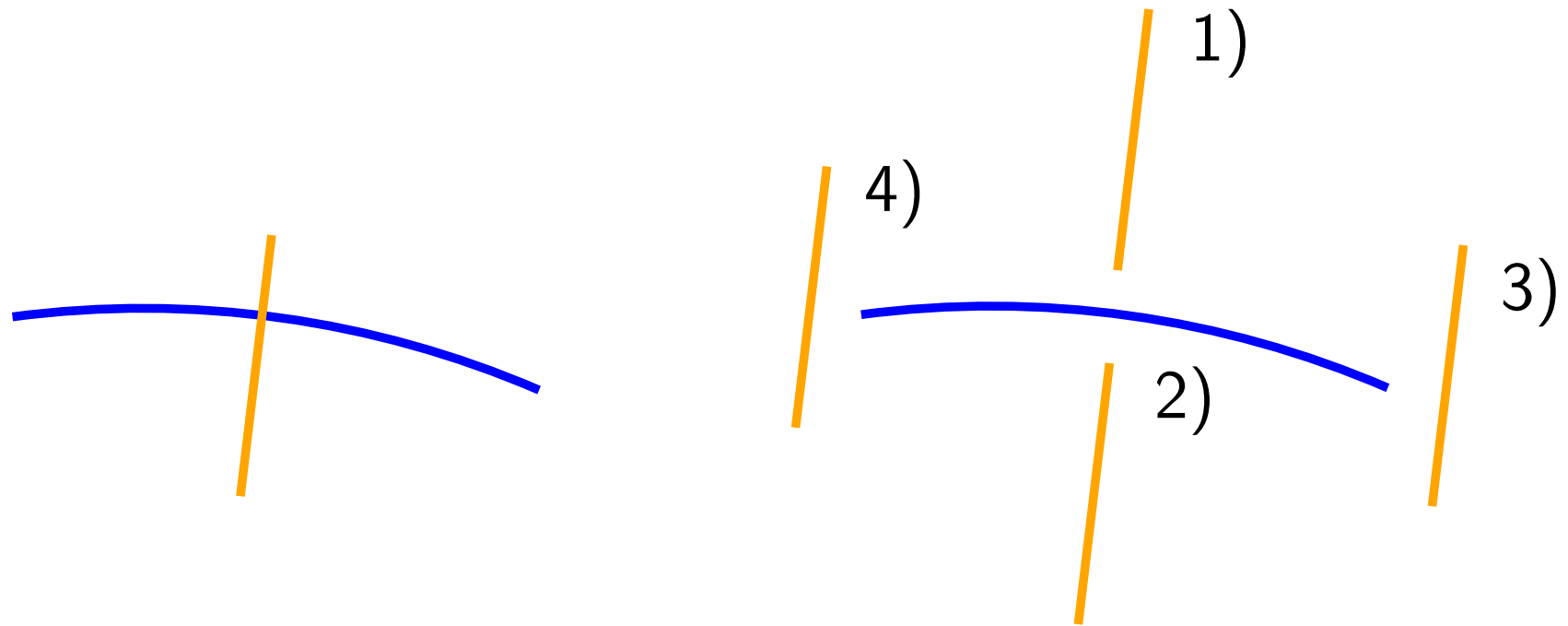
# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Kreuzungen:



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

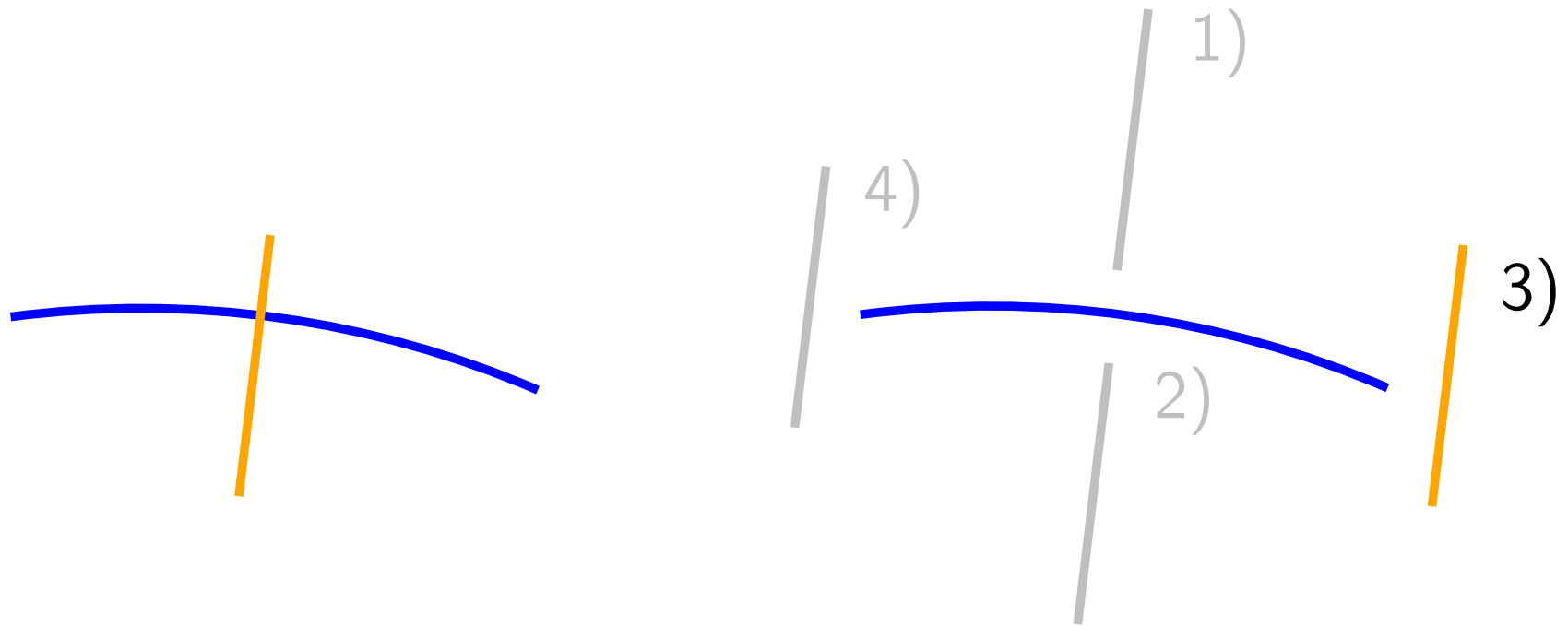
Kreuzungen:





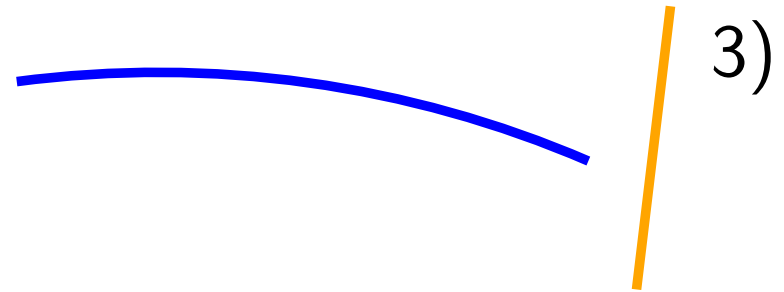
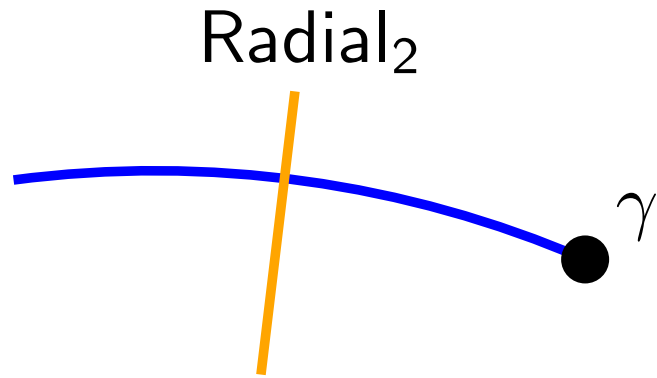
# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Kreuzungen:



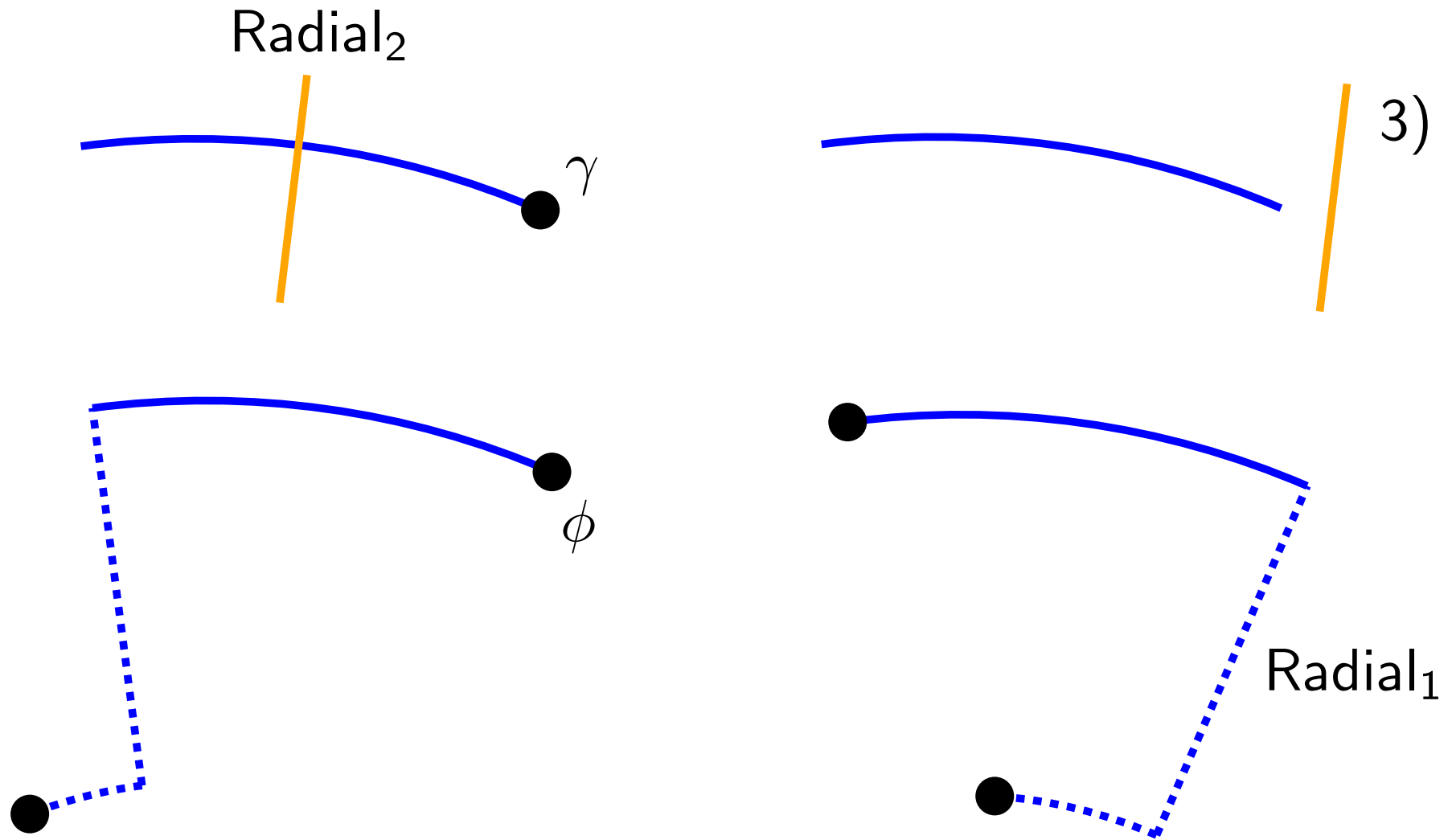
# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Kreuzungen:



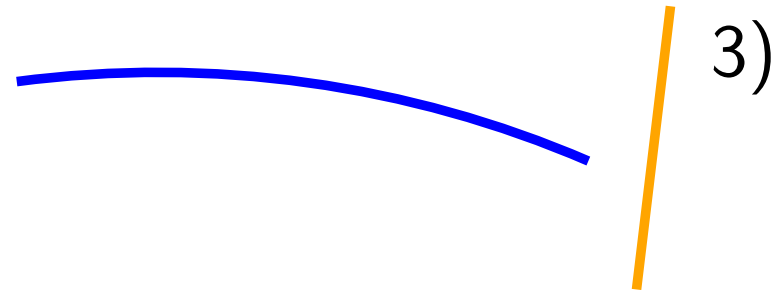
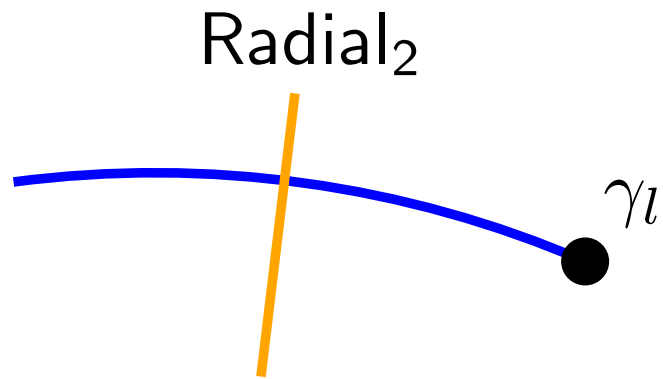
# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Kreuzungen:



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

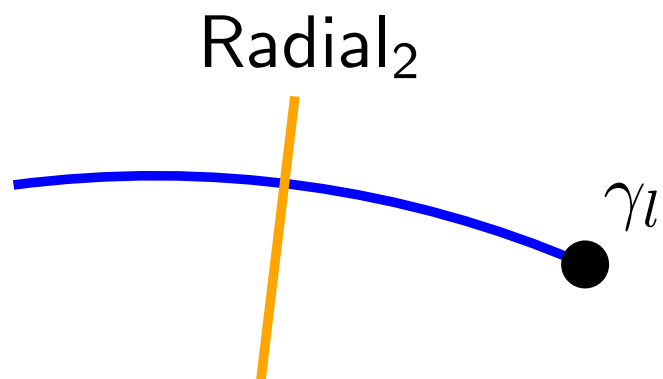
Kreuzungen:



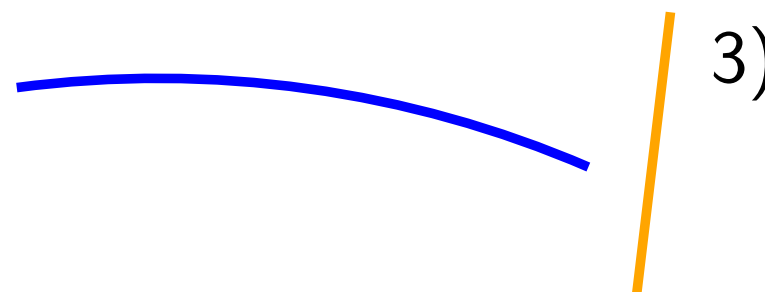
$$\begin{array}{l} \gamma_l \leq \phi \\ \gamma_l \leq \text{Radial}_1 \end{array}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Kreuzungen:



$$\begin{array}{l} \gamma_l \leq \phi \\ \gamma_l \leq \text{Radial}_1 \end{array}$$

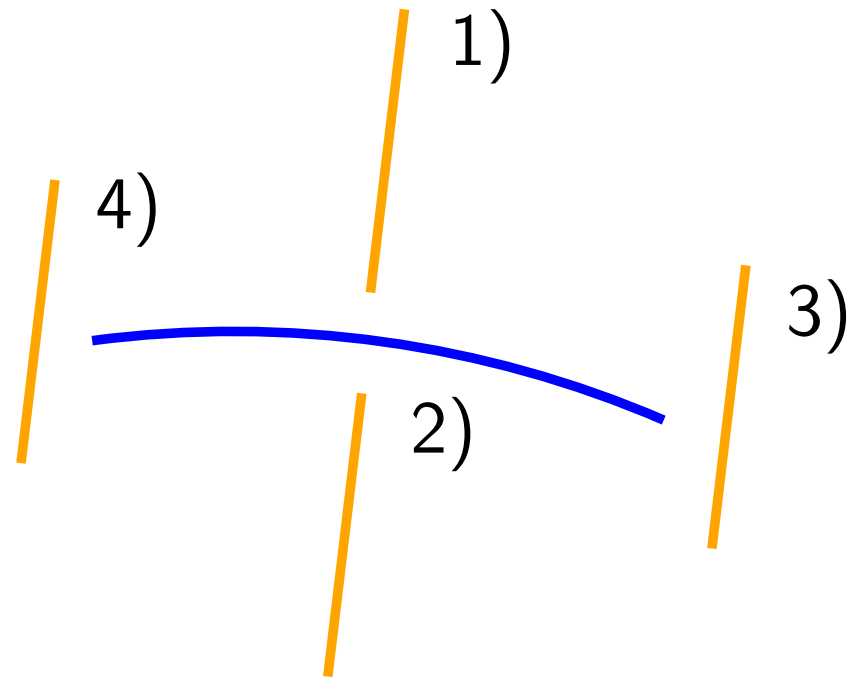


Parameter:  $0 < \epsilon$

$$\text{Radial}_2 + \epsilon \leq \gamma_l$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Kreuzungen:



$$\begin{array}{llll} 1: & r & \leq & r_l \cdot \epsilon_r \\ 2: & r_u & \leq & r \cdot \epsilon_r \\ 3: & \text{Radial}_2 + \epsilon & \leq & \gamma_l \\ 4: & \gamma_u + \epsilon & \leq & \text{Radial}_2 \end{array}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Kreuzungen:

$M$  : Konstante

$X$  : Binärvariable

$$a \leq b + MX$$

$$b \leq a + M(1 - X)$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Kreuzungen:

$M$  : Konstante

$X$  : Binärvariable

$$\begin{aligned} a &\leq b + MX \\ b &\leq a + M(1 - X) \end{aligned}$$

$X = 0$  :

$$\begin{aligned} a &\leq b \\ b &\leq a + M \end{aligned}$$



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Kreuzungen:

$M$  : Konstante

$X$  : Binärvariable

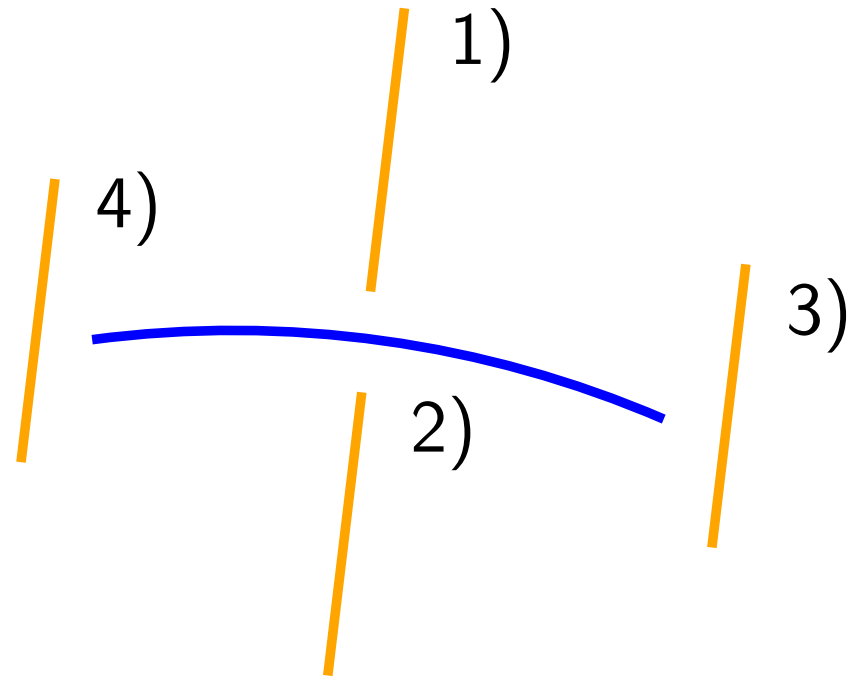
$$\begin{aligned} a &\leq b + MX \\ b &\leq a + M(1 - X) \end{aligned}$$

$X = 1$  :

$$\begin{aligned} a &\leq b + M \\ b &\leq a \end{aligned}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Kreuzungen:

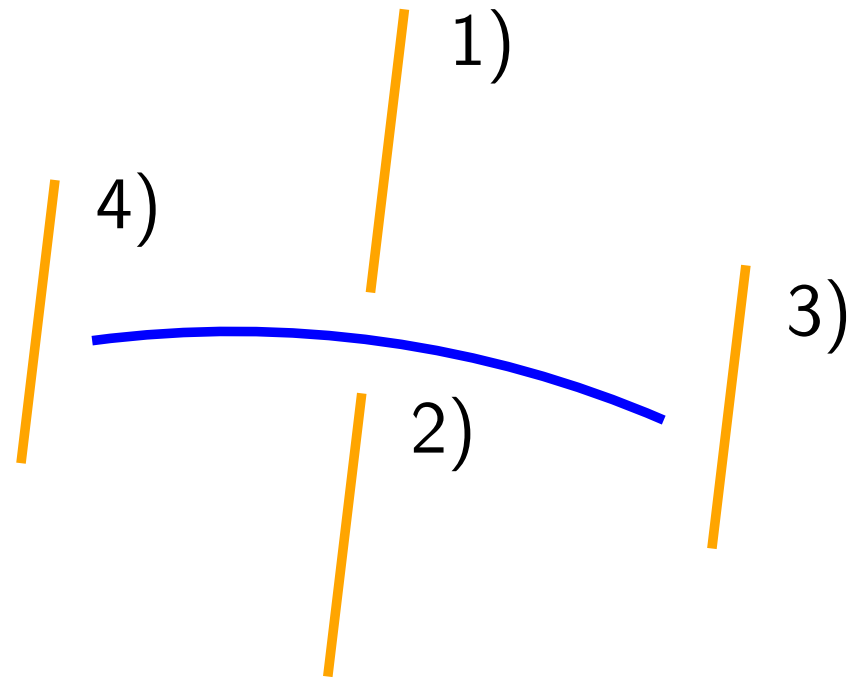


$M$  : Konstante  
 $X_1, X_2$  : Binärvariablen

$$\begin{array}{llll}
 1: & r & \leq & r_l \cdot \epsilon_r + M(X_1 + X_2) \\
 2: & r_u & \leq & r \cdot \epsilon_r + M((1 - X_1) + X_2) \\
 3: & \text{Radial}_2 + \epsilon & \leq & \gamma_l + M(X_1 + (1 - X_2)) \\
 4: & \gamma_u + \epsilon & \leq & \text{Radial}_2 + M((1 - X_1) + (1 - X_2))
 \end{array}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Kreuzungen:



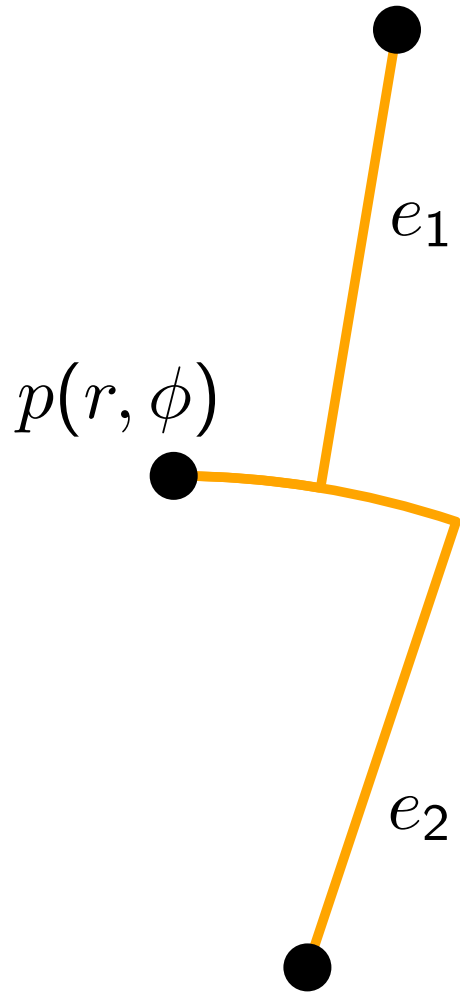
$M$  : Konstante

$X_1, X_2$  : Binärvariablen

1:	$r$	$\leq$	$r_l \cdot \epsilon_r$	$+M(X_1 + X_2)$
2:	$r_u$	$\leq$	$r \cdot \epsilon_r$	$+M((1 - X_1) + X_2)$
3:	$\text{Radial}_2 + \epsilon$	$\leq$	$\gamma_l$	$+M(X_1 + (1 - X_2))$
4:	$\gamma_u + \epsilon$	$\leq$	$\text{Radial}_2$	$+M((1 - X_1) + (1 - X_2))$

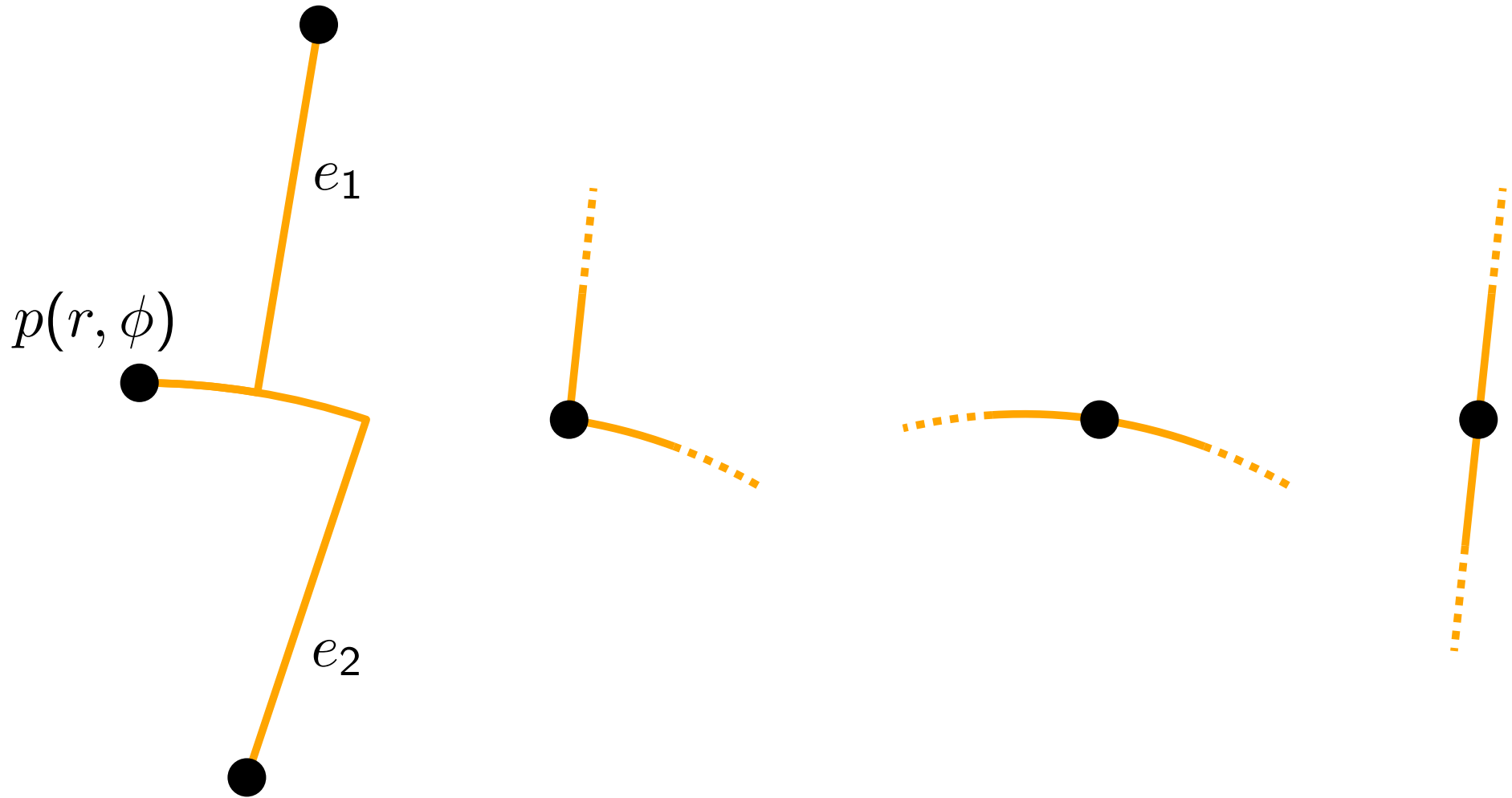
# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Überlappungen:



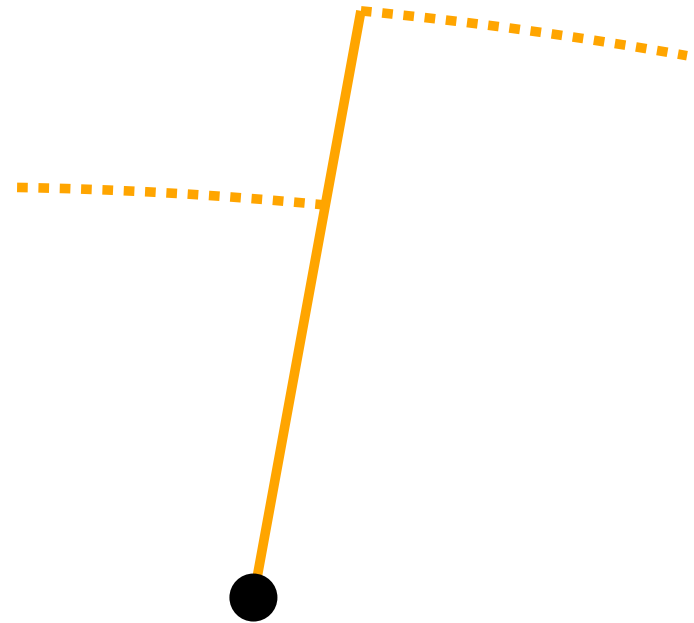
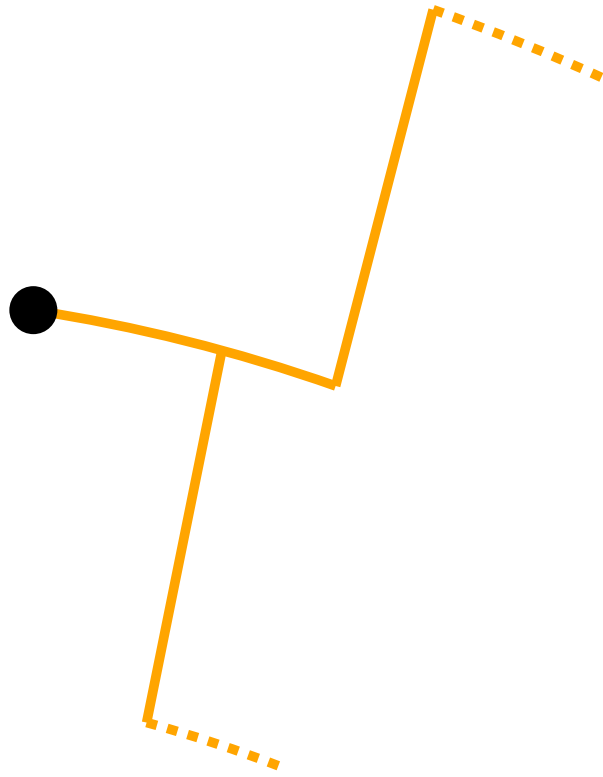
# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Überlappungen:



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Überlappungen:

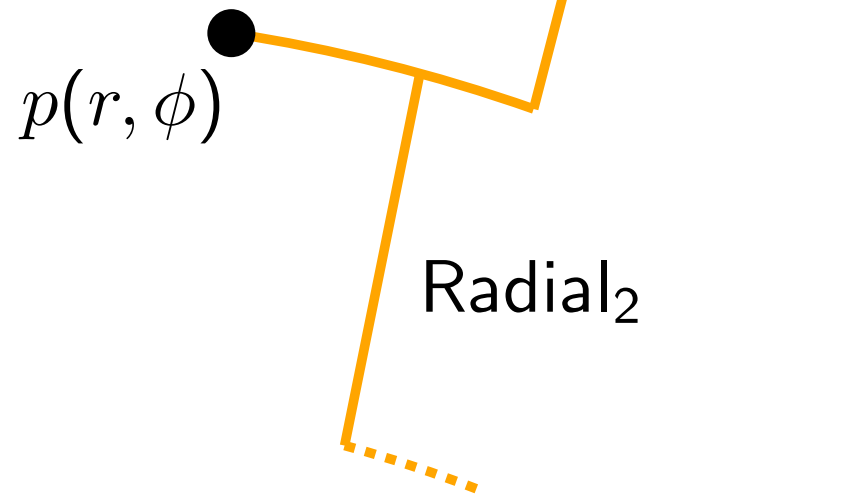


# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Überlappungen:

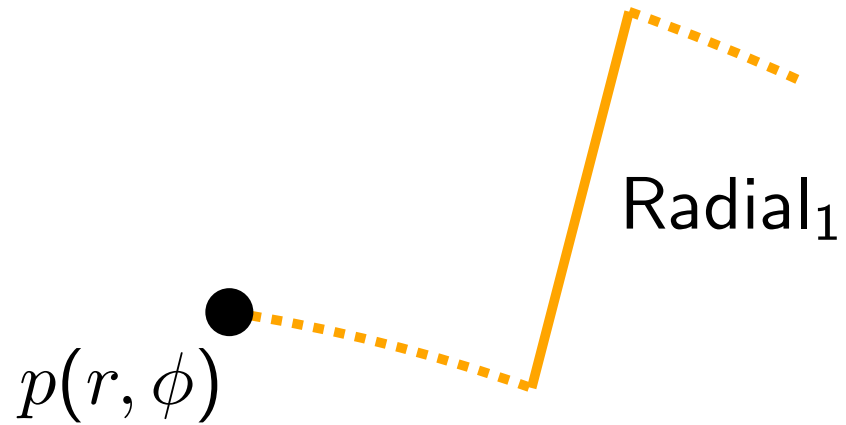
$$\text{Radial}_1 < \phi$$

$$\text{Radial}_2 < \phi$$



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

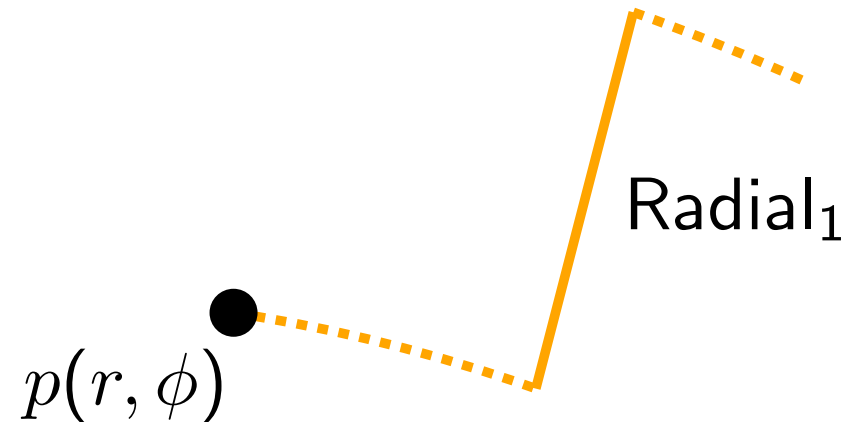
Überlappungen:





# Gemischt-Ganzzahliges Programm

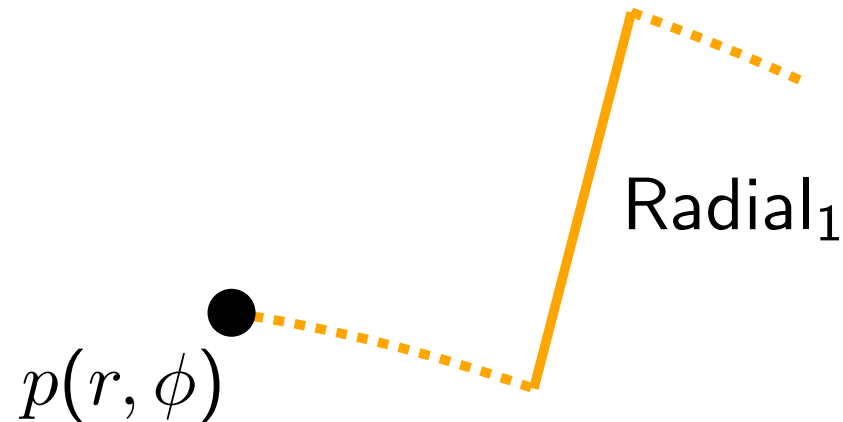
Überlappungen:



Wert von $X_{R_1 < \phi}$	Wert von $X_{\phi < R_1}$	Bedingung
1	0	$\text{Radial}_1 < \phi$
0	1	$\text{Radial}_1 > \phi$
0	0	$\text{Radial}_1 = \phi$
1	1	nicht möglich

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

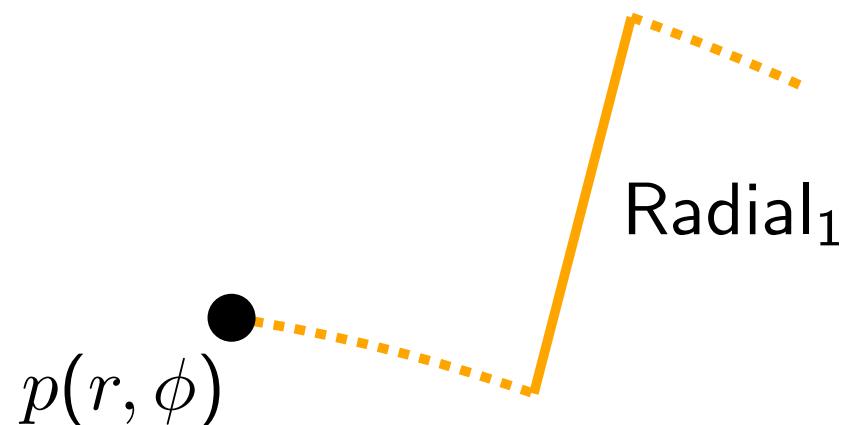
Überlappungen:



Wert von $X_{R_1 < \phi}$	Wert von $X_{\phi < R_1}$	Bedingung
1	0	$\text{Radial}_1 < \phi$
0	1	$\text{Radial}_1 > \phi$
0	0	$\text{Radial}_1 = \phi$
1	1	nicht möglich

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

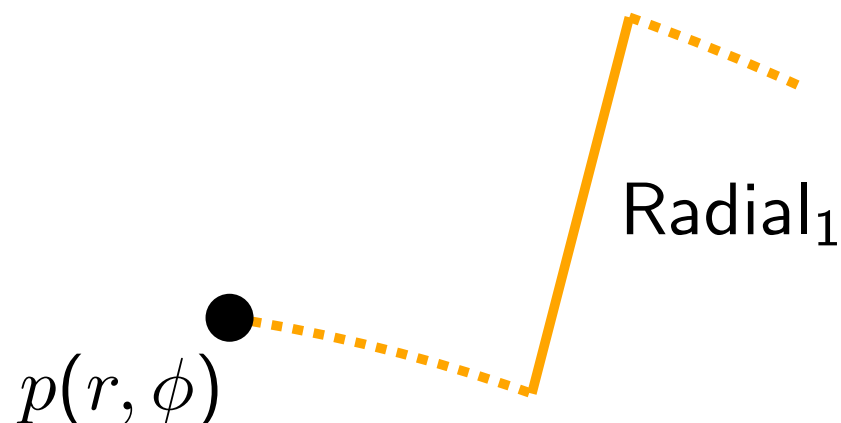
Überlappungen:



$$\begin{array}{l} \phi \leq \text{Radial}_1 + M X_{R_1 < \phi} \\ \text{Radial}_1 + \epsilon \leq \phi + M(1 - X_{R_1 < \phi}) \end{array}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

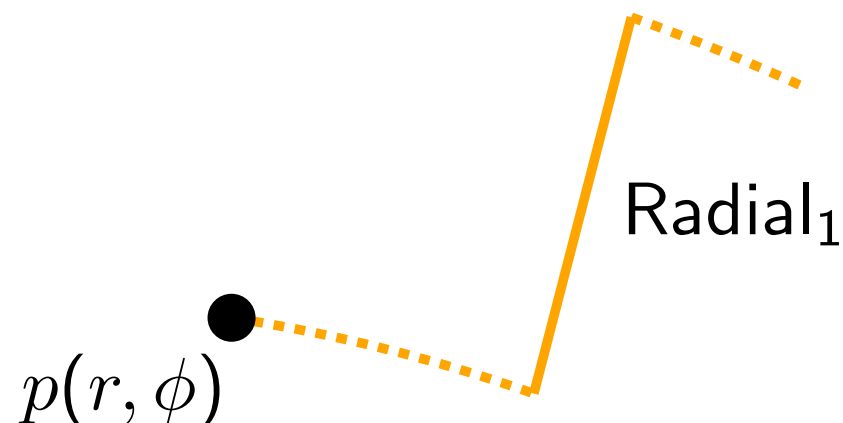
Überlappungen:



$\phi$	$\leq$	$\text{Radial}_1$	$+M X_{R_1 < \phi} \stackrel{=1}{}$
$\text{Radial}_1 + \epsilon$	$\leq$	$\phi$	$+M(1 - X_{R_1 < \phi}) \stackrel{=1}{}$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Überlappungen:

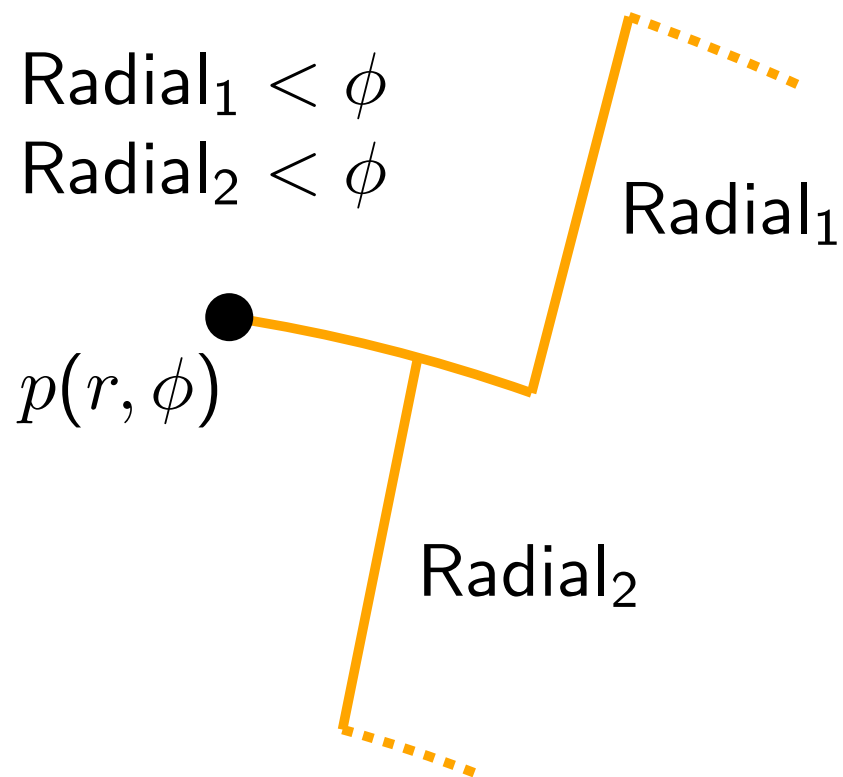


$$\begin{array}{lcl}
 \phi & \leq & \text{Radial}_1 + M X_{R_1 < \phi} \\
 \text{Radial}_1 + \epsilon & \leq & \phi + M(1 - X_{R_1 < \phi})
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl}
 \text{Radial}_1 & \leq & \phi + M X_{\phi < R_1} \\
 \phi + \epsilon & \leq & \text{Radial}_1 + M(1 - X_{\phi < R_1})
 \end{array}$$

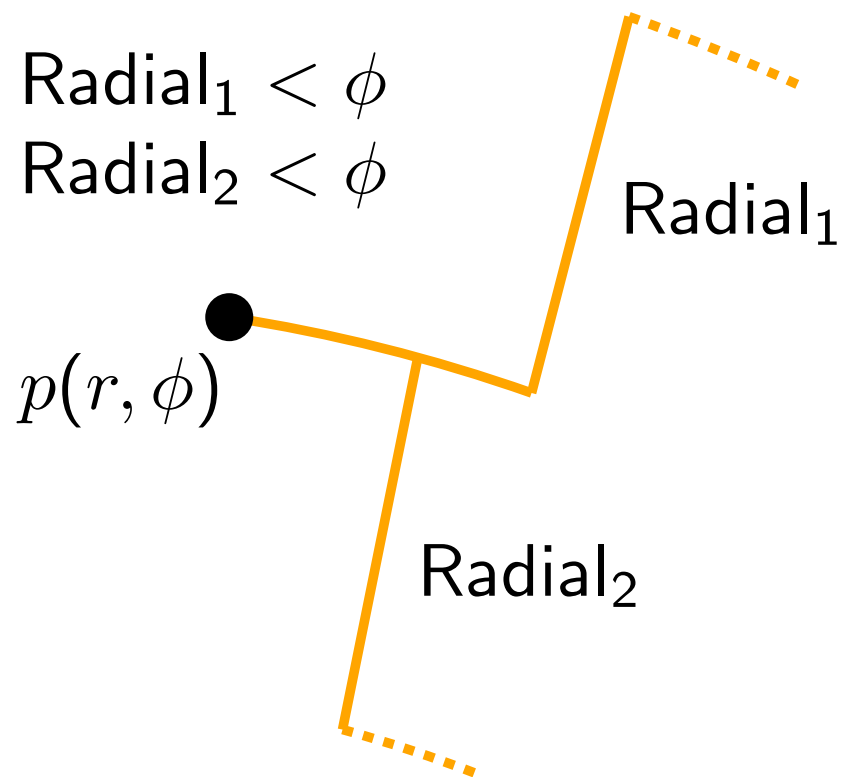
# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Überlappungen:



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

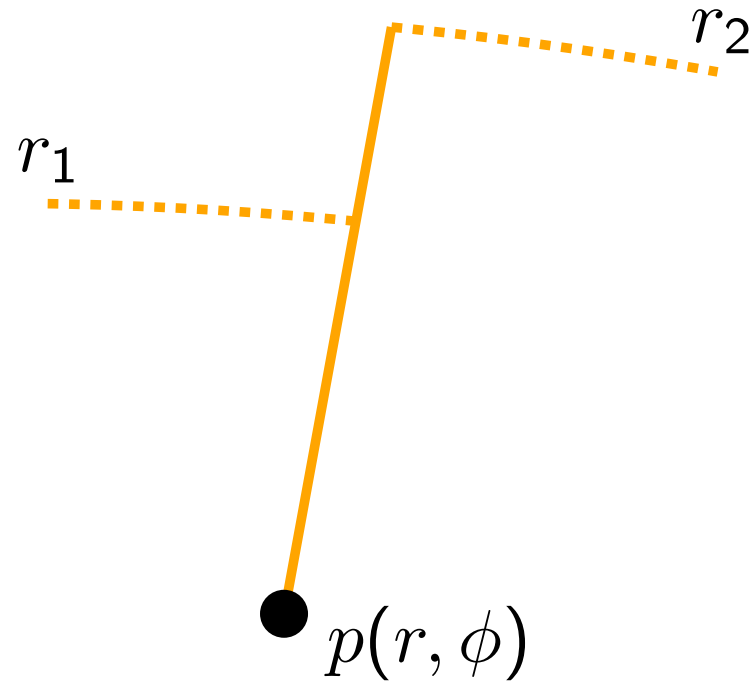
Überlappungen:



$$\begin{aligned} X_{R_1 < \phi} + X_{R_2 < \phi} &\leq 1 \\ X_{\phi < R_1} + X_{\phi < R_2} &\leq 1 \end{aligned}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

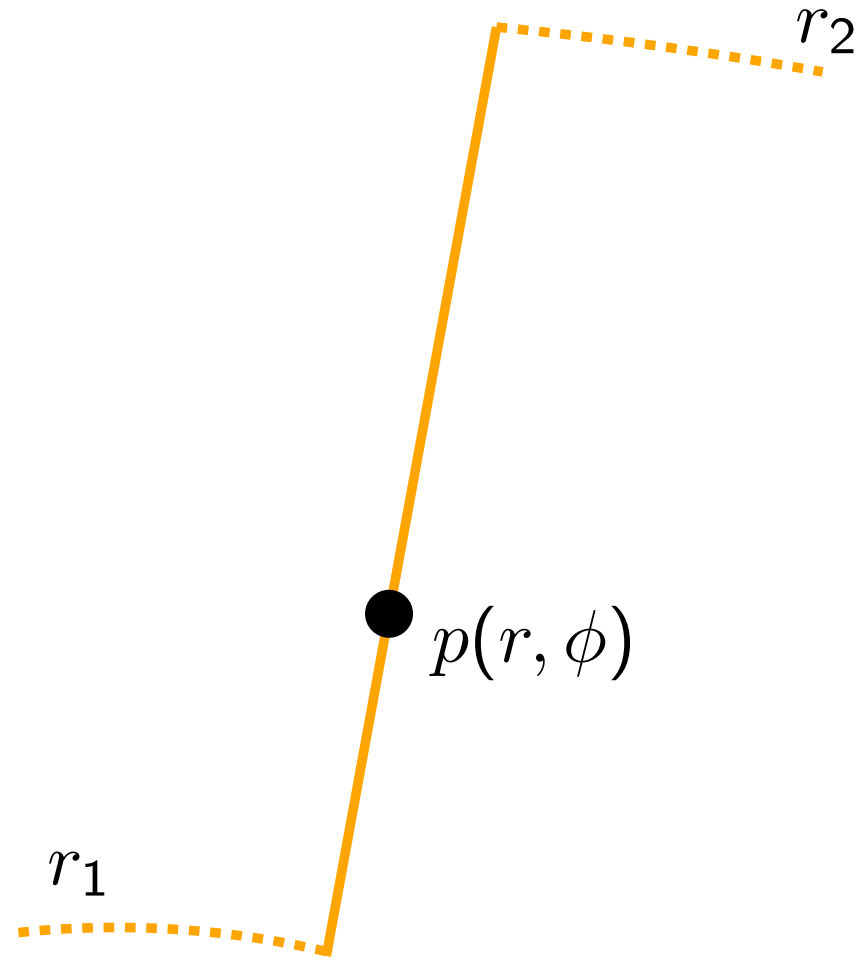
Überlappungen:





# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Überlappungen:



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Mehrfachabbildungen:

$$p_1 = (r_1, \phi_1)$$

$$p_2 = (r_2, \phi_2)$$

$$\begin{array}{rcll} \phi_1 + \epsilon & \leq & \phi_2 & + M(G_1 + G_2) \\ \phi_2 + \epsilon & \leq & \phi_1 & + M((1 - G_1) + G_2) \\ r_1 & \leq & r_2 \cdot \epsilon_r & + M(G_1 + (1 - G_2)) \\ r_2 & \leq & r_1 \cdot \epsilon_r & + M((1 - G_1) + (1 - G_2)) \end{array}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Nebenbedingungen:

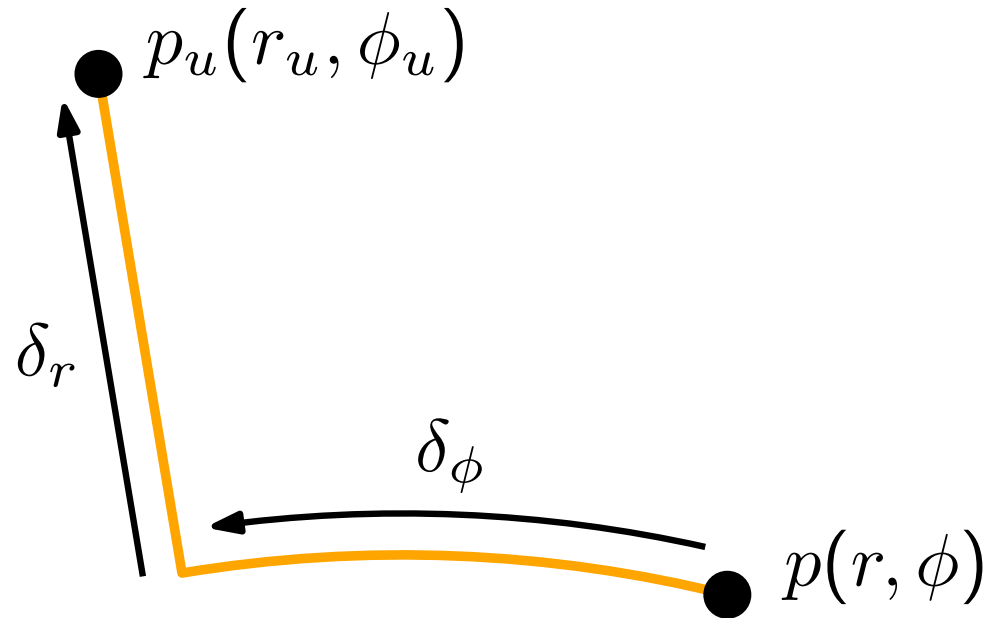
- Berücksichtigung der Eingabe
- Kreuzungen
- Überlappungen
- Mehrfachabbildungen

Zielfunktion:

- Berücksichtigung der Ursprungsposition eines Knotens
- Knickminimierung für eine Kante
- Radialer oder konzentrischer Kantenverlauf
- Knickminimierung für eine Linie

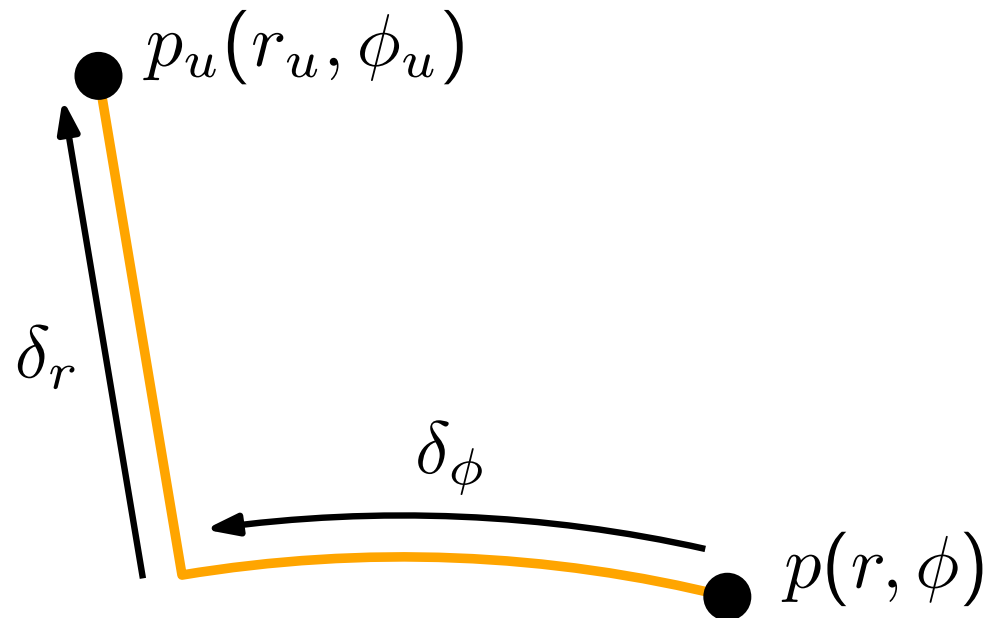
# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Berücksichtigung der Ursprungsposition eines Knotens:



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

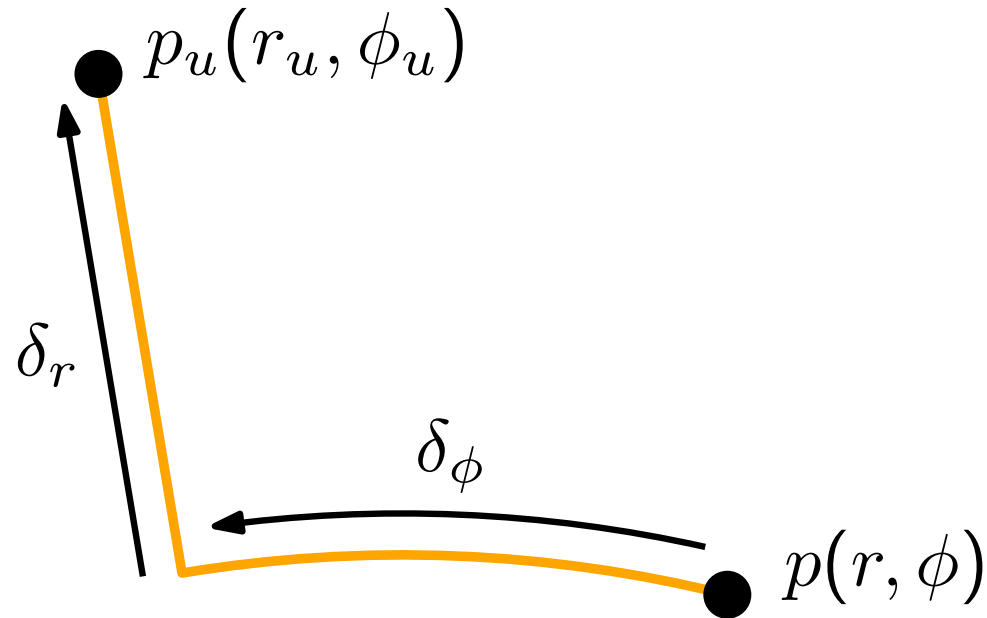
Berücksichtigung der Ursprungsposition eines Knotens:



$$\begin{array}{l} r_u - r \leq \delta_r \\ r - r_u \leq \delta_r \end{array}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Berücksichtigung der Ursprungsposition eines Knotens:

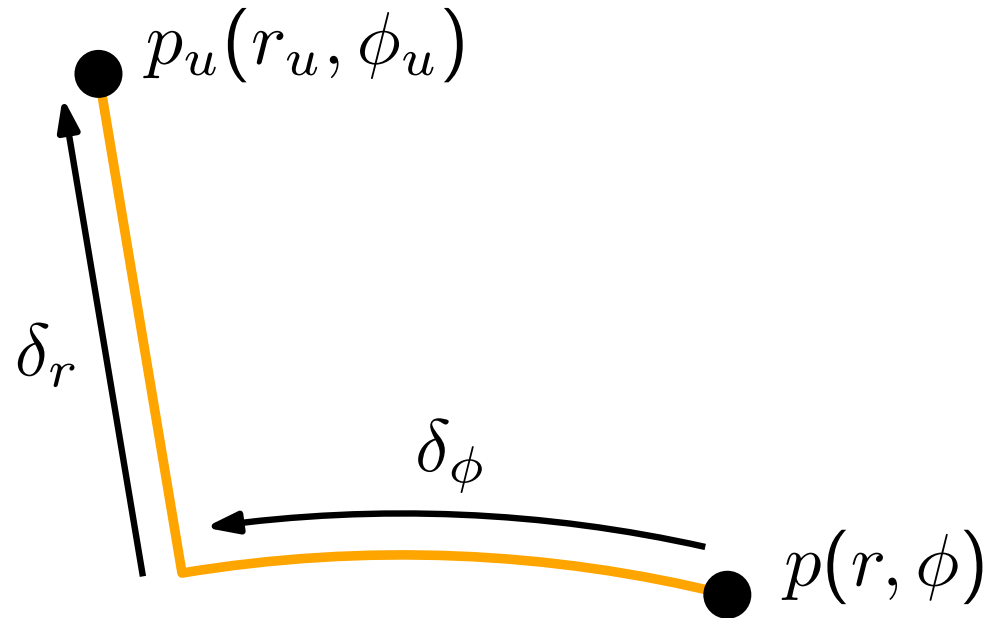


$$\begin{aligned} r_u - r &\leq \delta_r \\ r - r_u &\leq \delta_r \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_u \cdot \phi_u - r_u \cdot \phi &\leq \delta_\phi \\ r_u \cdot \phi - r_u \cdot \phi_u &\leq \delta_\phi \end{aligned}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

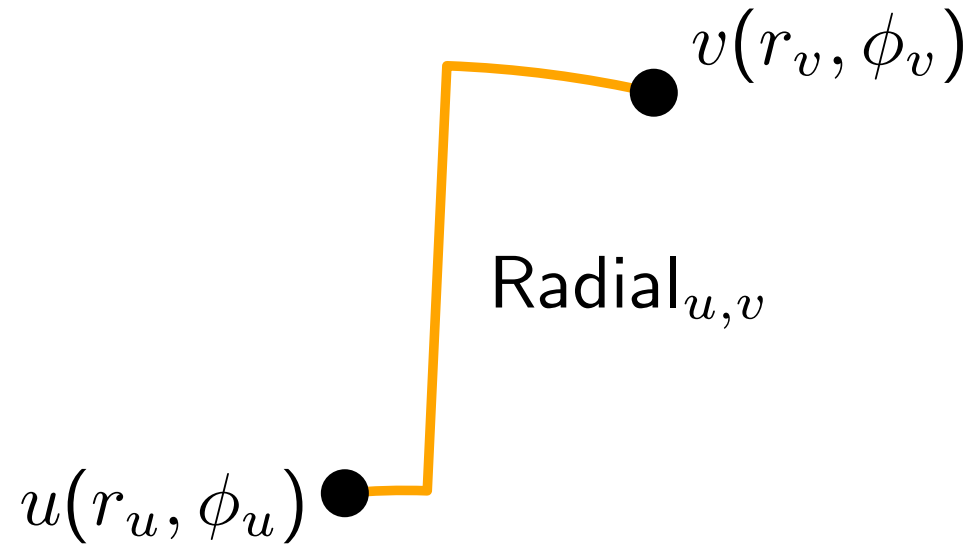
Berücksichtigung der Ursprungsposition eines Knotens:



$$\text{Kosten}_{\text{Eingabe}} = \sum_{v \in V} (\delta_r(v) + \delta_\phi(v))$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

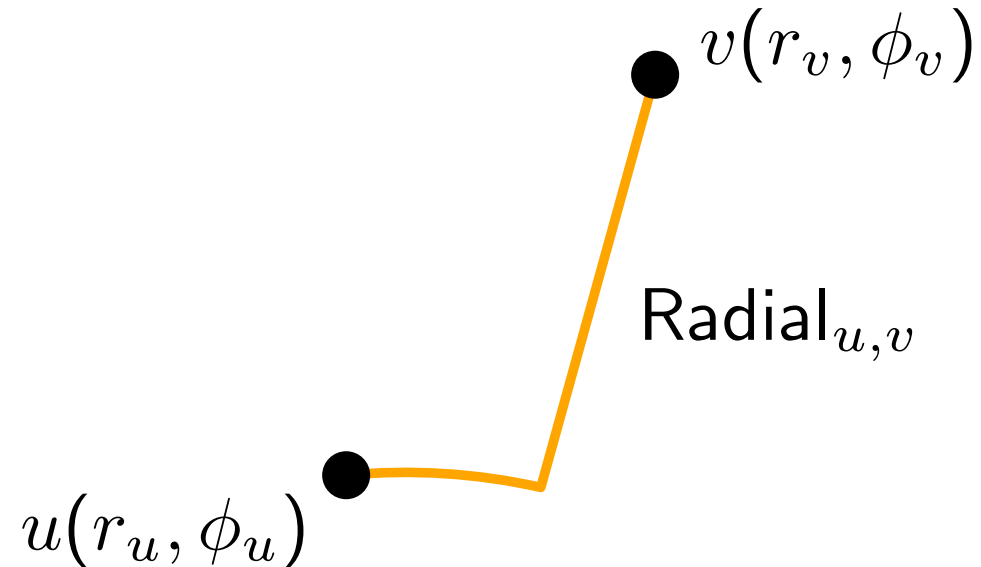
Knickminimierung für eine Kante:





# Gemischt-Ganzzahliges Programm

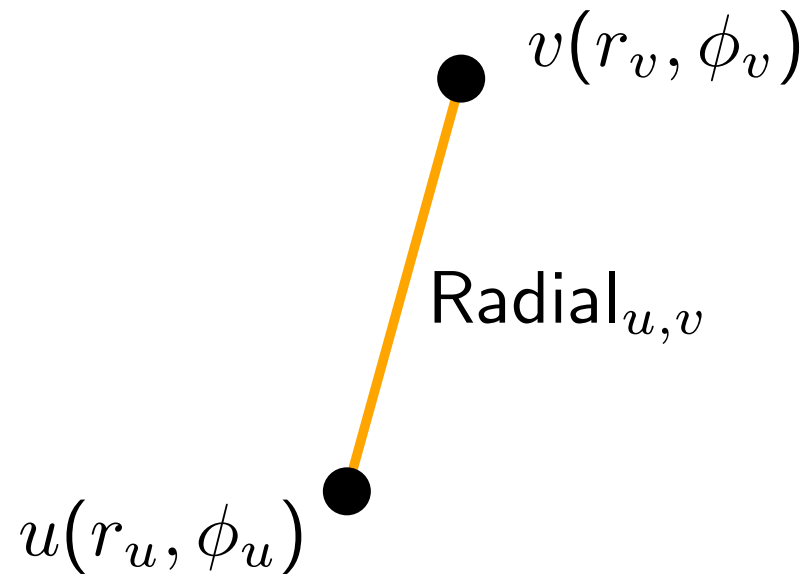
Knickminimierung für eine Kante:



$$\begin{aligned} \phi_v &\leq \text{Radial}_{u,v} + M(1 - R_1) \\ \text{Radial}_{u,v} &\leq \phi_v + M(1 - R_1) \end{aligned}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Knickminimierung für eine Kante:



$$\begin{aligned}\phi_v &\leq \text{Radial}_{u,v} + M(1 - R_1) \\ \text{Radial}_{u,v} &\leq \phi_v + M(1 - R_1)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_u &\leq \text{Radial}_{u,v} + M(1 - R_2) \\ \text{Radial}_{u,v} &\leq \phi_u + M(1 - R_2)\end{aligned}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

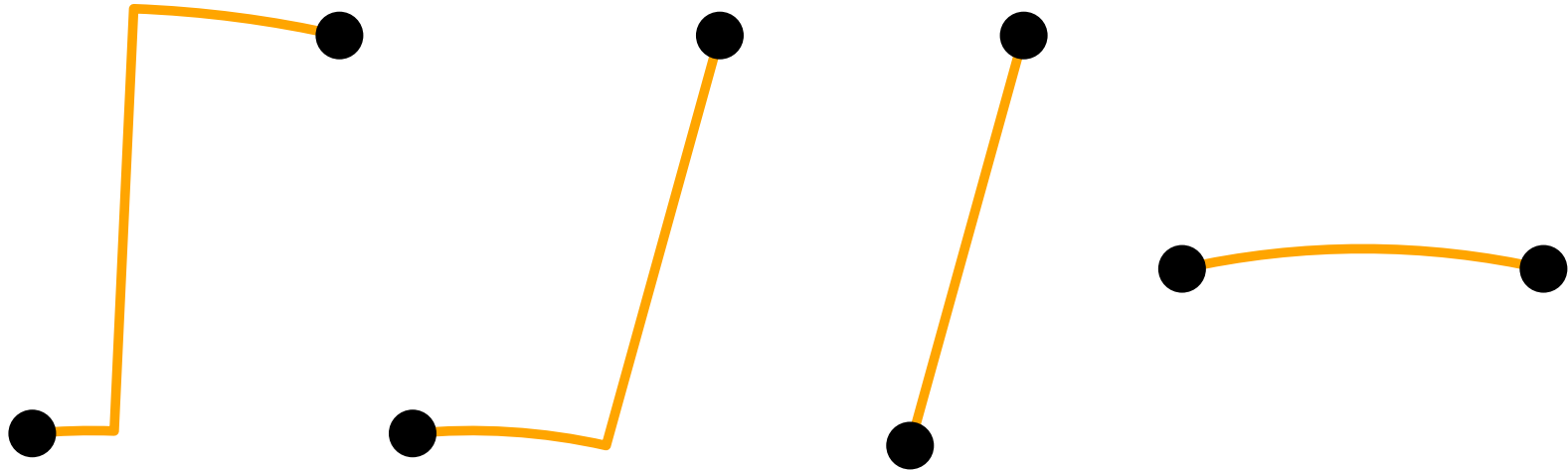
Knickminimierung für eine Kante:



$$\begin{aligned} r_v &\leq r_u + M(1 - K) \\ r_u &\leq r_v + M(1 - K) \end{aligned}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Knickminimierung für eine Kante:

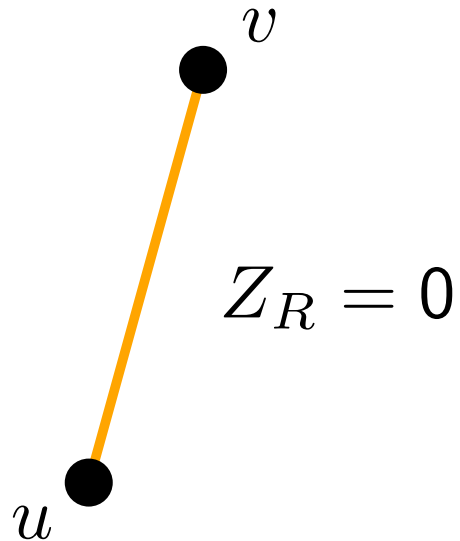


$$2K \leq 2 - R_1 - R_2$$

$$\text{Kosten}_{\text{Kante}} = \sum_{e \in E} (R_1(e) + R_2(e) + 2K(e))$$

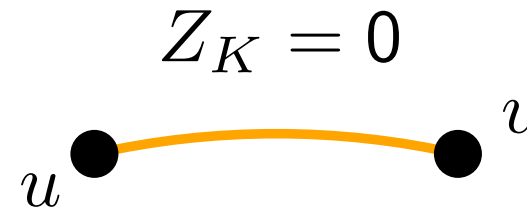
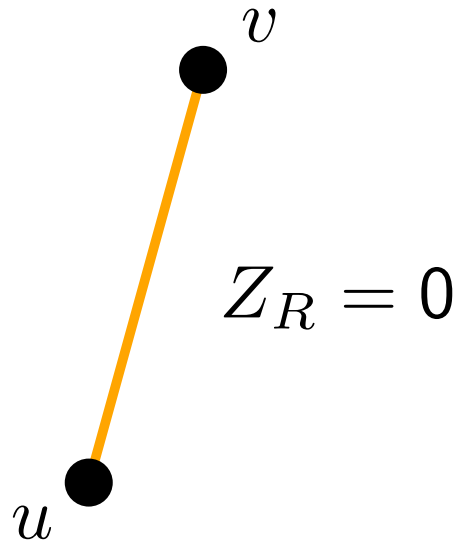
# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Radialer oder konzentrischer Kantenverlauf:



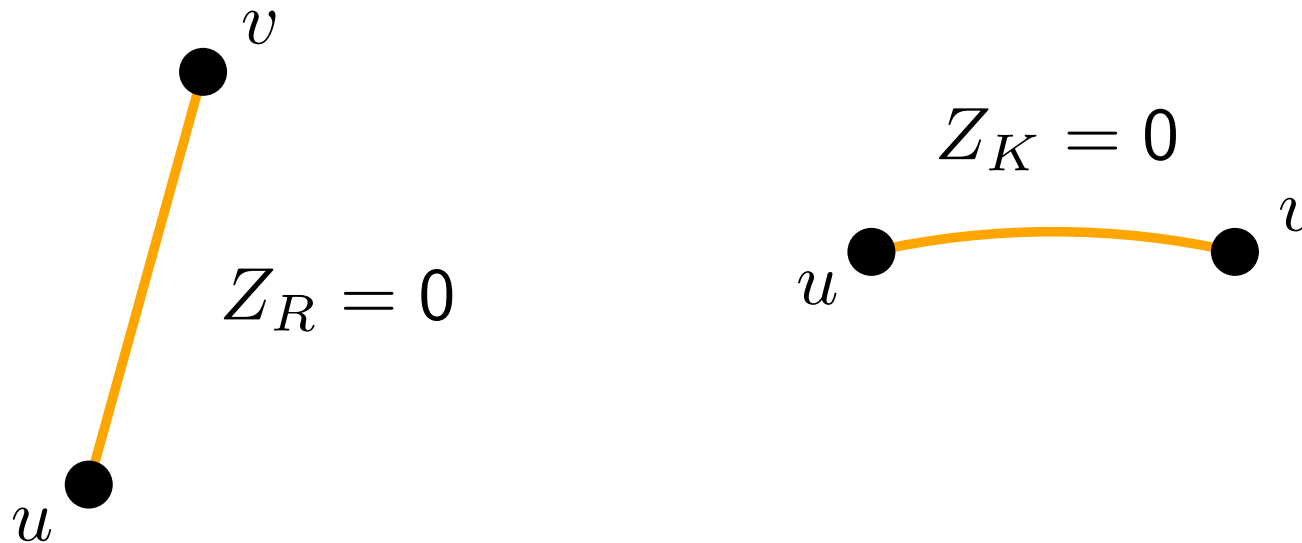
# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Radialer oder konzentrischer Kantenverlauf:



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Radialer oder konzentrischer Kantenverlauf:

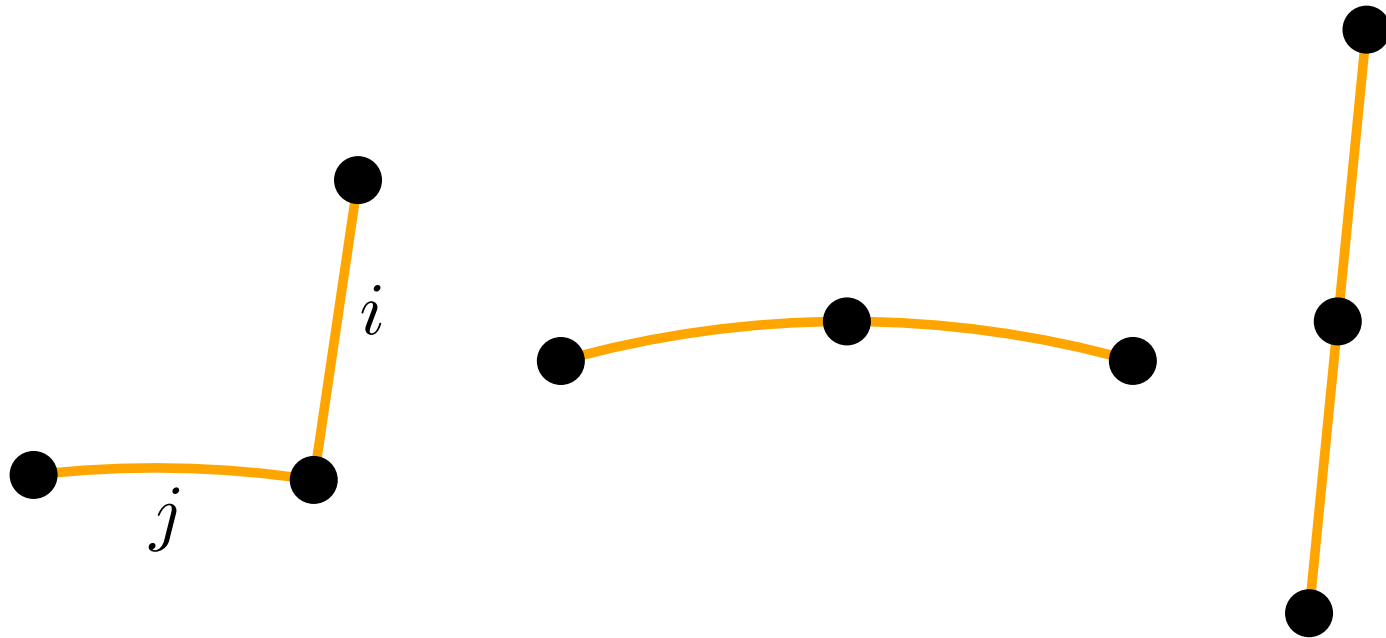


$$Z_R = 0 \oplus Z_K = 0 \Rightarrow Z = 0$$

$$\text{Kosten}_{\text{Verlauf}} = \sum_{e \in E} Z(e)$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

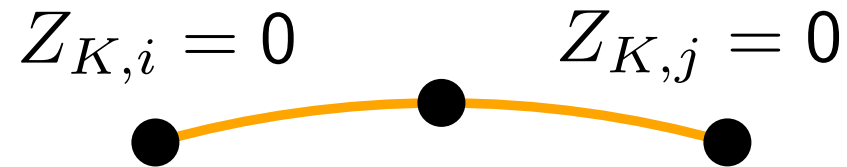
Knickminimierung für eine Linie:





# Gemischt-Ganzzahliges Programm

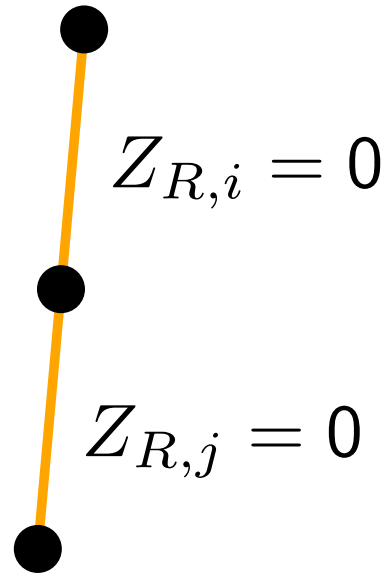
Knickminierung für eine Linie:



$$Z_{K,i} = 0 \wedge Z_{K,j} = 0 \Rightarrow X_{i,j} = 0$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Knickminierung für eine Linie:



$$Z_{R,i} = 0 \wedge Z_{R,j} = 0 \Rightarrow Y_{i,j} = 0$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Knickminierung für eine Linie:

$$X_{i,j} = 0 \oplus Y_{i,j} = 0 \Rightarrow Z_{i,j} = 0$$

$$\text{Kosten}_{\text{Linie}} = \sum_{(i,j) \in J} Z_{i,j}(i,j)$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Zielfunktion:

Minimiere:

$$\begin{array}{rcl} & \lambda_{\text{Eingabe}} & \text{Kosten}_{\text{Eingabe}} \\ - & \lambda_{\text{Kante}} & \text{Kosten}_{\text{Kante}} \\ + & \lambda_{\text{Verlauf}} & \text{Kosten}_{\text{Verlauf}} \\ + & \lambda_{\text{Linie}} & \text{Kosten}_{\text{Linie}} \end{array}$$

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

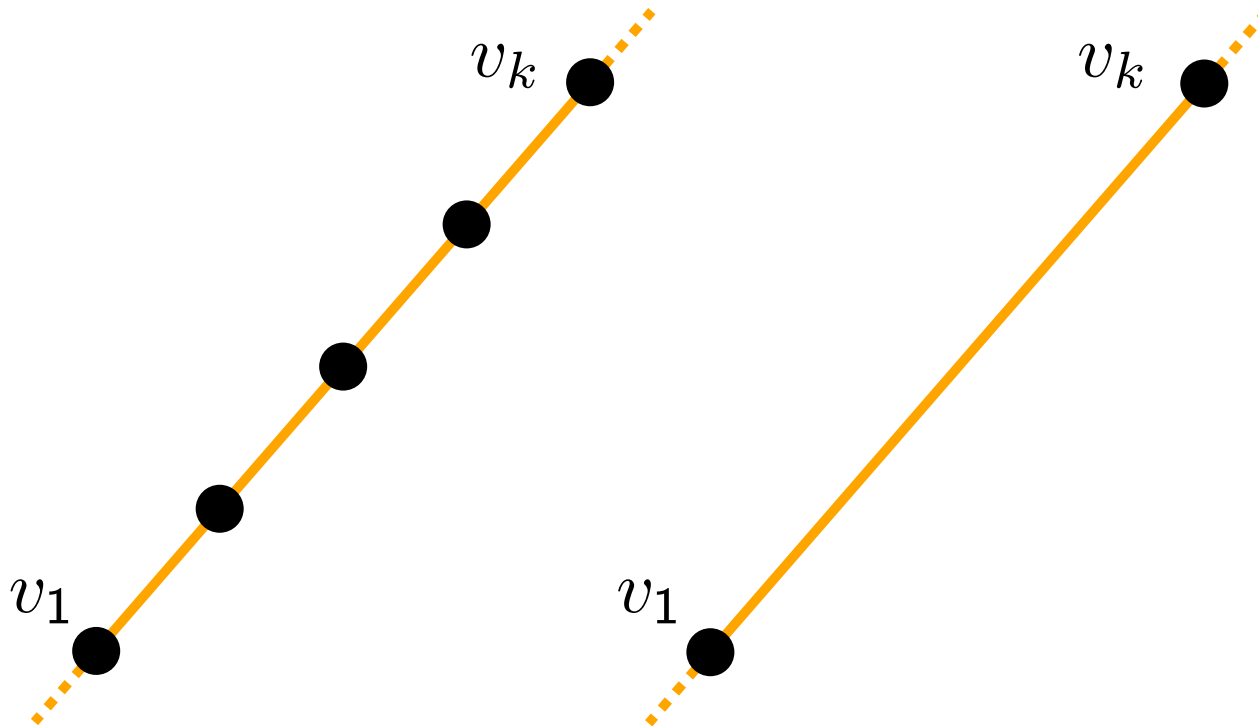
Laufzeitverbesserung:

- Vereinfachung des Graphen

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Laufzeitverbesserung:

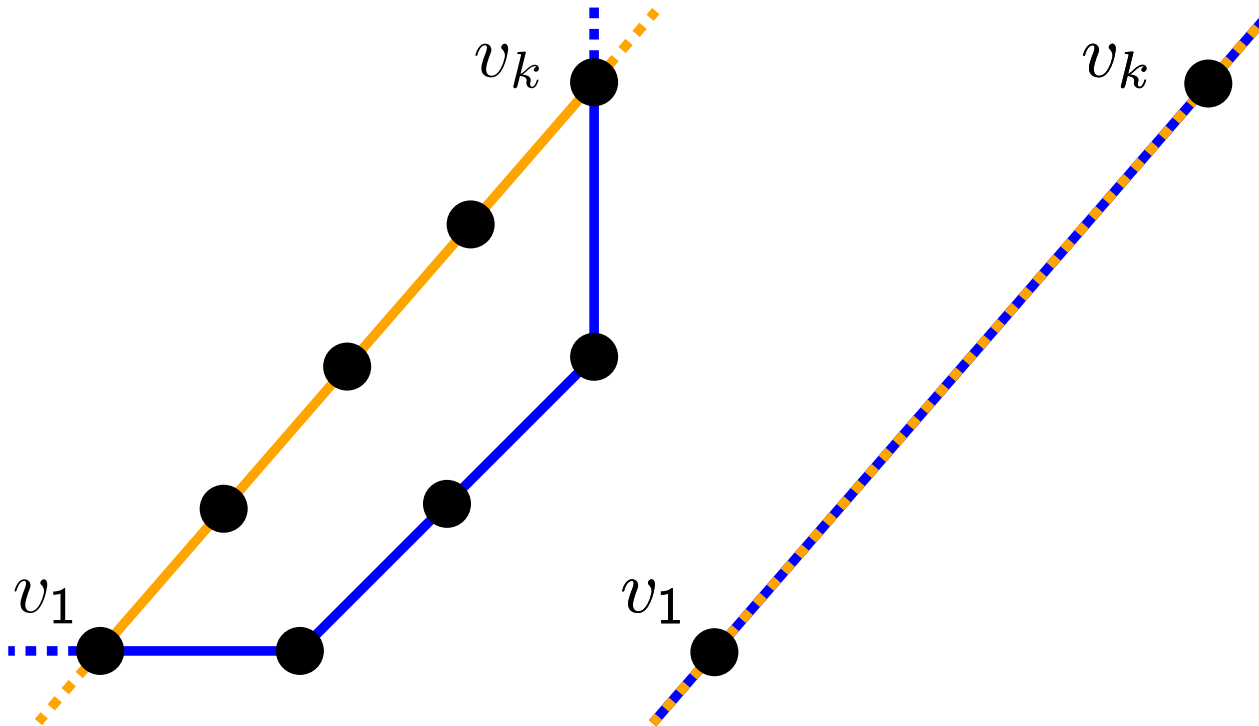
- Vereinfachung des Graphen



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Laufzeitverbesserung:

- Vereinfachung des Graphen

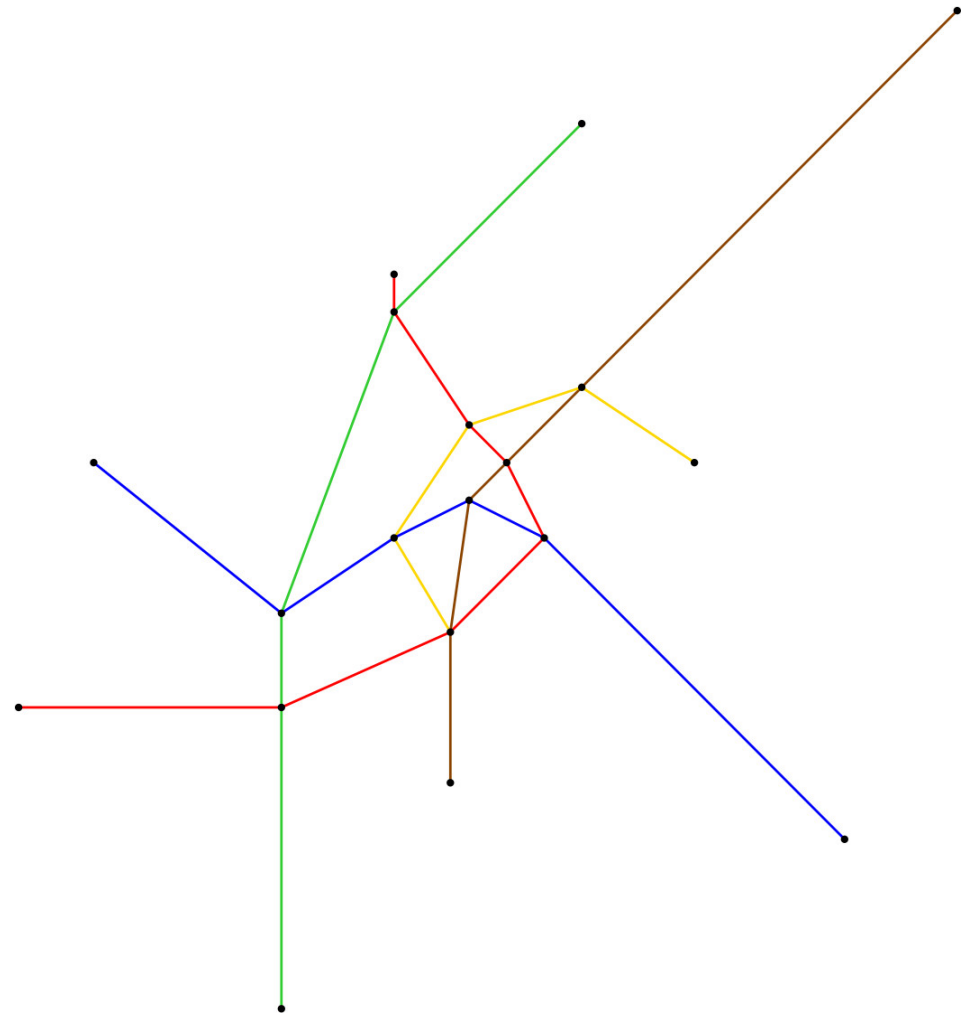
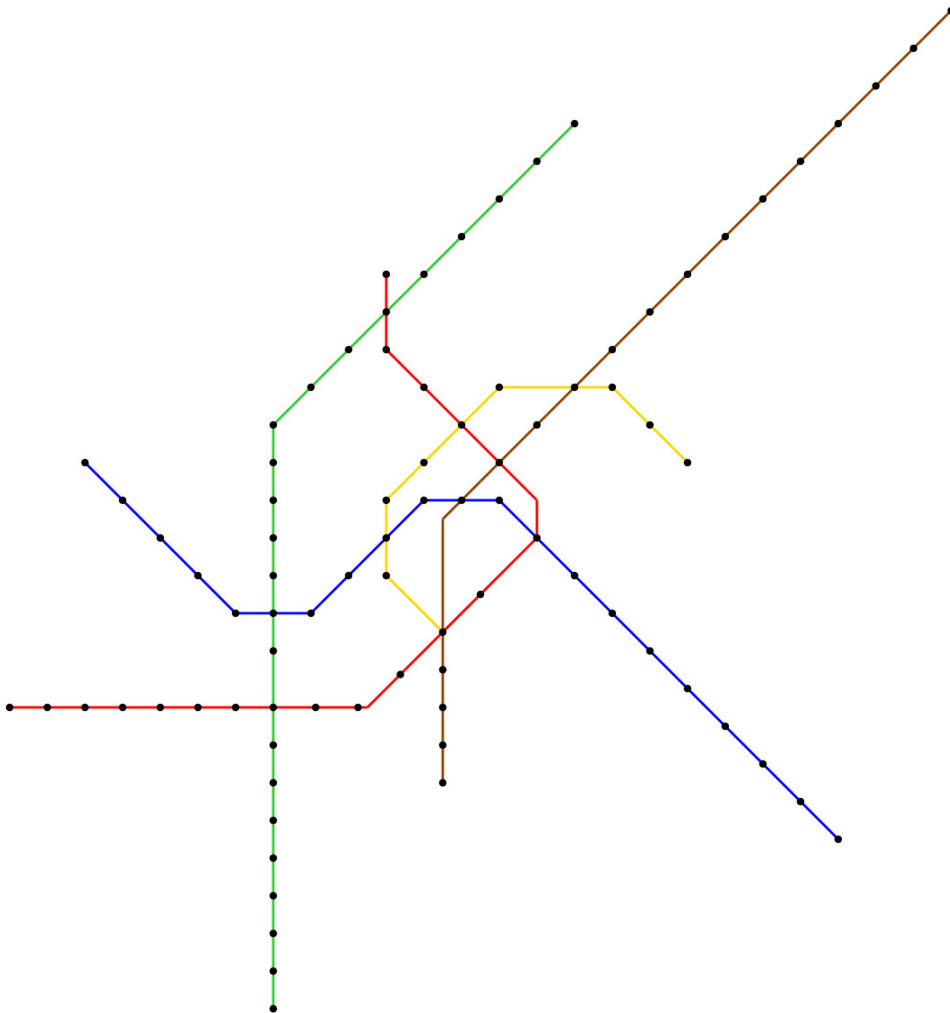


# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Laufzeitverbesserung:

- Vereinfachung des Graphen

	Knoten	Kanten
Vorher	90	96
Nachher	19	25





# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Laufzeitverbesserung:

- Vereinfachung des Graphen
- Nachträgliches Einfügen von Nebenbedingungen

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Laufzeitverbesserung:

- Vereinfachung des Graphen
- Nachträgliches Einfügen von Nebenbedingungen

1. Lese Graph  $G$  ein und vereinfache  $G$
2. Löse MIP

# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Laufzeitverbesserung:

- Vereinfachung des Graphen
- Nachträgliches Einfügen von Nebenbedingungen

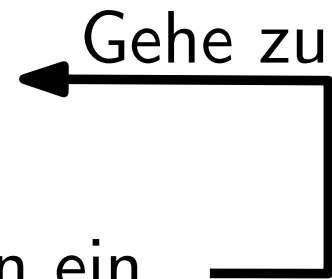
1. Lese Graph  $G$  ein und vereinfache  $G$

2. Löse MIP

3. Sind Nebenbedingungen verletzt?

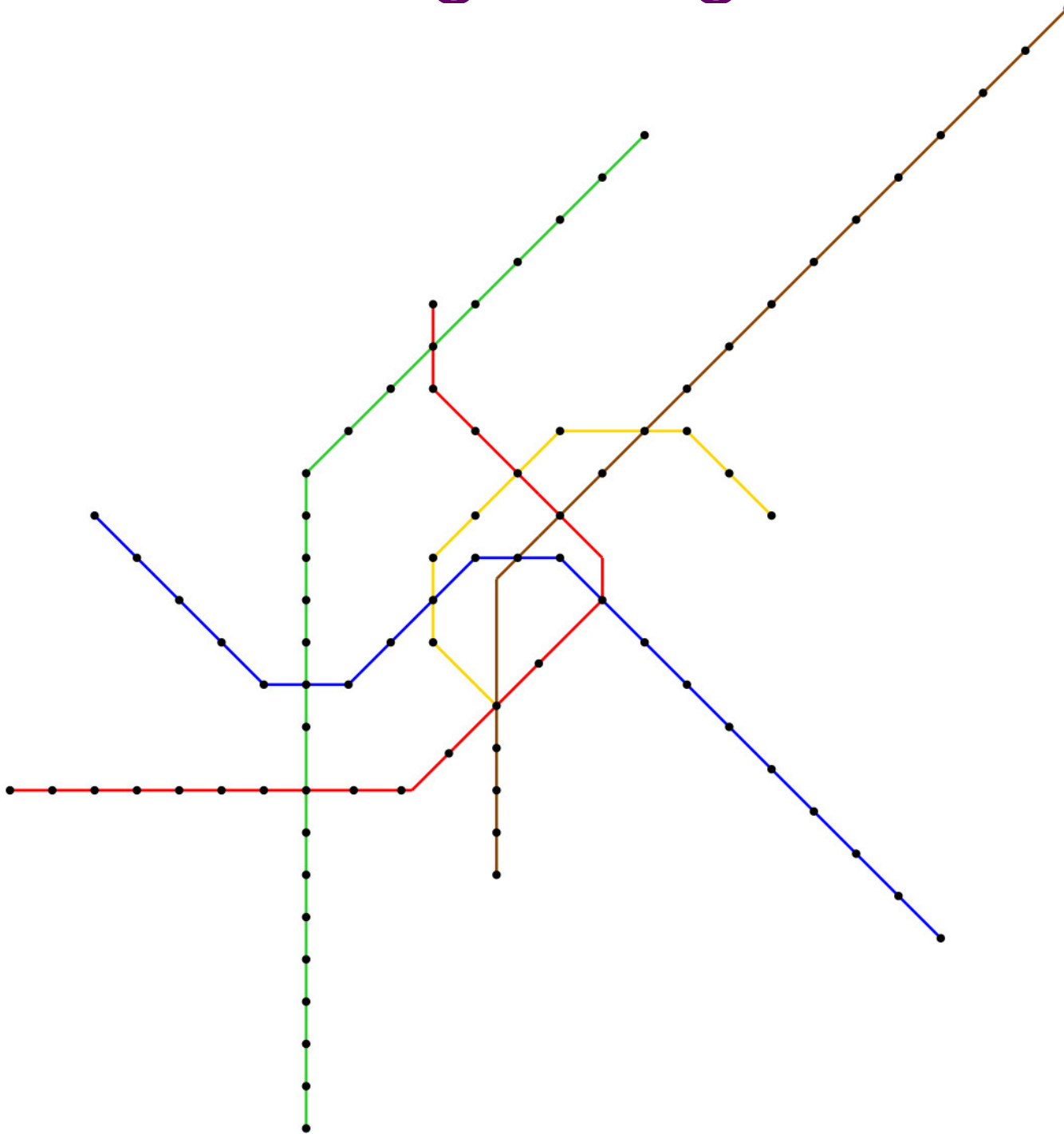
Ja: Füge entsprechende Nebenbedingungen ein

Nein: Erzeuge Zeichnung



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

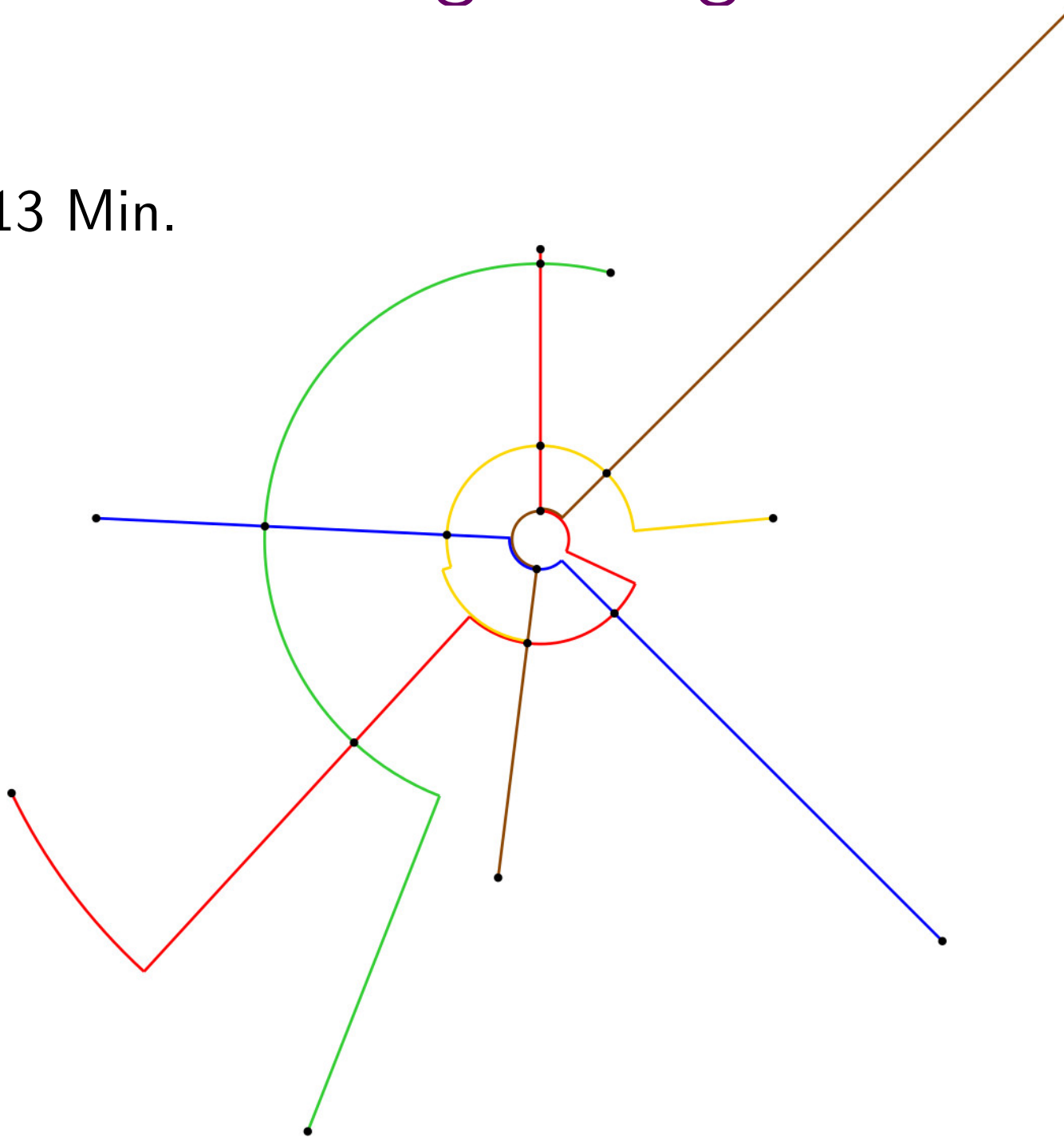
Wien:



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

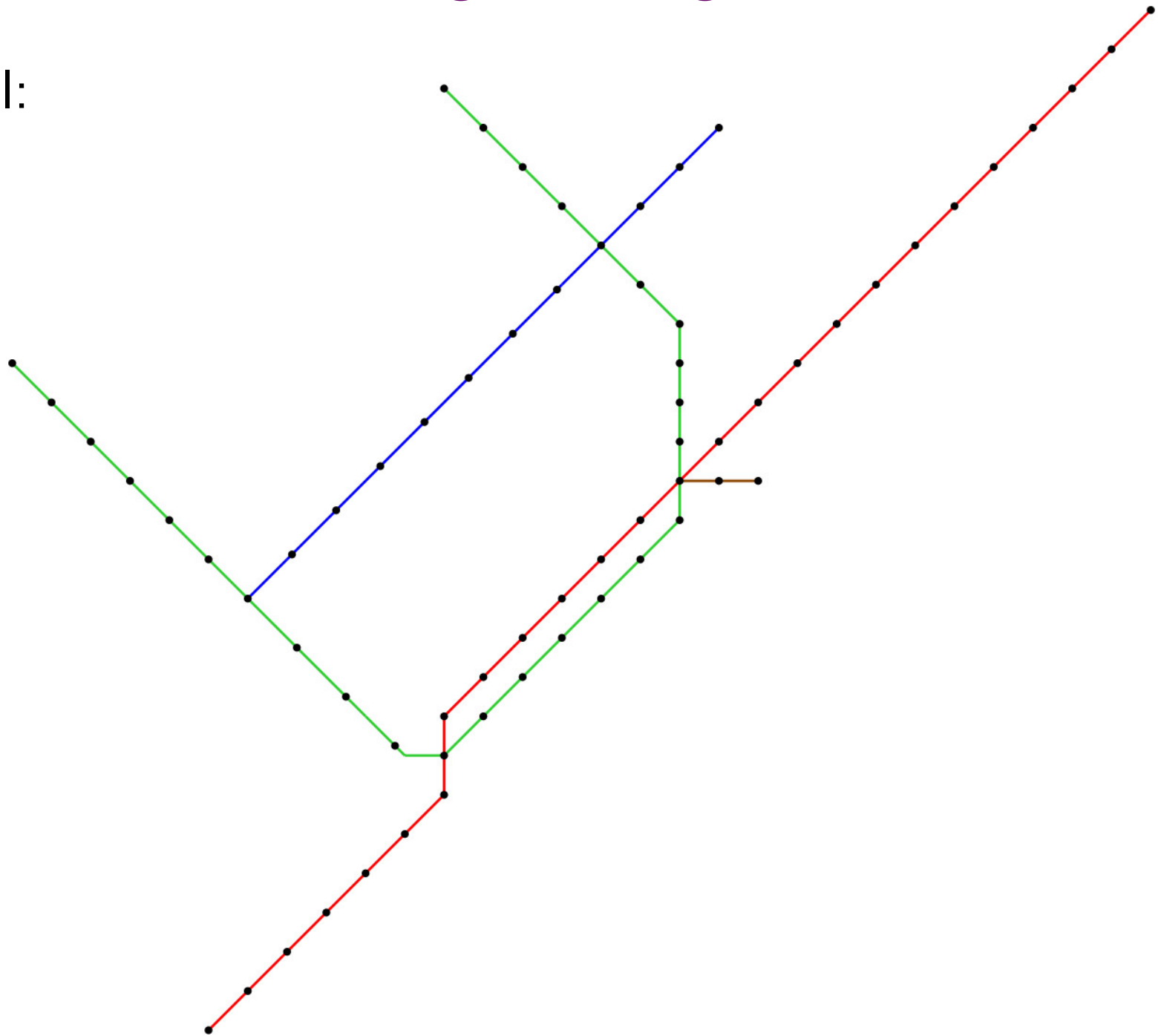
Wien:

Laufzeit: 13 Min.



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

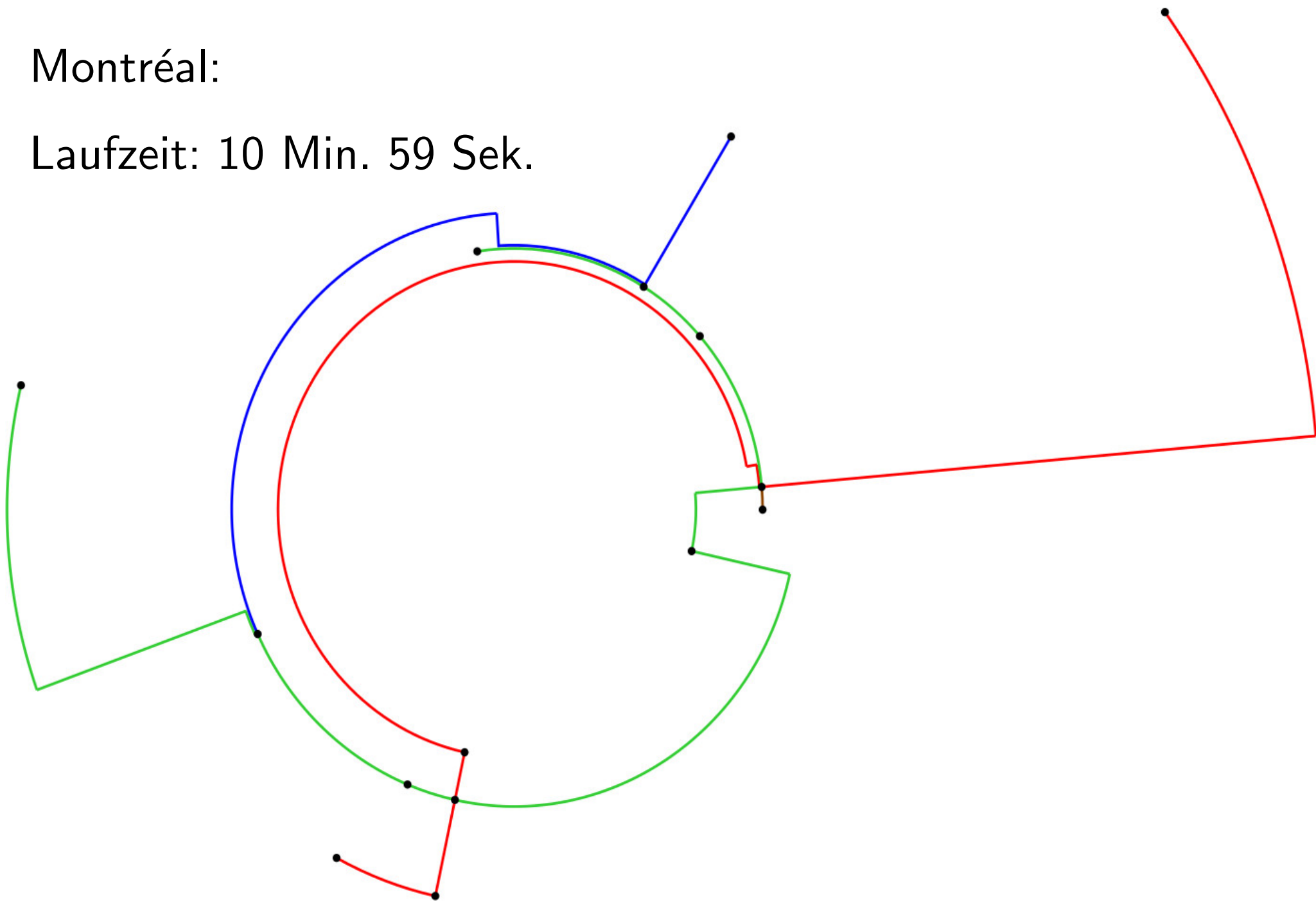
Montréal:



# Gemischt-Ganzzahliges Programm

Montréal:

Laufzeit: 10 Min. 59 Sek.



# Zusammenfassung und Ausblick

Ist-Zustand:

- Modell kann qualitativ gute Ergebnisse erzeugen
- Hohe Laufzeit



# Zusammenfassung und Ausblick

Ist-Zustand:

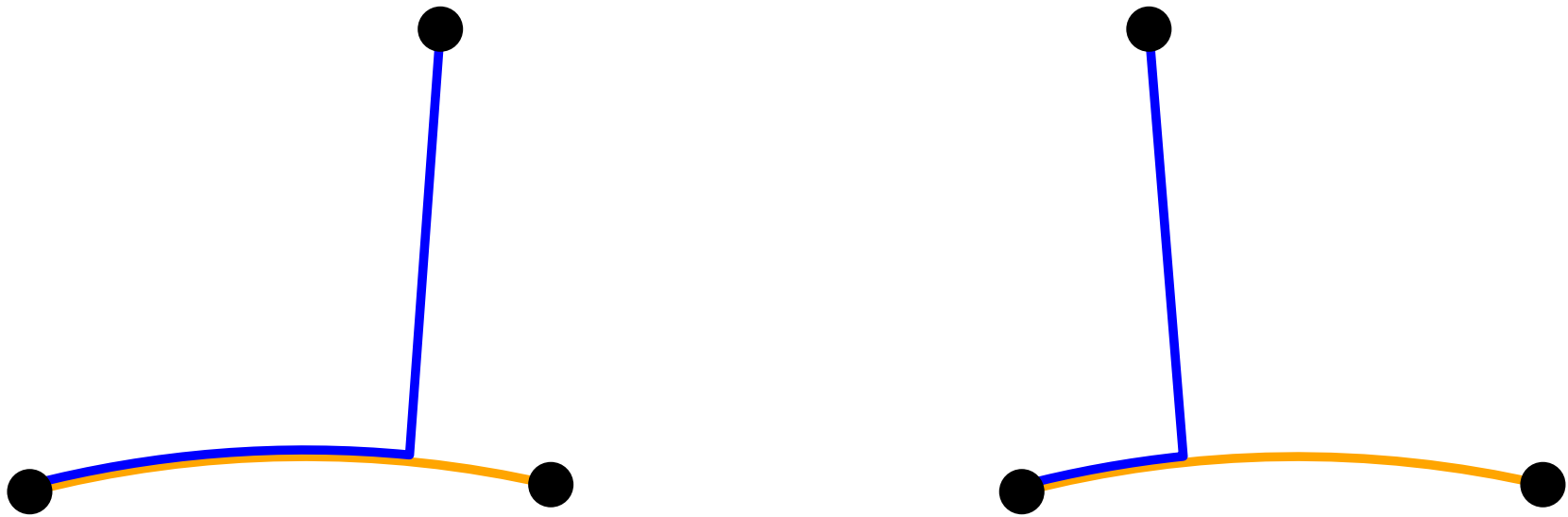
- Modell kann qualitativ gute Ergebnisse erzeugen
- Hohe Laufzeit

Lösungsvorschläge:

- Struktur der Nebenbedingungen und Optimierungskriterien vereinfachen
- Anzahl der benötigten Variablen verringern

# Zusammenfassung und Ausblick

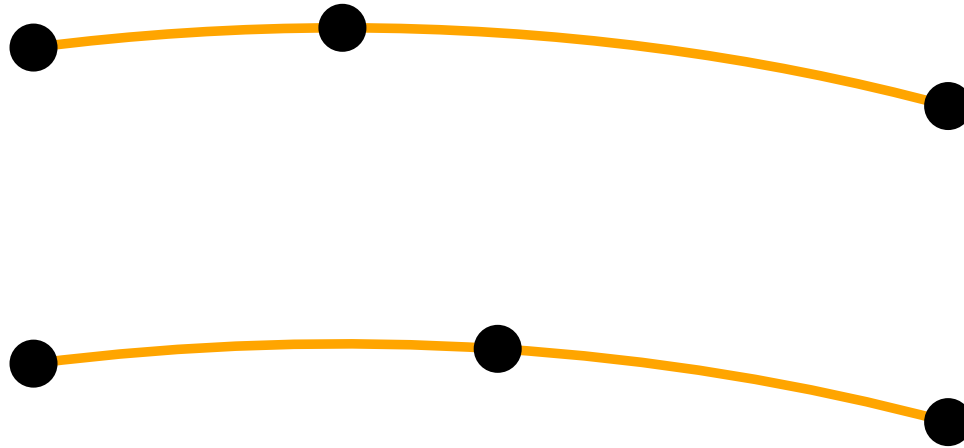
Qualität erhöhen:



Kurze Überlappungen

# Zusammenfassung und Ausblick

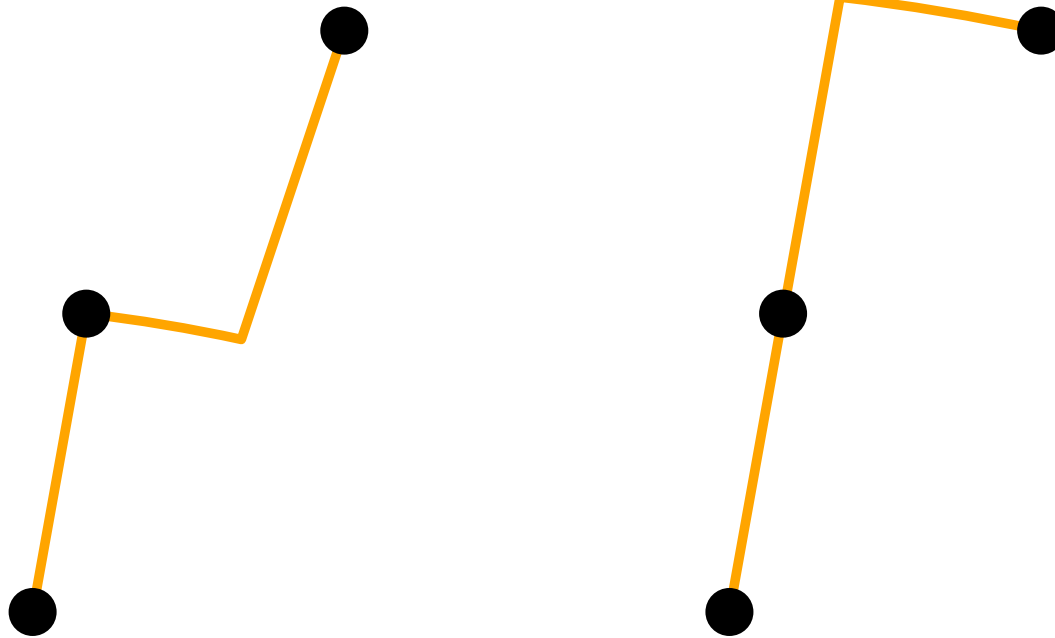
Qualität erhöhen:



Gleichmäßige Kantenlänge

# Zusammenfassung und Ausblick

Qualität erhöhen:



Knickminimierung für Linien optimieren

# Zusammenfassung und Ausblick

Ist-Zustand:

- Modell kann qualitativ gute Ergebnisse erzeugen
- Hohe Laufzeit

Lösungsvorschläge:

- Struktur der Nebenbedingungen und Optimierungskriterien vereinfachen
- Anzahl der benötigten Variablen verringern

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**