

Algorithmische Geometrie

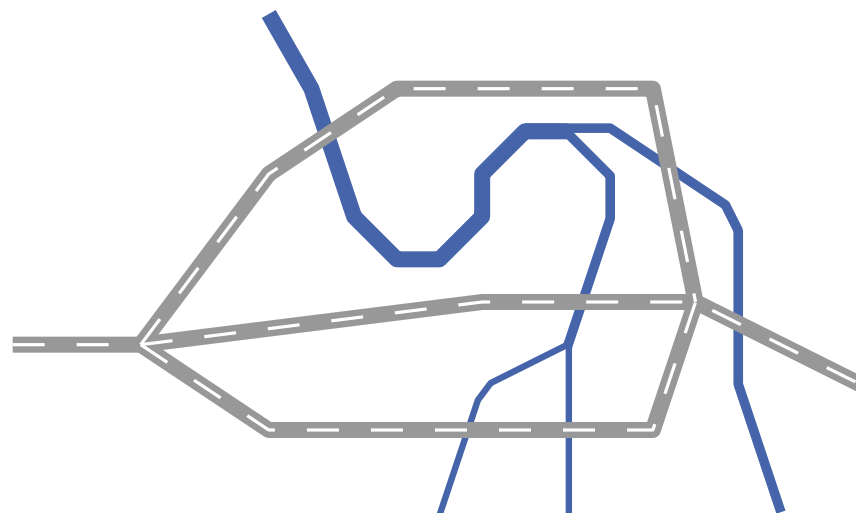
Linienchnitt



Linienchnitt: Motivation

Wo sind Brücken?

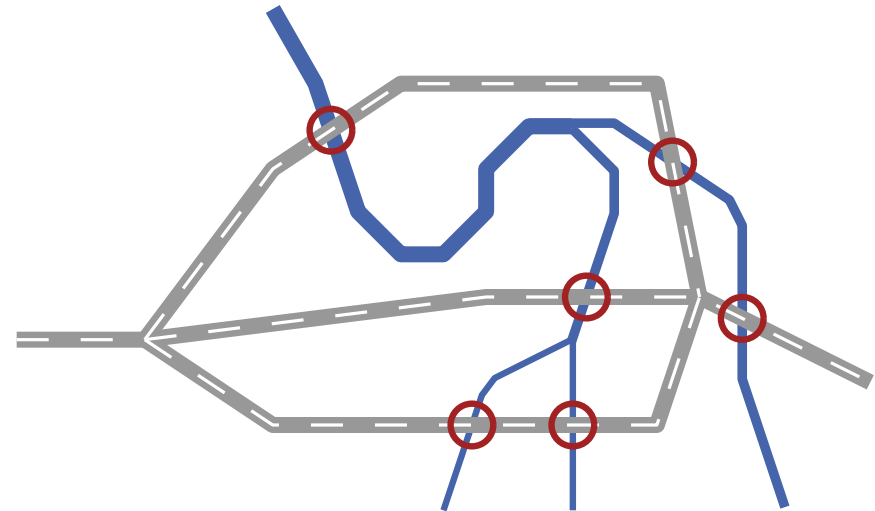
- **gegeben:** Straßen und Flüsse
(jeweils als Menge von Strecken)
- **Ziel:** finde alle Brücken



Linienchnitt: Motivation

Wo sind Brücken?

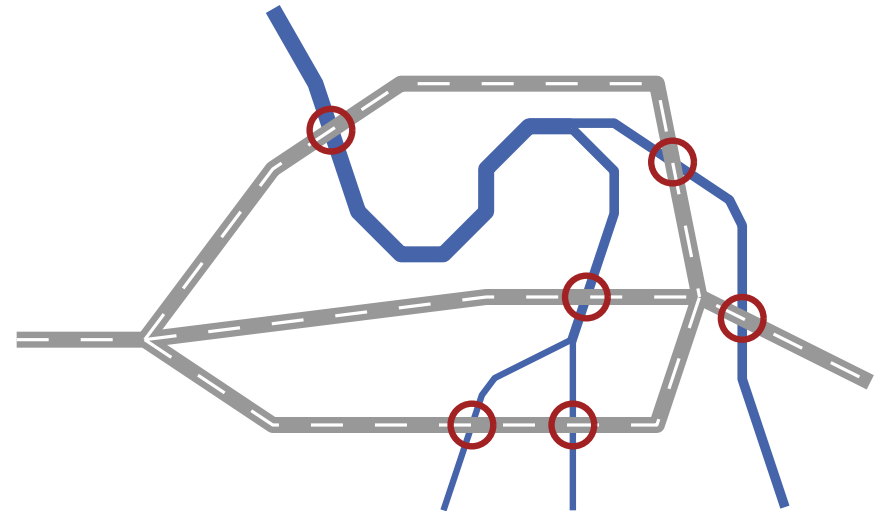
- **gegeben:** Straßen und Flüsse
(jeweils als Menge von Strecken)
- **Ziel:** finde alle Brücken



Linienchnitt: Motivation

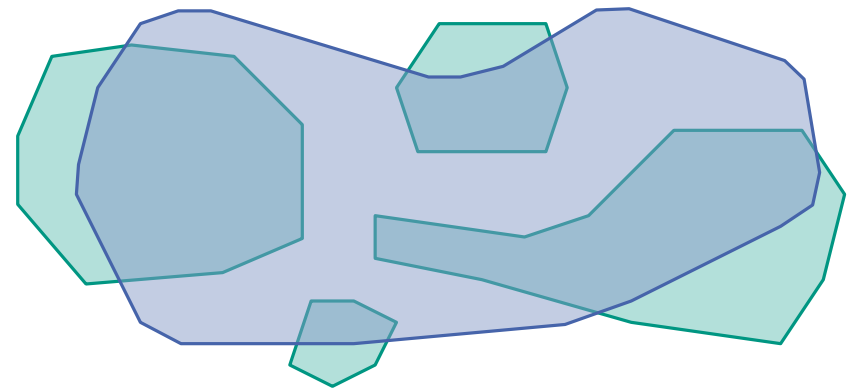
Wo sind Brücken?

- **gegeben:** Straßen und Flüsse
(jeweils als Menge von Strecken)
- **Ziel:** finde alle Brücken



Tannenwälder mit viel Niederschlag

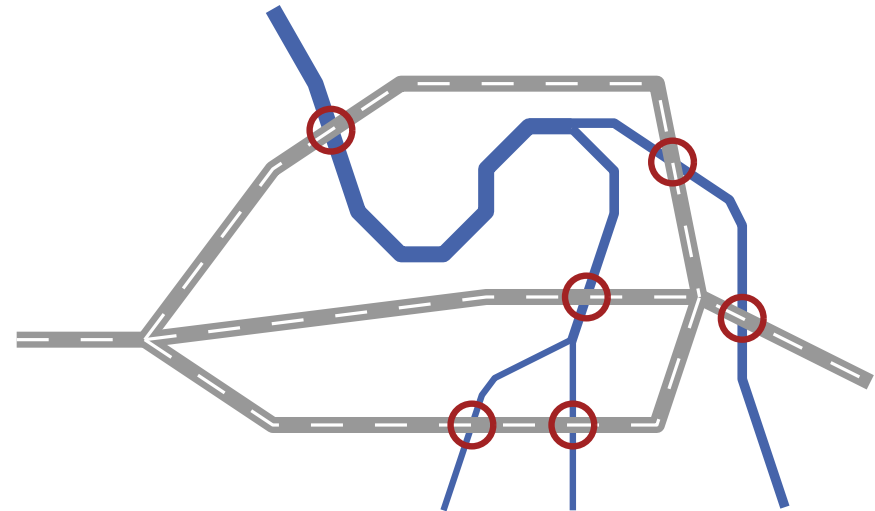
- **gegeben:** Tannenwälder und Regionen mit mehr als 1500mm Niederschlag
(jeweils als Polygone)
- **Ziel:** berechne den Schnitt der beiden



Linienchnitt: Motivation

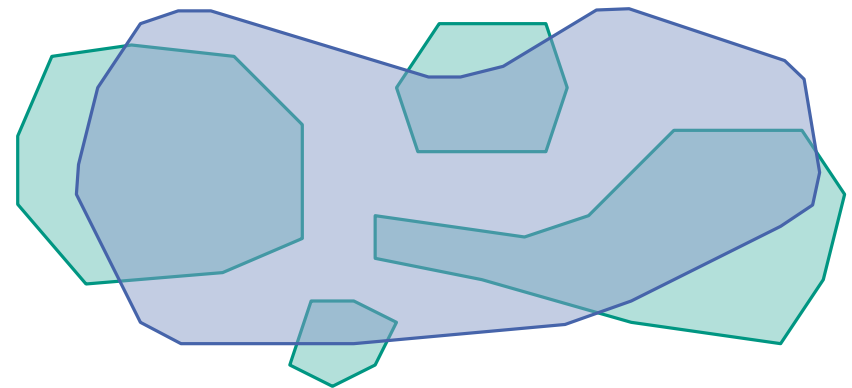
Wo sind Brücken?

- **gegeben:** Straßen und Flüsse
(jeweils als Menge von Strecken)
- **Ziel:** finde alle Brücken



Tannenwälder mit viel Niederschlag

- **gegeben:** Tannenwälder und Regionen mit mehr als 1500mm Niederschlag
(jeweils als Polygone)
- **Ziel:** berechne den Schnitt der beiden



Problem: Linienchnitt

Gegeben n Strecken, berechne alle Schnittpunkte zwischen ihnen.

Erste Beobachtungen

Problem: Linienschnitt

Gegeben n Strecken, berechne alle Schnittpunkte zwischen ihnen.

Annahme: allgemeine Lage

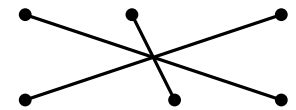
Erste Beobachtungen

Problem: Linienschnitt

Gegeben n Strecken, berechne alle Schnittpunkte zwischen ihnen.

Annahme: allgemeine Lage

- maximal zwei Strecken schneiden sich pro Punkt



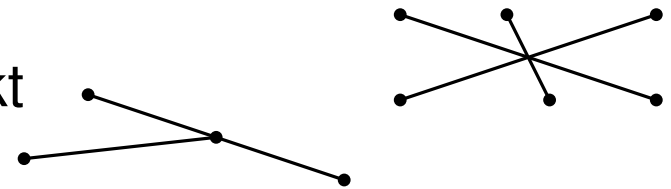
Erste Beobachtungen

Problem: Linienschnitt

Gegeben n Strecken, berechne alle Schnittpunkte zwischen ihnen.

Annahme: allgemeine Lage

- maximal zwei Strecken schneiden sich pro Punkt
- kein Endpunkt auf einer anderen Strecke



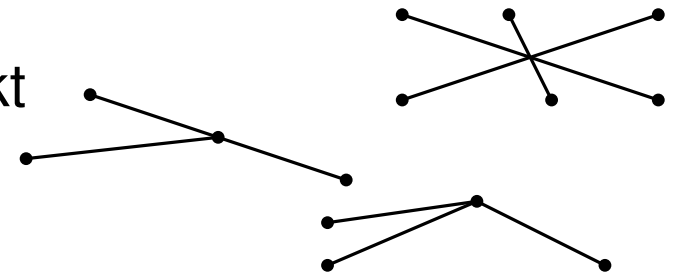
Erste Beobachtungen

Problem: Linienschnitt

Gegeben n Strecken, berechne alle Schnittpunkte zwischen ihnen.

Annahme: allgemeine Lage

- maximal zwei Strecken schneiden sich pro Punkt
- kein Endpunkt auf einer anderen Strecke
- keine übereinstimmenden Endpunkte



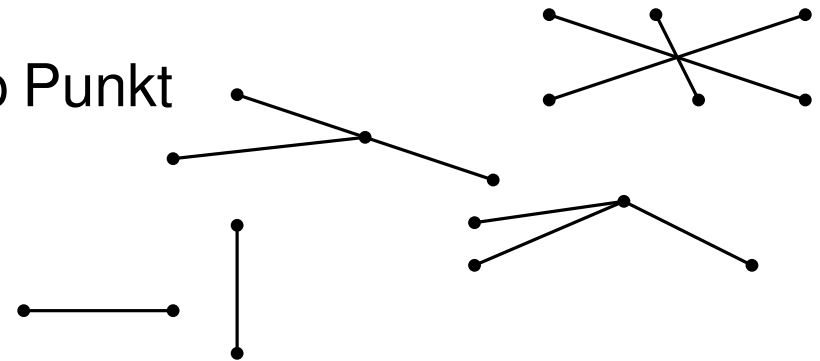
Erste Beobachtungen

Problem: Linienschnitt

Gegeben n Strecken, berechne alle Schnittpunkte zwischen ihnen.

Annahme: allgemeine Lage

- maximal zwei Strecken schneiden sich pro Punkt
- kein Endpunkt auf einer anderen Strecke
- keine übereinstimmenden Endpunkte
- keine horizontalen/vertikalen Strecken



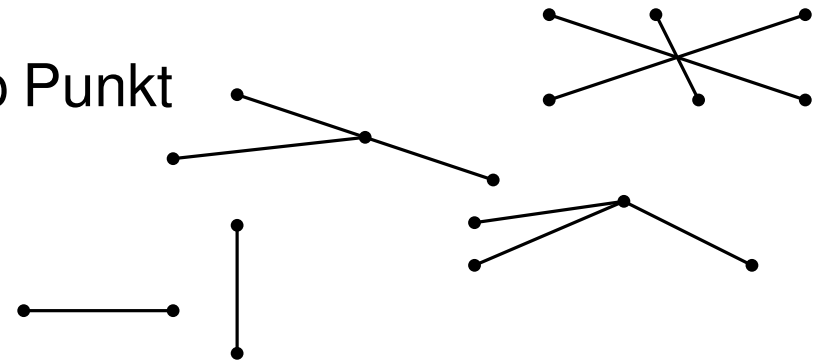
Erste Beobachtungen

Problem: Linienschnitt

Gegeben n Strecken, berechne alle Schnittpunkte zwischen ihnen.

Annahme: allgemeine Lage

- maximal zwei Strecken schneiden sich pro Punkt
- kein Endpunkt auf einer anderen Strecke
- keine übereinstimmenden Endpunkte
- keine horizontalen/vertikalen Strecken



Trivialer Algorithmus

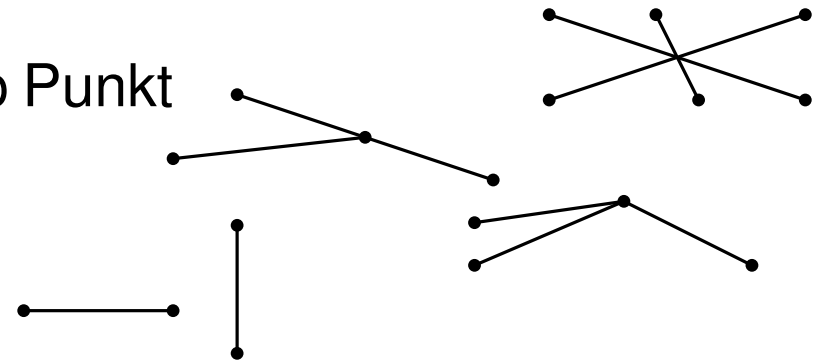
Erste Beobachtungen

Problem: Linienschnitt

Gegeben n Strecken, berechne alle Schnittpunkte zwischen ihnen.

Annahme: allgemeine Lage

- maximal zwei Strecken schneiden sich pro Punkt
- kein Endpunkt auf einer anderen Strecke
- keine übereinstimmenden Endpunkte
- keine horizontalen/vertikalen Strecken



Trivialer Algorithmus

- teste jedes Streckenpaar auf Schnitt $\rightarrow O(n^2)$

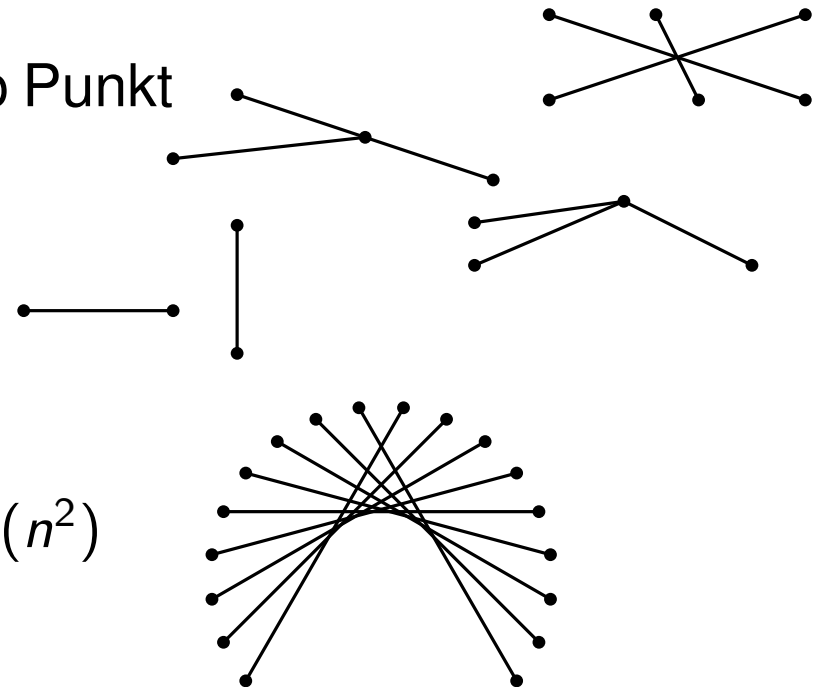
Erste Beobachtungen

Problem: Linienschnitt

Gegeben n Strecken, berechne alle Schnittpunkte zwischen ihnen.

Annahme: allgemeine Lage

- maximal zwei Strecken schneiden sich pro Punkt
- kein Endpunkt auf einer anderen Strecke
- keine übereinstimmenden Endpunkte
- keine horizontalen/vertikalen Strecken



Trivialer Algorithmus

- teste jedes Streckenpaar auf Schnitt $\rightarrow O(n^2)$
- besser geht es nicht

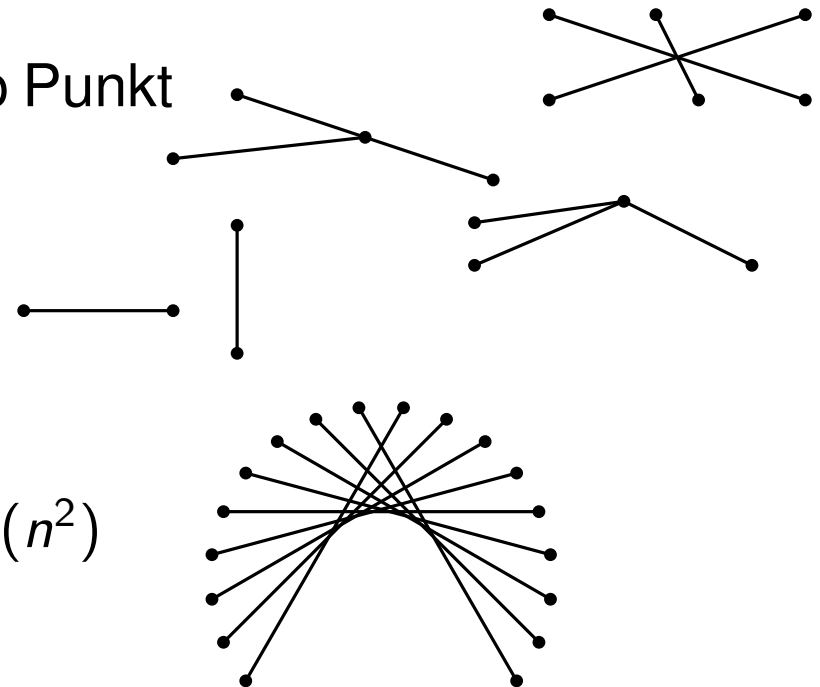
Erste Beobachtungen

Problem: Linienschnitt

Gegeben n Strecken, berechne alle Schnittpunkte zwischen ihnen.

Annahme: allgemeine Lage

- maximal zwei Strecken schneiden sich pro Punkt
- kein Endpunkt auf einer anderen Strecke
- keine übereinstimmenden Endpunkte
- keine horizontalen/vertikalen Strecken



Trivialer Algorithmus

- teste jedes Streckenpaar auf Schnitt $\rightarrow O(n^2)$
- besser geht es nicht

Mögliche Verbesserung (trotz unterer Schranke)

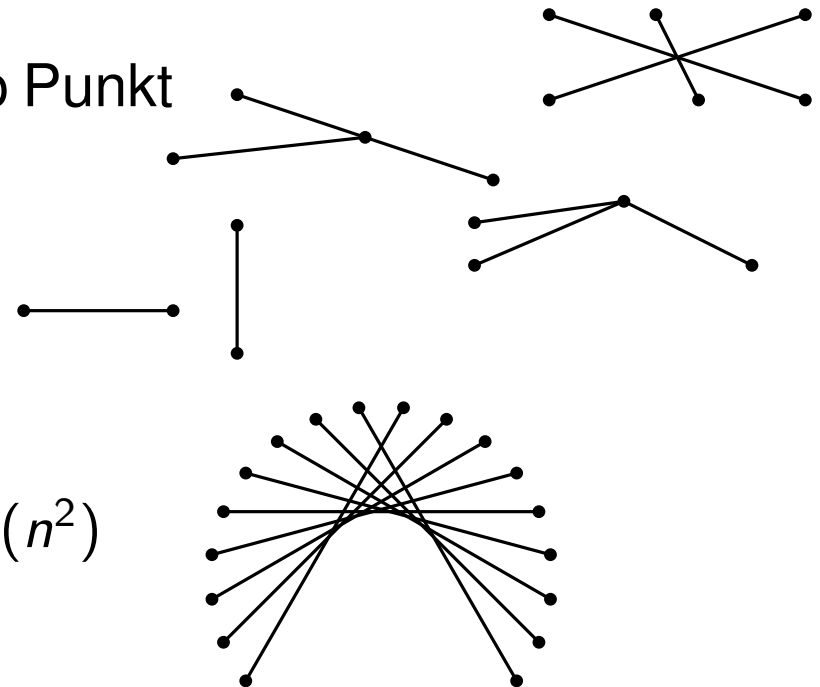
Erste Beobachtungen

Problem: Linienschnitt

Gegeben n Strecken, berechne alle Schnittpunkte zwischen ihnen.

Annahme: allgemeine Lage

- maximal zwei Strecken schneiden sich pro Punkt
- kein Endpunkt auf einer anderen Strecke
- keine übereinstimmenden Endpunkte
- keine horizontalen/vertikalen Strecken



Trivialer Algorithmus

- teste jedes Streckenpaar auf Schnitt $\rightarrow O(n^2)$
- besser geht es nicht

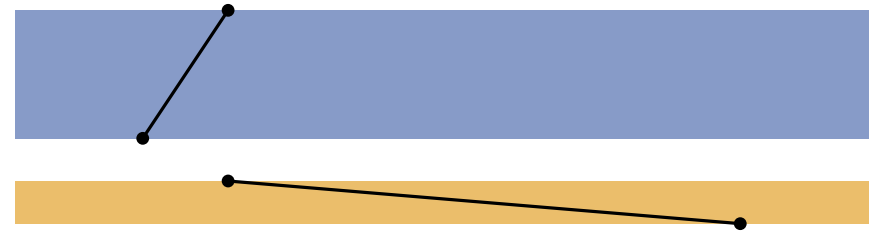
Mögliche Verbesserung (trotz unterer Schranke)

- Ziel: wenige Schnittpunkte \Rightarrow bessere Laufzeit
- Laufzeit abhängig von Ausgabegröße \rightarrow ausgabesensitiver Algorithmus

Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

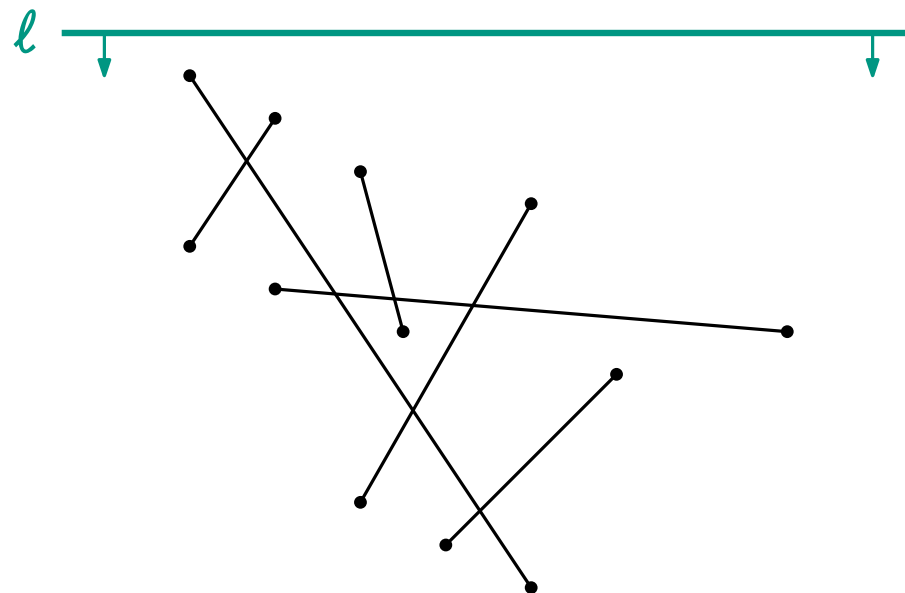
- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt



Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

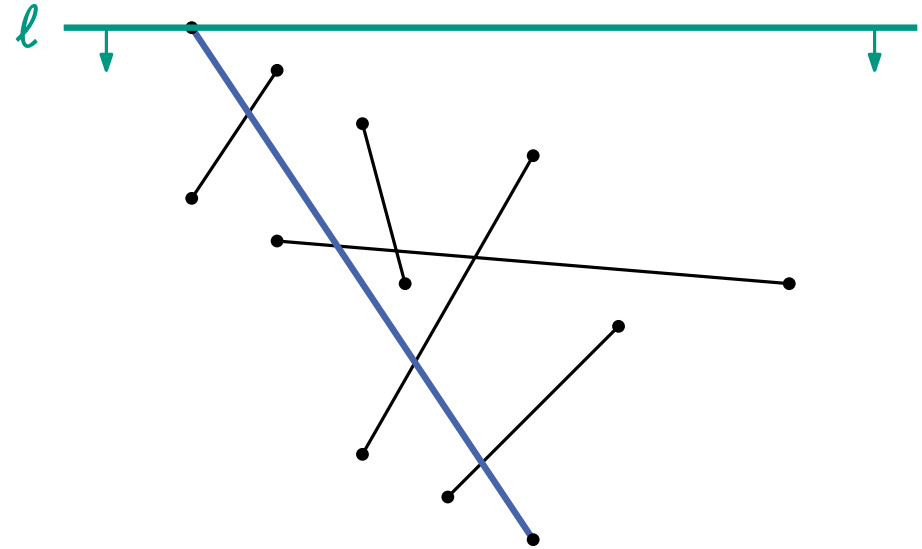
- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**



Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

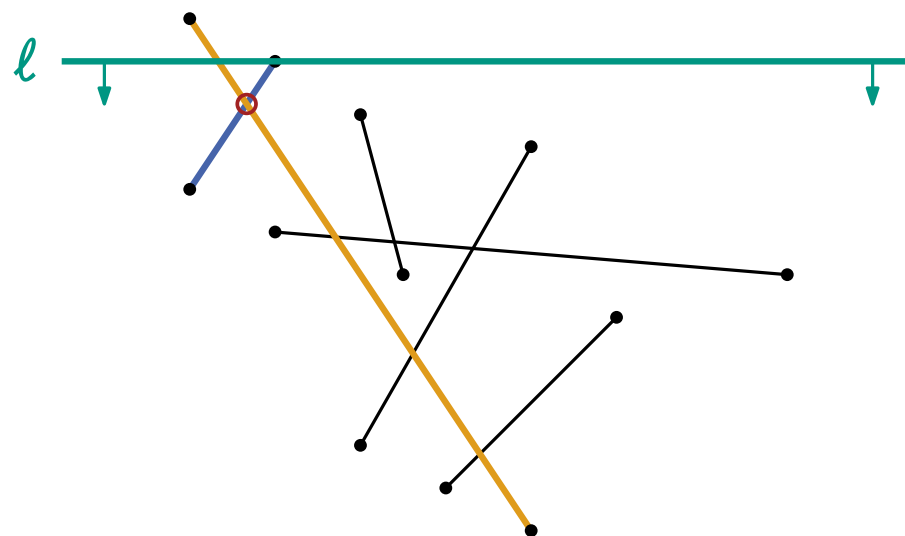
- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**



Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

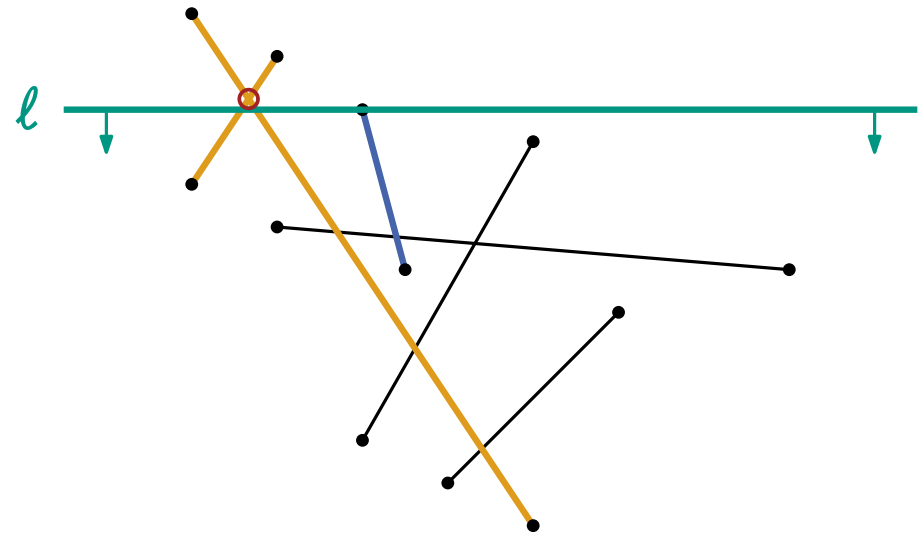
- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**



Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

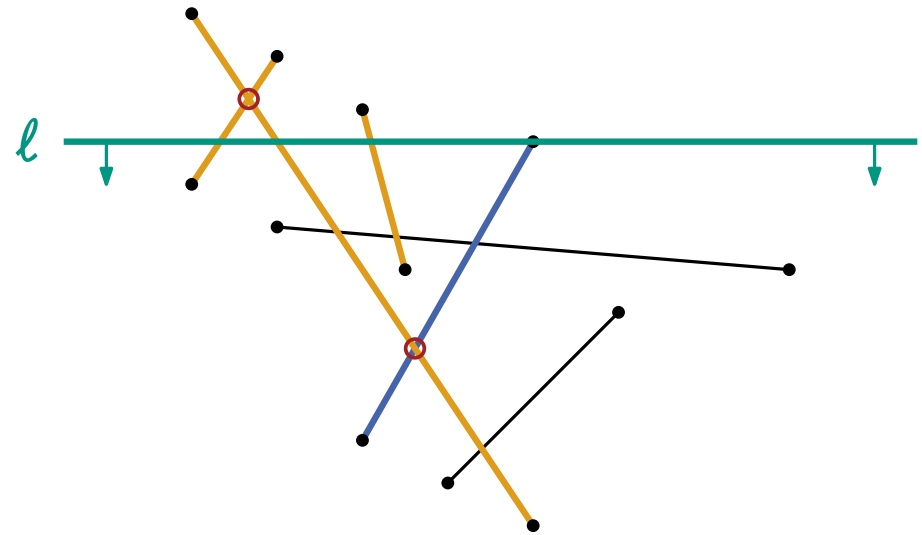
- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**



Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

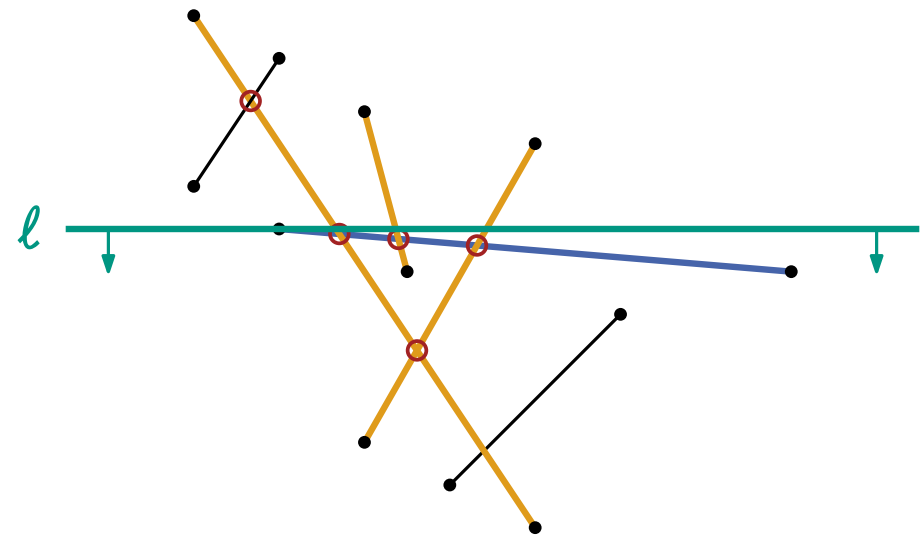
- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**



Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

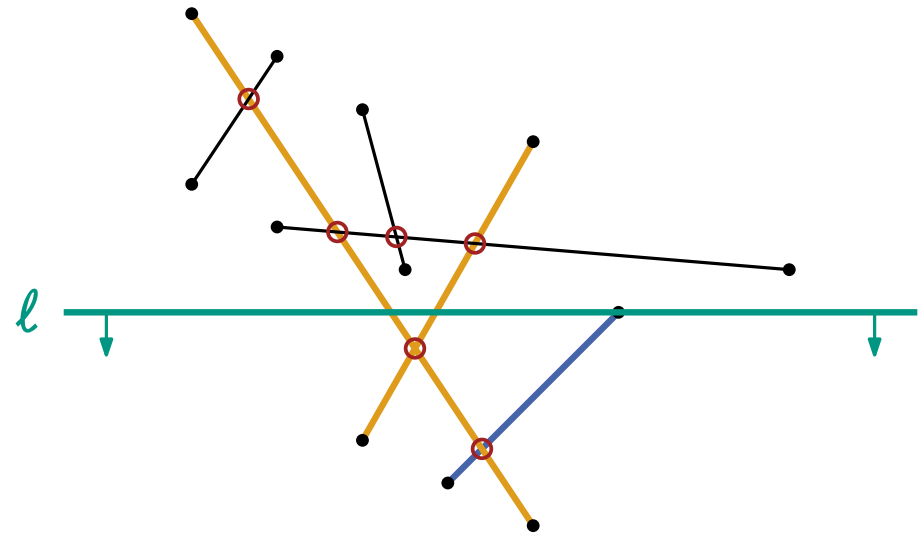
- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**



Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**



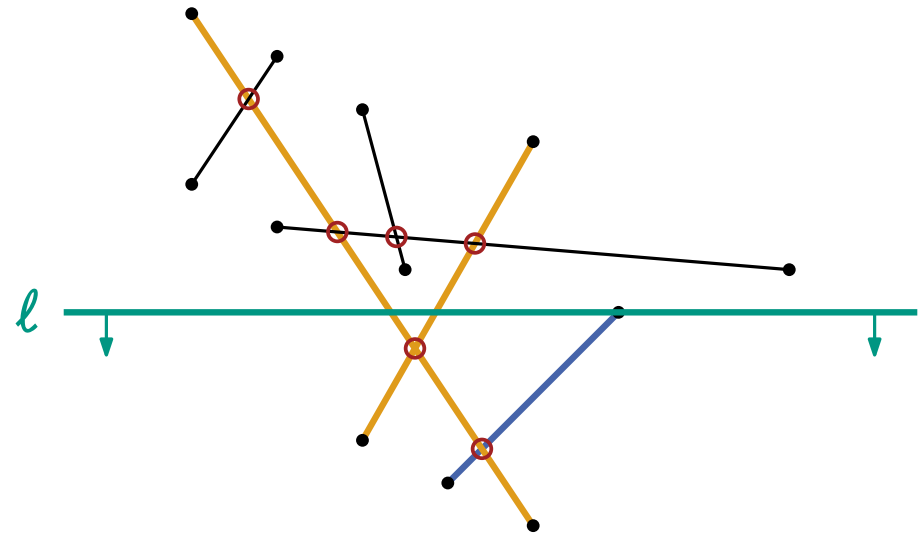
Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**

Sweep-Line: etwas formaler

- Sweep-Line Status
 - aktueller Zustand des Sweeps



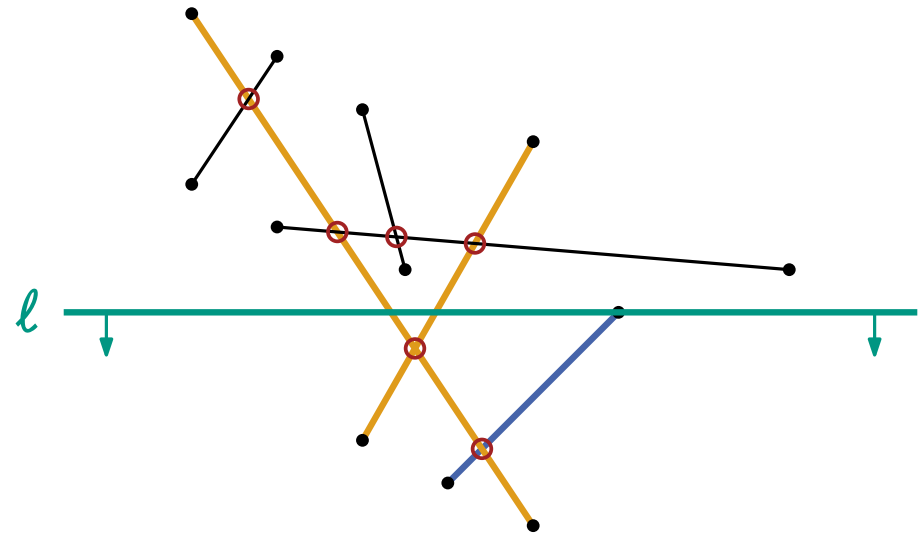
Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**

Sweep-Line: etwas formaler

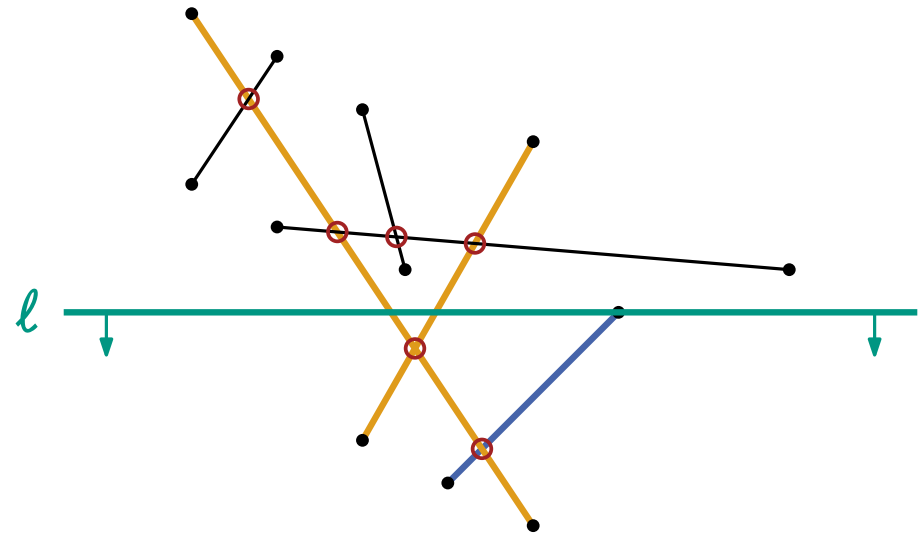
- Sweep-Line Status
 - aktueller Zustand des Sweeps
 - hier: Menge S_ℓ der Strecken, die ℓ schneiden



Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**



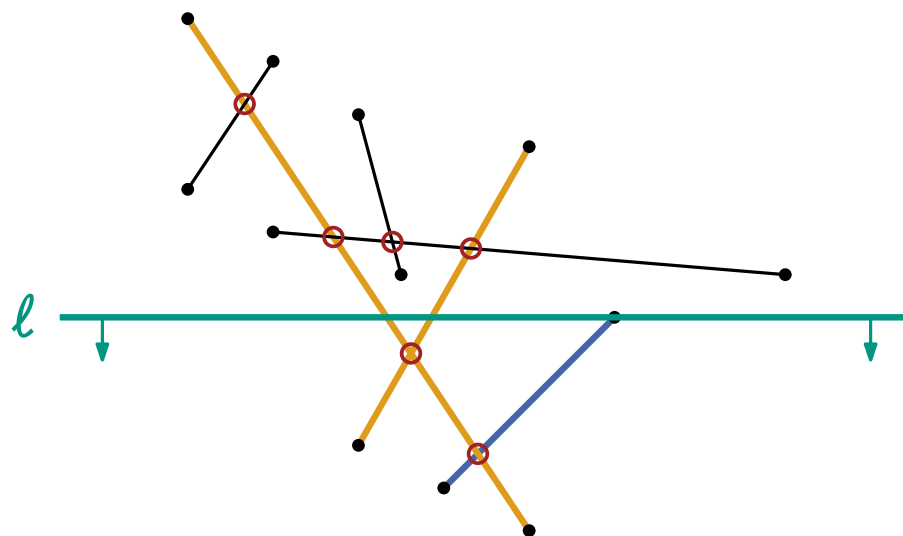
Sweep-Line: etwas formaler

- Sweep-Line Status
 - aktueller Zustand des Sweeps
 - hier: Menge S_ℓ der Strecken, die ℓ schneiden
- Event-Queue
 - zukünftige Positionen der Sweep-Line, an denen spannendes passiert (typischerweise die Positionen, an denen sich der Status ändert)

Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**



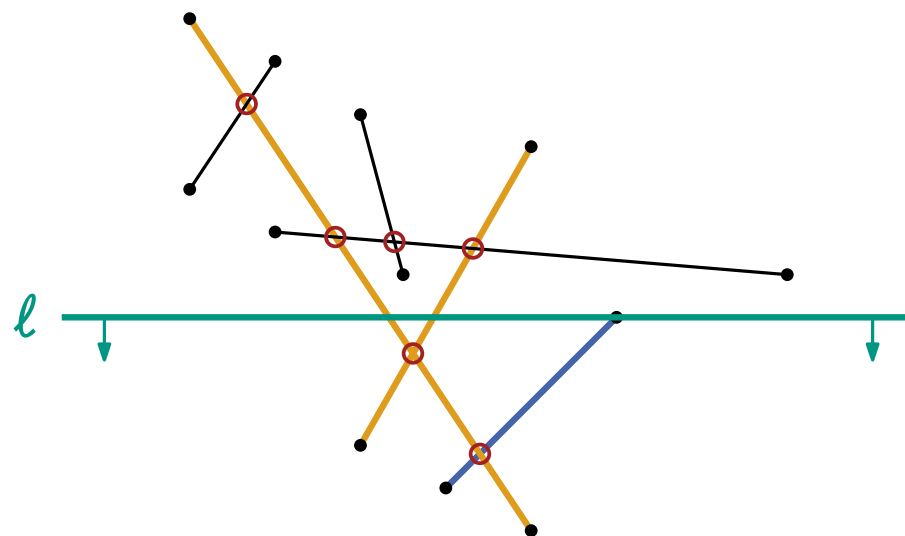
Sweep-Line: etwas formaler

- Sweep-Line Status
 - aktueller Zustand des Sweeps
 - hier: Menge S_ℓ der Strecken, die ℓ schneiden
- Event-Queue
 - zukünftige Positionen der Sweep-Line, an denen spannendes passiert (typischerweise die Positionen, an denen sich der Status ändert)
 - hier: Start- und Endpunkte der Strecken

Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**



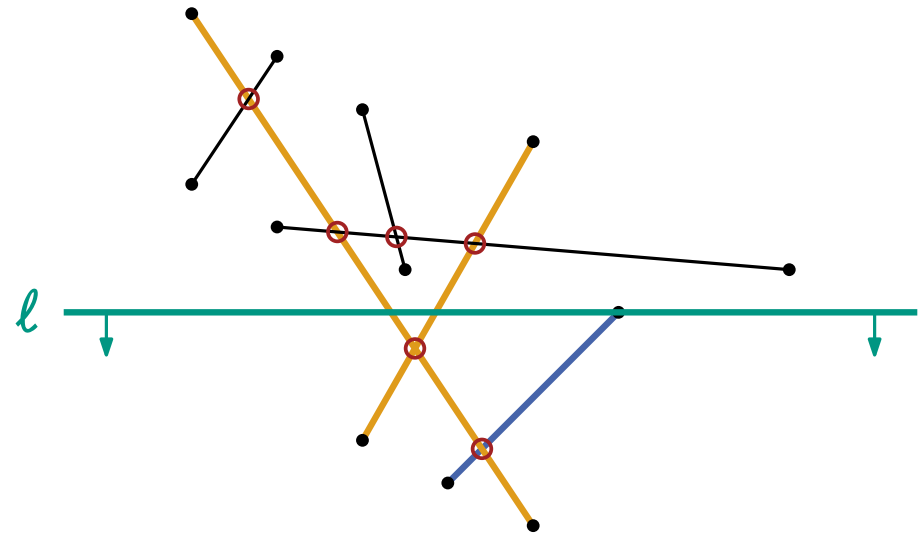
Sweep-Line: etwas formaler

- Sweep-Line Status
 - aktueller Zustand des Sweeps
 - hier: Menge S_ℓ der Strecken, die ℓ schneiden
- Event-Queue
 - zukünftige Positionen der Sweep-Line, an denen spannendes passiert (typischerweise die Positionen, an denen sich der Status ändert)
 - hier: Start- und Endpunkte der Strecken
- Event-Handler; hier:

Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Idee

- vergleiche Strecken nicht, wenn eine komplett über der anderen liegt
- schiebe **horizontale Gerade ℓ** von oben nach unten
- **neue Strecke** \rightarrow teste auf Schnitt mit allen **von ℓ geschnittenen Strecken**



Sweep-Line: etwas formaler

- Sweep-Line Status
 - aktueller Zustand des Sweeps
 - hier: Menge S_ℓ der Strecken, die ℓ schneiden
- Event-Queue
 - zukünftige Positionen der Sweep-Line, an denen spannendes passiert (typischerweise die Positionen, an denen sich der Status ändert)
 - hier: Start- und Endpunkte der Strecken
- Event-Handler; hier:
 - Endpunkt der Strecke $s \rightarrow$ setze $S_\ell = S_\ell - s$
 - Startpunkt \rightarrow teste s auf Schnitt mit Strecken in S_ℓ und setze $S_\ell = S_\ell + s$

Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten; jeweils mit den dazugehörigen Strecken

Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten; jeweils mit den dazugehörigen Strecken

Q = nach y -Koord. sortierte Liste aller Streckenendpunkte

// Event-Queue

S_ℓ = leere Liste

// Sweep-Line Status

Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten; jeweils mit den dazugehörigen Strecken

```
Q = nach  $y$ -Koord. sortierte Liste aller Streckenendpunkte // Event-Queue
 $S_\ell$  = leere Liste // Sweep-Line Status
solange  $Q \neq \emptyset$ 
   $p = \min\{Q\}$  und  $Q = Q - p$ 
  BEHANDLEEVENTPUNKT( $p$ ) // Event-Handler
```


Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten; jeweils mit den dazugehörigen Strecken

Q = nach y -Koord. sortierte Liste aller Streckenendpunkte // Event-Queue
 S_ℓ = leere Liste // Sweep-Line Status

solange $Q \neq \emptyset$

$p = \min\{Q\}$ und $Q = Q - p$

BEHANDLEEVENTPUNKT(p) // Event-Handler

BEHANDLEEVENTPUNKT(p)

s = Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in S_\ell$ // Strecke endet

$S_\ell = S_\ell - s$

Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten; jeweils mit den dazugehörigen Strecken

```

Q = nach y-Koord. sortierte Liste aller Streckenendpunkte // Event-Queue
Sℓ = leere Liste // Sweep-Line Status
solange Q ≠ ∅
  p = min{Q} und Q = Q − p
  BEHANDLEEVENTPUNKT(p) // Event-Handler

```

BEHANDLEEVENTPUNKT(p)

```

s = Strecke mit Endpunkt p
wenn s ∈ Sℓ // Strecke endet
  Sℓ = Sℓ − s
sonst // Strecke startet
  für alle s' ∈ Sℓ
    wenn s ∩ s' ≠ ∅ gib (s ∩ s', s, s') aus
  Sℓ = Sℓ + s

```

Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten; jeweils mit den dazugehörigen Strecken

Q = nach y -Koord. sortierte Liste aller Streckenendpunkte // Event-Queue

S_ℓ = leere Liste // Sweep-Line Status

solange $Q \neq \emptyset$

$p = \min\{Q\}$ und $Q = Q - p$

 BEHANDLEEVENTPUNKT(p) // Event-Handler

BEHANDLEEVENTPUNKT(p)

s = Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in S_\ell$ // Strecke endet

$S_\ell = S_\ell - s$

sonst // Strecke startet

für alle $s' \in S_\ell$

wenn $s \cap s' \neq \emptyset$ **gib** $(s \cap s', s, s')$ **aus**

$S_\ell = S_\ell + s$

Problem: langsam ($O(n^2)$), wenn $|S_\ell|$ meistens groß ist

Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten; jeweils mit den dazugehörigen Strecken

Q = nach y -Koord. sortierte Liste aller Streckenendpunkte // Event-Queue

S_ℓ = leere Liste // Sweep-Line Status

solange $Q \neq \emptyset$

$p = \min\{Q\}$ und $Q = Q - p$

 BEHANDLEEVENTPUNKT(p) // Event-Handler

BEHANDLEEVENTPUNKT(p)

s = Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in S_\ell$ // Strecke endet

$S_\ell = S_\ell - s$

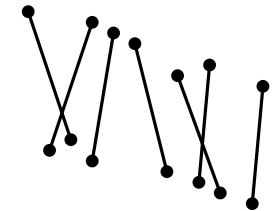
sonst // Strecke startet

für alle $s' \in S_\ell$

wenn $s \cap s' \neq \emptyset$ **gib** $(s \cap s', s, s')$ **aus**

$S_\ell = S_\ell + s$

Problem: langsam ($O(n^2)$), wenn $|S_\ell|$ meistens groß ist



Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten; jeweils mit den dazugehörigen Strecken

Q = nach y -Koord. sortierte Liste aller Streckenendpunkte // Event-Queue

S_ℓ = leere Liste // Sweep-Line Status

solange $Q \neq \emptyset$

$p = \min\{Q\}$ und $Q = Q - p$

 BEHANDLEEVENTPUNKT(p) // Event-Handler

BEHANDLEEVENTPUNKT(p)

s = Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in S_\ell$ // Strecke endet

$S_\ell = S_\ell - s$

sonst // Strecke startet

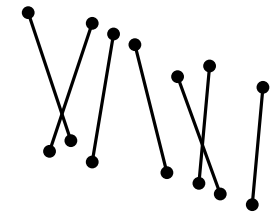
für alle $s' \in S_\ell$

wenn $s \cap s' \neq \emptyset$ **gib** $(s \cap s', s, s')$ **aus**

$S_\ell = S_\ell + s$

Problem: langsam ($O(n^2)$), wenn $|S_\ell|$ meistens groß ist

Beobachtung: schneidende Strecken sind irgendwann benachbart (auf der Sweep-Line)



Ein einfacher Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten; jeweils mit den dazugehörigen Strecken

Q = nach y -Koord. sortierte Liste aller Streckenendpunkte // Event-Queue

S_ℓ = leere Liste // Sweep-Line Status

solange $Q \neq \emptyset$

$p = \min\{Q\}$ und $Q = Q - p$

 BEHANDLEEVENTPUNKT(p) // Event-Handler

BEHANDLEEVENTPUNKT(p)

s = Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in S_\ell$ // Strecke endet

$S_\ell = S_\ell - s$

sonst // Strecke startet

für alle $s' \in S_\ell$

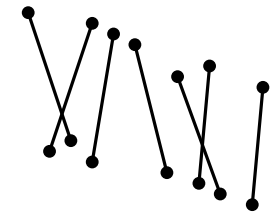
wenn $s \cap s' \neq \emptyset$ **gib** $(s \cap s', s, s')$ **aus**

$S_\ell = S_\ell + s$

Problem: langsam ($O(n^2)$), wenn $|S_\ell|$ meistens groß ist

Beobachtung: schneidende Strecken sind irgendwann benachbart (auf der Sweep-Line)

Lösung: vergleiche nur benachbarte Strecken



Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form

Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form
- Event-Handler

Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form
- Event-Handler
 - Streckenstart: Schnittpunkt nur mit benachbarten

Vergleich benachbarter Strecken

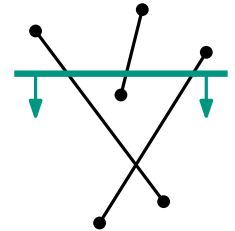
Was ändert sich?

- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form
- Event-Handler
 - Streckenstart: Schnittpunkt nur mit benachbarten
 - Streckenstart: Sortierung erhalten beim Einfügen

Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

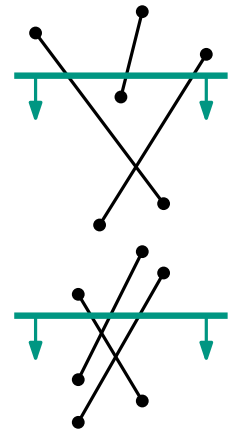
- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form
- Event-Handler
 - Streckenstart: Schnitttest nur mit benachbarten
 - Streckenstart: Sortierung erhalten beim Einfügen
 - Streckenende: Schnitttest für neu benachbarten



Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

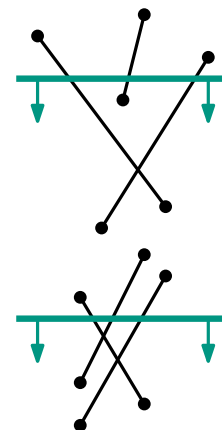
- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form
- Event-Handler
 - Streckenstart: Schnitttest nur mit benachbarten
 - Streckenstart: Sortierung erhalten beim Einfügen
 - Streckenende: Schnitttest für neu benachbarten
 - Schnittpunkt: Reihenfolge der schneidenden Strecken ändern und Schnitttest für neu benachbarte



Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

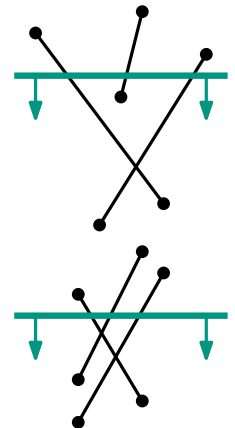
- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form
- Event-Handler
 - Streckenstart: Schnitttest nur mit benachbarten
 - Streckenstart: Sortierung erhalten beim Einfügen
 - Streckenende: Schnitttest für neu benachbarten
 - Schnittpunkt: Reihenfolge der schneidenden Strecken ändern und Schnitttest für neu benachbarte
 - Schnittpunkt gefunden: Schnittpunkt in Event-Queue einfügen



Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form
- Event-Handler
 - Streckenstart: Schnitttest nur mit benachbarten
 - Streckenstart: Sortierung erhalten beim Einfügen
 - Streckenende: Schnitttest für neu benachbarten
 - Schnittpunkt: Reihenfolge der schneidenden Strecken ändern und Schnitttest für neu benachbarte
 - Schnittpunkt gefunden: Schnittpunkt in Event-Queue einfügen



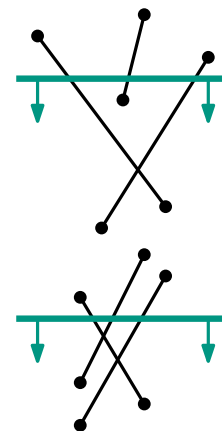
Welche Datenstrukturen?

- Sweep-Line Status: einfügen, löschen, Vorgänger, Nachfolger

Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form
- Event-Handler
 - Streckenstart: Schnitttest nur mit benachbarten
 - Streckenstart: Sortierung erhalten beim Einfügen
 - Streckenende: Schnitttest für neu benachbarten
 - Schnittpunkt: Reihenfolge der schneidenden Strecken ändern und Schnitttest für neu benachbarte
 - Schnittpunkt gefunden: Schnittpunkt in Event-Queue einfügen



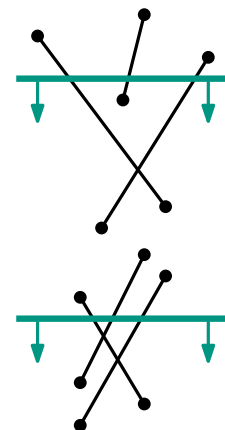
Welche Datenstrukturen?

- Sweep-Line Status: einfügen, löschen, Vorgänger, Nachfolger
 - Suchbaum: $O(\log n)$ (z.B. (a, b) -Baum, rot-schwarz Baum)

Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form
- Event-Handler
 - Streckenstart: Schnitttest nur mit benachbarten
 - Streckenstart: Sortierung erhalten beim Einfügen
 - Streckenende: Schnitttest für neu benachbarten
 - Schnittpunkt: Reihenfolge der schneidenden Strecken ändern und Schnitttest für neu benachbarte
 - Schnittpunkt gefunden: Schnittpunkt in Event-Queue einfügen



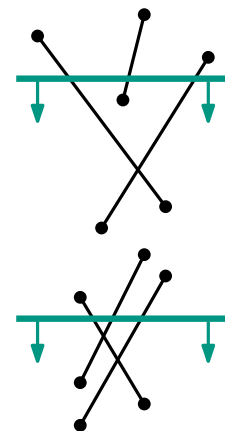
Welche Datenstrukturen?

- Sweep-Line Status: einfügen, löschen, Vorgänger, Nachfolger
 - Suchbaum: $O(\log n)$ (z.B. (a, b) -Baum, rot-schwarz Baum)
- Event-Queue: einfügen, Minimum finden/entfernen, suchen

Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form
- Event-Handler
 - Streckenstart: Schnitttest nur mit benachbarten
 - Streckenstart: Sortierung erhalten beim Einfügen
 - Streckenende: Schnitttest für neu benachbarten
 - Schnittpunkt: Reihenfolge der schneidenden Strecken ändern und Schnitttest für neu benachbarte
 - Schnittpunkt gefunden: Schnittpunkt in Event-Queue einfügen



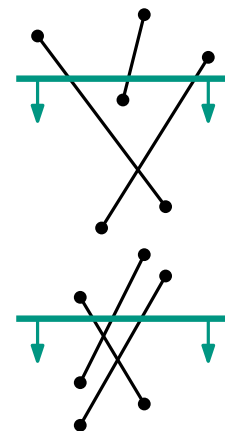
Welche Datenstrukturen?

- Sweep-Line Status: einfügen, löschen, Vorgänger, Nachfolger
 - Suchbaum: $O(\log n)$ (z.B. (a, b) -Baum, rot-schwarz Baum)
- Event-Queue: einfügen, Minimum finden/entfernen, suchen
 - Suchbaum: $O(\log n)$

Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form
- Event-Handler
 - Streckenstart: Schnitttest nur mit benachbarten
 - Streckenstart: Sortierung erhalten beim Einfügen
 - Streckenende: Schnitttest für neu benachbarten
 - Schnittpunkt: Reihenfolge der schneidenden Strecken ändern und Schnitttest für neu benachbarte
 - Schnittpunkt gefunden: Schnittpunkt in Event-Queue einfügen



Welche Datenstrukturen?

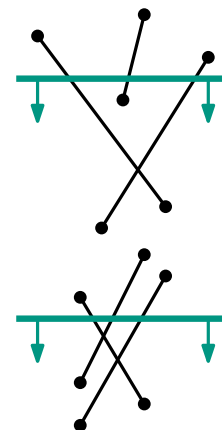
- Sweep-Line Status: einfügen, löschen, Vorgänger, Nachfolger
 - Suchbaum: $O(\log n)$ (z.B. (a, b) -Baum, rot-schwarz Baum)
- Event-Queue: einfügen, Minimum finden/entfernen, suchen
 - Suchbaum: $O(\log n)$

Warum kein Heap?
(Fibonacci-/Hollow-Heap)

Vergleich benachbarter Strecken

Was ändert sich?

- Sweep-Line Status: von ℓ geschnittene Strecken in sortierter Form
- Event-Handler
 - Streckenstart: Schnittpunkt nur mit benachbarten
 - Streckenstart: Sortierung erhalten beim Einfügen
 - Streckenende: Schnittpunkt für neu benachbarten
 - Schnittpunkt: Reihenfolge der schneidenden Strecken ändern und Schnittpunkt für neu benachbarte
 - Schnittpunkt gefunden: Schnittpunkt in Event-Queue einfügen



Welche Datenstrukturen?

- Sweep-Line Status: einfügen, löschen, Vorgänger, Nachfolger
 - Suchbaum: $O(\log n)$ (z.B. (a, b) -Baum, rot-schwarz Baum)
- Event-Queue: einfügen, Minimum finden/entfernen, suchen
 - Suchbaum: $O(\log n)$

Warum kein Heap?
(Fibonacci-/Hollow-Heap)

Warum brauchen wir „suchen“ für die Queue?

Verbesserter Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten
(mit den dazugehörigen Strecken)

```

Q = leere Queue           // Event-Queue
für  $p, q \in S$ 
  Q = Q +  $p + q$ 
T = Suchbaum           // Status
solange  $Q \neq \emptyset$ 
   $p = \min\{Q\}$  und  $Q = Q - p$ 
  BEHANDLEEVENT( $p$ )    // Event-Handler
  
```

Verbesserter Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten
(mit den dazugehörigen Strecken)

```

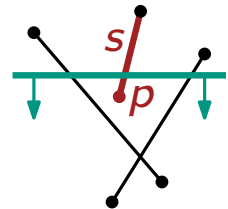
Q = leere Queue           // Event-Queue
für  $p, q \in S$ 
   $Q = Q + p + q$ 
T = Suchbaum             // Status
solange  $Q \neq \emptyset$ 
   $p = \min\{Q\}$  und  $Q = Q - p$ 
  BEHANDLEEVENT( $p$ )    // Event-Handler
  
```

BEHANDLEEVENT(p)

wenn p ist Endpunkt einer Strecke

$s =$ Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in T$ // Streckenende



Verbesserter Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten
(mit den dazugehörigen Strecken)

```

Q = leere Queue           // Event-Queue
für pq ∈ S
  Q = Q + p + q           // Status
T = Suchbaum
solange Q ≠ ∅
  p = min{Q} und Q = Q - p
  BEHANDLEVENT(p)       // Event-Handler

```

BEHANDLEVENT(p)

wenn p ist Endpunkt einer Strecke

$s =$ Strecke mit Endpunkt p

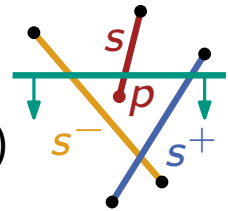
wenn $s \in T$ // Streckenende

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

$T = T - s$



Verbesserter Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten
(mit den dazugehörigen Strecken)

```

Q = leere Queue // Event-Queue
für pq ∈ S
  Q = Q + p + q
T = Suchbaum // Status
solange Q ≠ ∅
  p = min{Q} und Q = Q - p
  BEHANDLEVENT(p) // Event-Handler
  
```

BEHANDLEVENT(p)

wenn p ist Endpunkt einer Strecke

$s =$ Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in T$ // Streckenende

$s^- =$ Vorgänger von s in T

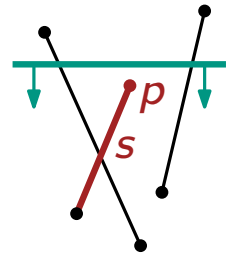
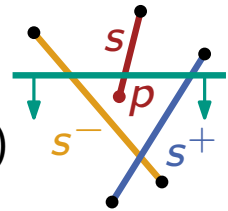
$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

$T = T - s$

sonst

// Streckenstart



Verbesserter Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten
(mit den dazugehörigen Strecken)

```

Q = leere Queue           // Event-Queue
für pq ∈ S
  Q = Q + p + q           // Status
  T = Suchbaum
  solange Q ≠ ∅
    p = min{Q} und Q = Q - p
    BEHANDLEEVENT(p)     // Event-Handler
  
```

BEHANDLEVENT(p)

wenn p ist Endpunkt einer Strecke

$s =$ Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in T$ // Streckenende

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

$T = T - s$

sonst // Streckenstart

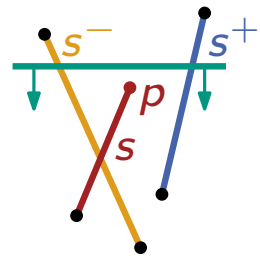
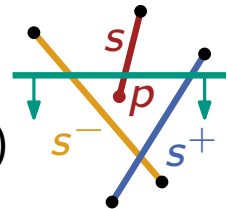
$T = T + s$

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s, p)

FINDENEUESEVENT(s^+, s, p)



Verbesserter Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkten
(mit den dazugehörigen Strecken)

```

Q = leere Queue           // Event-Queue
für pq ∈ S
  Q = Q + p + q           // Status
T = Suchbaum
solange Q ≠ ∅
  p = min{Q} und Q = Q - p
  BEHANDLEEVENT(p)      // Event-Handler
  
```

BEHANDLEVENT(p)

wenn p ist Endpunkt einer Strecke

$s =$ Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in T$ // Streckenende

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

$T = T - s$

sonst // Streckenstart

$T = T + s$

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

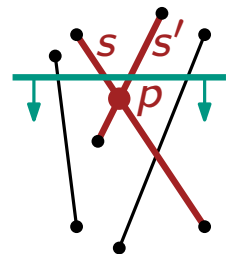
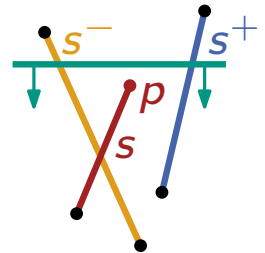
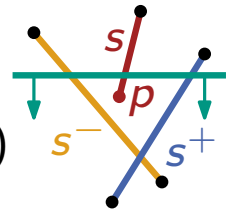
FINDENEUESEVENT(s^-, s, p)

FINDENEUESEVENT(s^+, s, p)

sonst // Schnittpunkt

$s, s' =$ Strecken mit Schnitt p ($s < s'$ in T)

gib (p, s, s') aus



Verbesserter Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkte
(mit den dazugehörigen Strecken)

```

Q = leere Queue           // Event-Queue
für pq ∈ S
  Q = Q + p + q           // Status
  T = Suchbaum
solange Q ≠ ∅
  p = min{Q} und Q = Q - p
  BEHANDLEVENT(p)       // Event-Handler
  
```

BEHANDLEVENT(p)

wenn p ist Endpunkt einer Strecke

$s =$ Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in T$ // Streckenende

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

$T = T - s$

sonst // Streckenstart

$T = T + s$

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s, p)

FINDENEUESEVENT(s^+, s, p)

sonst // Schnittpunkt

$s, s' =$ Strecken mit Schnitt p ($s < s'$ in T)

gib (p, s, s') **aus**

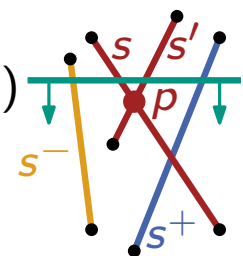
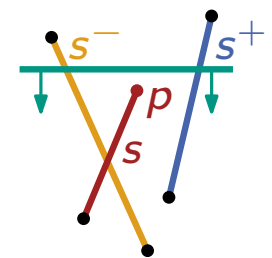
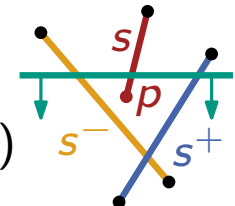
vertausche s und s' in T ($s' < s$)

$s^- =$ Vorgänger von s' in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s', p)

FINDENEUESEVENT(s^+, s, p)



Verbesserter Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkte
(mit den dazugehörigen Strecken)

```

Q = leere Queue           // Event-Queue
für pq ∈ S
  Q = Q + p + q
T = Suchbaum              // Status
solange Q ≠ ∅
  p = min{Q} und Q = Q - p
  BEHANDLEVENT(p)        // Event-Handler
  
```

```

FINDENEUESEVENT( $s^-, s^+, p$ )
  q =  $s^- \cap s^+$            // Schnittpunkt
  
```

BEHANDLEVENT(p)

wenn p ist Endpunkt einer Strecke

$s =$ Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in T$ // Streckenende

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

$T = T - s$

sonst // Streckenstart

$T = T + s$

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s, p)

FINDENEUESEVENT(s^+, s, p)

sonst // Schnittpunkt

$s, s' =$ Strecken mit Schnitt p ($s < s'$ in T)

gib (p, s, s') **aus**

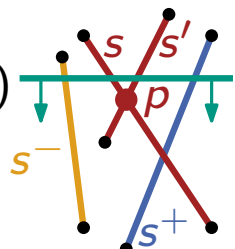
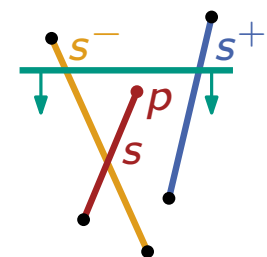
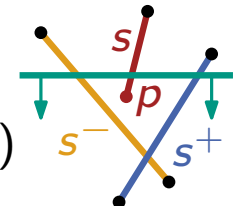
vertausche s und s' in T ($s' < s$)

$s^- =$ Vorgänger von s' in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s', p)

FINDENEUESEVENT(s^+, s, p)



Verbesserter Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkte
(mit den dazugehörigen Strecken)

```

Q = leere Queue           // Event-Queue
für pq ∈ S
  Q = Q + p + q
T = Suchbaum              // Status
solange Q ≠ ∅
  p = min{Q} und Q = Q - p
  BEHANDLEVENT(p)       // Event-Handler
  
```

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

```

q = s^- ∩ s^+           // Schnittpunkt
wenn q ≠ ∅ und p_y < q_y // nach der
  // aktuellen
  wenn q ∉ Q             // Position der
    Q = Q + q           // Sweep-Line
  
```

BEHANDLEVENT(p)

wenn p ist Endpunkt einer Strecke

$s =$ Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in T$ // Streckenende

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

$T = T - s$

sonst // Streckenstart

$T = T + s$

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s, p)

FINDENEUESEVENT(s^+, s, p)

sonst // Schnittpunkt

$s, s' =$ Strecken mit Schnitt p ($s < s'$ in T)

gib (p, s, s') **aus**

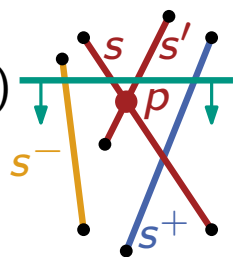
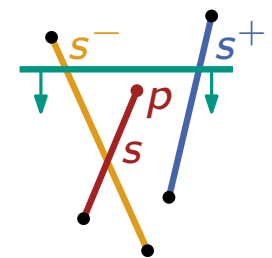
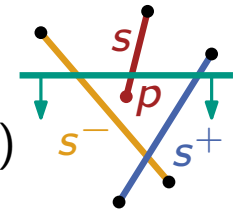
vertausche s und s' in T ($s' < s$)

$s^- =$ Vorgänger von s' in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s', p)

FINDENEUESEVENT(s^+, s, p)



Verbesserter Sweep-Line Algorithmus

Algorithmus FINDESCHNITTPUNKTE(S)

Eingabe. Streckenmenge S

Ausgabe. alle Schnittpunkte
(mit den dazugehörigen Strecken)

```

Q = leere Queue           // Event-Queue
für pq ∈ S
  Q = Q + p + q
T = Suchbaum              // Status
solange Q ≠ ∅
  p = min{Q} und Q = Q - p
  BEHANDLEEVENT(p)      // Event-Handler
  
```

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

```

q = s- ∩ s+           // Schnittpunkt
wenn q ≠ ∅ und py < qy // nach der
  // aktuellen
  wenn q ∉ Q           // Position der
    Q = Q + q         // Sweep-Line
  
```

Laufzeit?

BEHANDLEEVENT(p)

wenn p ist Endpunkt einer Strecke

$s =$ Strecke mit Endpunkt p

wenn $s \in T$ // Streckenende

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

$T = T - s$

sonst // Streckenstart

$T = T + s$

$s^- =$ Vorgänger von s in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s, p)

FINDENEUESEVENT(s^+, s, p)

sonst // Schnittpunkt

$s, s' =$ Strecken mit Schnitt p ($s < s'$ in T)

gib (p, s, s') **aus**

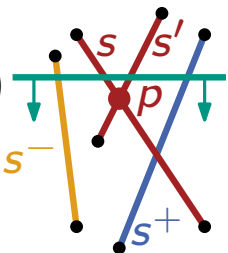
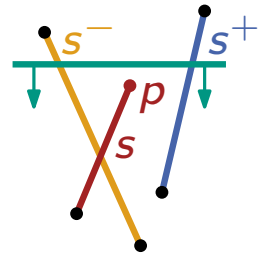
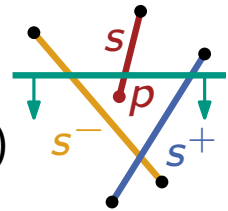
vertausche s und s' in T ($s' < s$)

$s^- =$ Vorgänger von s' in T

$s^+ =$ Nachfolger von s in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s', p)

FINDENEUESEVENT(s^+, s, p)



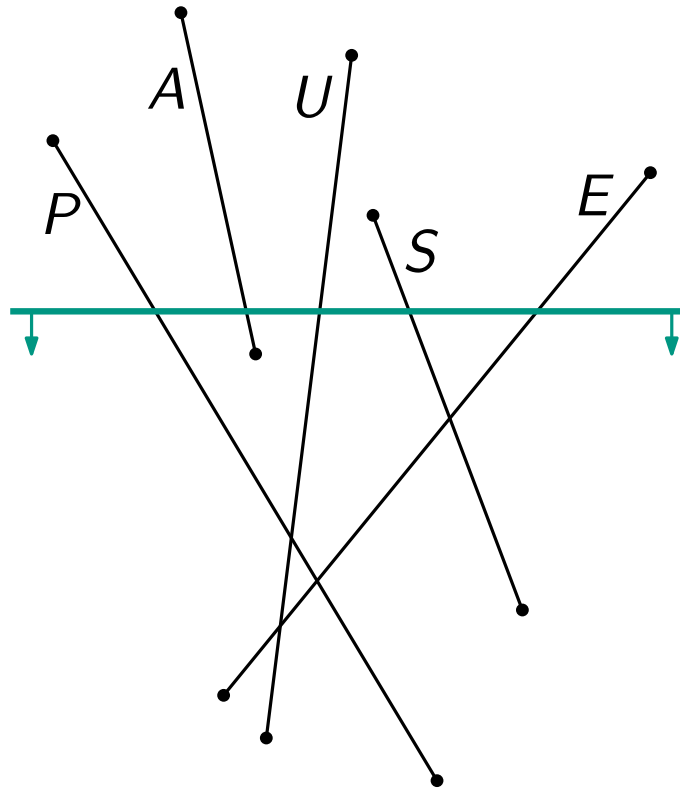
Verbesserter Sweep-Line Algorithmus

Theorem

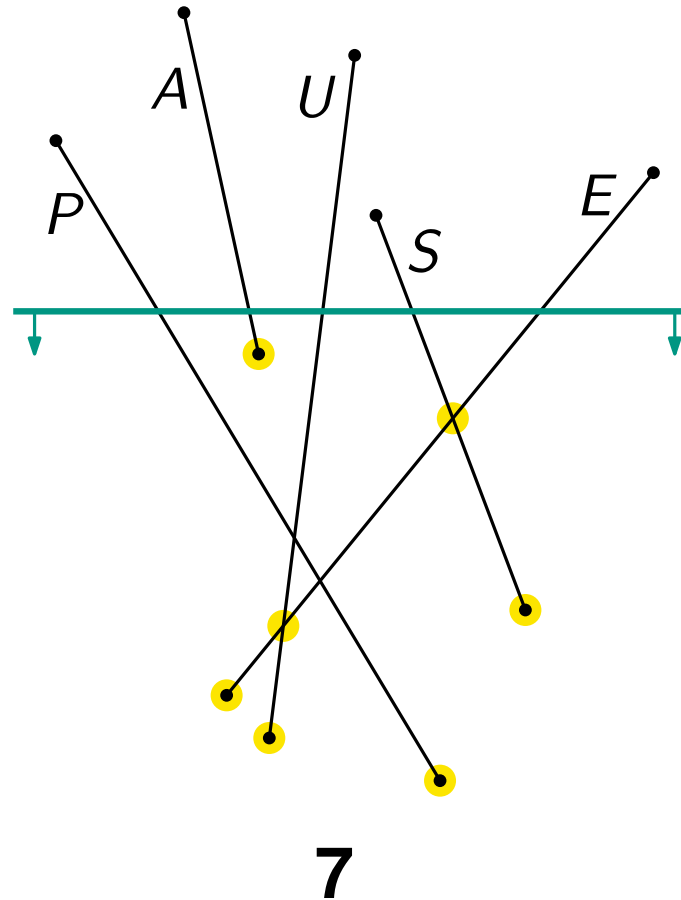
Annahme: allgemeine Lage

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Wie viele Events enthält die Event-Queue aktuell?



Wie viele Events enthält die Event-Queue aktuell?



Theorem

Annahme: allgemeine Lage

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Robustheit

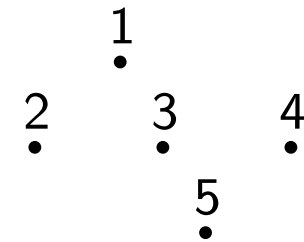
Theorem

Annahme: allgemeine Lage

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Problem: Eventpunkte mit gleicher y -Koordinate

- sortiere Eventpunkte lexikografisch nach y, x
- äquivalent zu einer leichten Rotation (im Uhrzeigersinn)



Robustheit

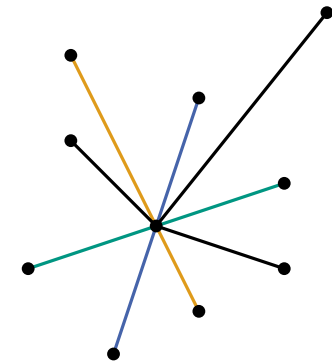
Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Annahme: allgemeine Lage

Problem: mehrere Ereignisse an einem Eventpunkt

- drei mögliche Ereignisse pro Eventpunkt
 - Startpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Endpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Schnittpunkt von Strecken



Robustheit

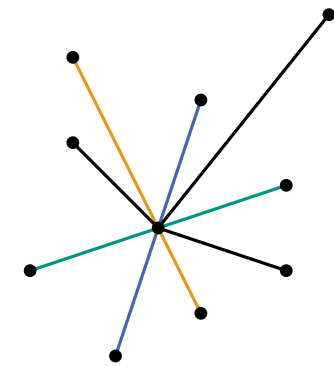
Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Annahme: allgemeine Lage

Problem: mehrere Ereignisse an einem Eventpunkt

- drei mögliche Ereignisse pro Eventpunkt
 - Startpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Endpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Schnittpunkt von Strecken
- Plan: behandle alle Ereignisse an einem Eventpunkt gemeinsam



Robustheit

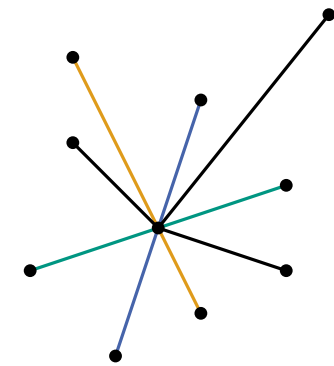
Theorem

Annahme: allgemeine Lage

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Problem: mehrere Ereignisse an einem Eventpunkt

- drei mögliche Ereignisse pro Eventpunkt
 - Startpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Endpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Schnittpunkt von Strecken
- Plan: behandle alle Ereignisse an einem Eventpunkt gemeinsam
- Strecken, die bei p starten/enden/schneiden: $\text{start}(p)/\text{end}(p)/\text{schnitt}(p)$



Robustheit

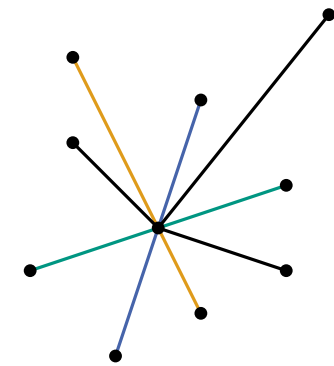
Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Annahme: allgemeine Lage

Problem: mehrere Ereignisse an einem Eventpunkt

- drei mögliche Ereignisse pro Eventpunkt
 - Startpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Endpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Schnittpunkt von Strecken
- Plan: behandle alle Ereignisse an einem Eventpunkt gemeinsam
- Strecken, die bei p starten/enden/schneiden: $\text{start}(p)/\text{end}(p)/\text{schnitt}(p)$
- $\text{start}(p)$ muss explizit bei p gespeichert sein
- $\text{end}(p)$ und $\text{schnitt}(p)$ ergeben sich aus dem Sweep-Line Status T **Wie?**



Robustheit

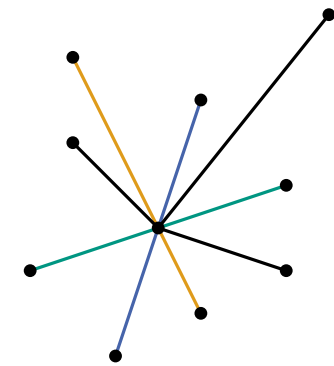
Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Annahme: allgemeine Lage

Problem: mehrere Ereignisse an einem Eventpunkt

- drei mögliche Ereignisse pro Eventpunkt
 - Startpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Endpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Schnittpunkt von Strecken
- Plan: behandle alle Ereignisse an einem Eventpunkt gemeinsam
- Strecken, die bei p starten/enden/schneiden: $\text{start}(p)/\text{end}(p)/\text{schnitt}(p)$
- $\text{start}(p)$ muss explizit bei p gespeichert sein
- $\text{end}(p)$ und $\text{schnitt}(p)$ ergeben sich aus dem Sweep-Line Status T
- Aktualisierung des Sweep-Line Zustands T



Wie?

Robustheit

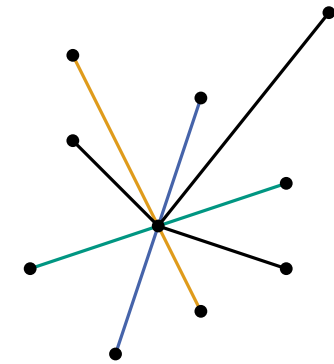
Theorem

Annahme: allgemeine Lage

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Problem: mehrere Ereignisse an einem Eventpunkt

- drei mögliche Ereignisse pro Eventpunkt
 - Startpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Endpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Schnittpunkt von Strecken
- Plan: behandle alle Ereignisse an einem Eventpunkt gemeinsam
- Strecken, die bei p starten/enden/schneiden: $\text{start}(p)/\text{end}(p)/\text{schnitt}(p)$
- $\text{start}(p)$ muss explizit bei p gespeichert sein
- $\text{end}(p)$ und $\text{schnitt}(p)$ ergeben sich aus dem Sweep-Line Status T **Wie?**
- Aktualisierung des Sweep-Line Zustands T
 - lösche $\text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$
 - füge $\text{schnitt}(p) \cup \text{start}(p)$ ein (entsprechend Sortierung kurz nach p)



Robustheit

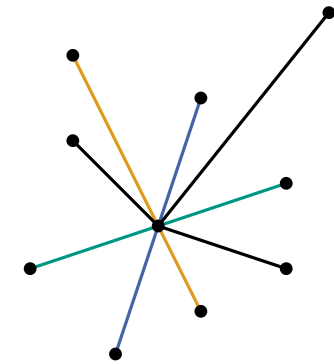
Theorem

Annahme: allgemeine Lage

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Problem: mehrere Ereignisse an einem Eventpunkt

- drei mögliche Ereignisse pro Eventpunkt
 - Startpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Endpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Schnittpunkt von Strecken
- Plan: behandle alle Ereignisse an einem Eventpunkt gemeinsam
- Strecken, die bei p starten/enden/schneiden: $\text{start}(p)/\text{end}(p)/\text{schnitt}(p)$
- $\text{start}(p)$ muss explizit bei p gespeichert sein
- $\text{end}(p)$ und $\text{schnitt}(p)$ ergeben sich aus dem Sweep-Line Status T **Wie?**
- Aktualisierung des Sweep-Line Zustands T
 - lösche $\text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$ **Horizontale Strecken?**
 - füge $\text{schnitt}(p) \cup \text{start}(p)$ ein (entsprechend Sortierung kurz nach p)



Robustheit

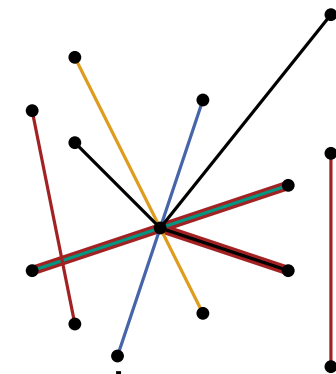
Theorem

Annahme: allgemeine Lage

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Problem: mehrere Ereignisse an einem Eventpunkt

- drei mögliche Ereignisse pro Eventpunkt
 - Startpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Endpunkt einer (oder mehrerer) Strecke
 - Schnittpunkt von Strecken
- Plan: behandle alle Ereignisse an einem Eventpunkt gemeinsam
- Strecken, die bei p starten/enden/schneiden: $\text{start}(p)/\text{end}(p)/\text{schnitt}(p)$
- $\text{start}(p)$ muss explizit bei p gespeichert sein
- $\text{end}(p)$ und $\text{schnitt}(p)$ ergeben sich aus dem Sweep-Line Status T **Wie?**
- Aktualisierung des Sweep-Line Zustands T
 - lösche $\text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$ **Horizontale Strecken?**
 - füge $\text{schnitt}(p) \cup \text{start}(p)$ ein (entsprechend Sortierung kurz nach p)
- behandle hinterher neu benachbarte Kanten



Robuster Sweep-Line Algorithmus

BEHANDLEVENT(p)

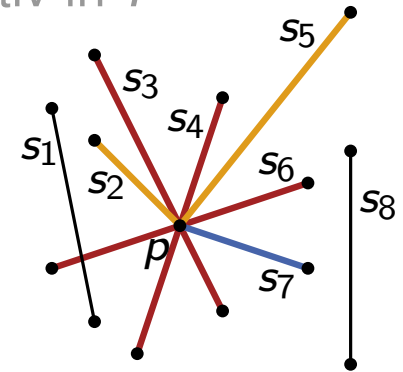
$\text{start}(p)$ = Strecken die bei p starten

// mit p in Q gespeichert

$\text{end}(p)$, $\text{schnitt}(p)$ = Strecken, die bei p enden/sich schneiden // konsequent in T

wenn $|\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)| > 1$

gib p (mit $\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$) aus



Robuster Sweep-Line Algorithmus

BEHANDLEVENT(p)

$\text{start}(p)$ = Strecken die bei p starten

// mit p in Q gespeichert

$\text{end}(p)$, $\text{schnitt}(p)$ = Strecken, die bei p enden/sich schneiden // konsequentiv in T

wenn $|\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)| > 1$

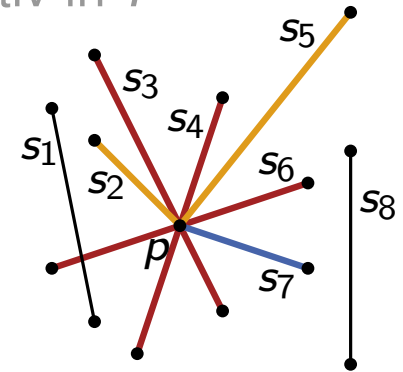
gib p (mit $\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$) **aus**

 lösche $\text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$ aus T

 füge $\text{schnitt}(p) \cup \text{start}(p)$ in T ein

$T: s_1 s_2 s_3 s_4 s_5 s_6 s_8 \rightarrow s_1 s_8$

$T: s_1 s_8 \rightarrow s_1 s_6 s_4 s_3 s_7 s_8$



Robuster Sweep-Line Algorithmus

BEHANDLEVENT(p)

$\text{start}(p)$ = Strecken die bei p starten

// mit p in Q gespeichert

$\text{end}(p)$, $\text{schnitt}(p)$ = Strecken, die bei p enden/sich schneiden // konsequent in T

wenn $|\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)| > 1$

gib p (mit $\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$) aus

lösche $\text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$ aus T

füge $\text{schnitt}(p) \cup \text{start}(p)$ in T ein

wenn $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p) = \emptyset$

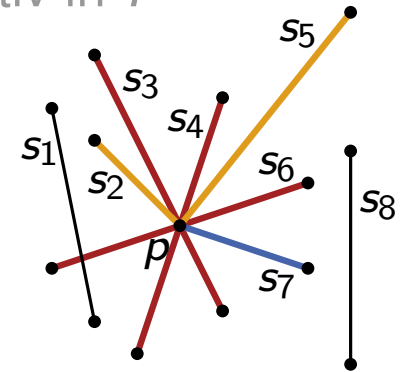
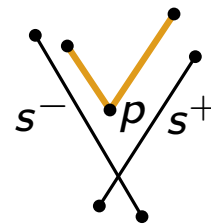
s^- = Vorgänger von p in T

s^+ = Nachfolger von p in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

$T: s_1 s_2 s_3 s_4 s_5 s_6 s_8 \rightarrow s_1 s_8$

$T: s_1 s_8 \rightarrow s_1 s_6 s_4 s_3 s_7 s_8$



Robuster Sweep-Line Algorithmus

BEHANDLEVENT(p)

$\text{start}(p)$ = Strecken die bei p starten

// mit p in Q gespeichert

$\text{end}(p)$, $\text{schnitt}(p)$ = Strecken, die bei p enden/sich schneiden // konsequentiv in T

wenn $|\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)| > 1$

gib p (mit $\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$) **aus**

lösche $\text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$ aus T

füge $\text{schnitt}(p) \cup \text{start}(p)$ in T ein

wenn $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p) = \emptyset$

s^- = Vorgänger von p in T

s^+ = Nachfolger von p in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

else

s^- = linkeste Strecke in $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p)$

s^+ = rechteste Strecke in $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p)$

\hat{s}^- = Vorgänger von s^- in T

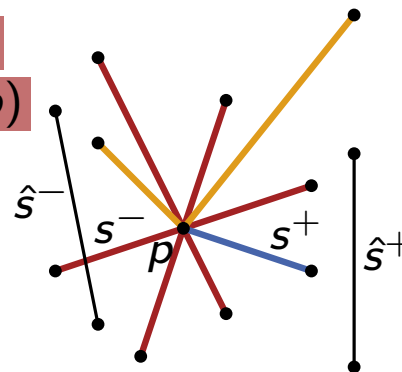
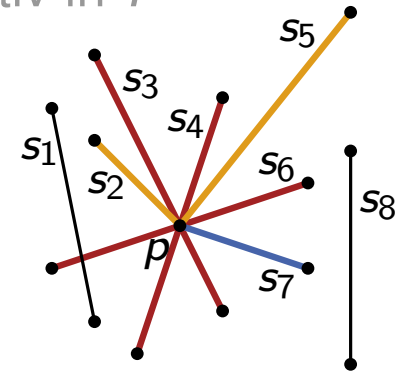
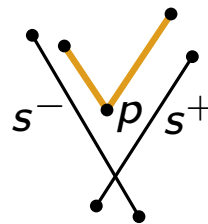
\hat{s}^+ = Nachfolger von s^+ in T

FINDENEUESEVENT(s^-, \hat{s}^-, p)

FINDENEUESEVENT(s^+, \hat{s}^+, p)

$T: s_1 s_2 s_3 s_4 s_5 s_6 s_8 \rightarrow s_1 s_8$

$T: s_1 s_8 \rightarrow s_1 s_6 s_4 s_3 s_7 s_8$



Robuster Sweep-Line Algorithmus

BEHANDLEVENT(p)

$\text{start}(p)$ = Strecken die bei p starten

// mit p in Q gespeichert

$\text{end}(p)$, $\text{schnitt}(p)$ = Strecken, die bei p enden/sich schneiden // konsequentiv in T

wenn $|\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)| > 1$

gib p (mit $\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$) **aus**

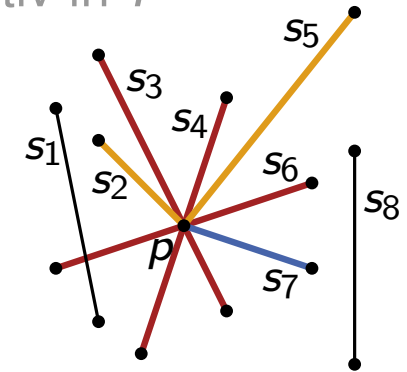
lösche $\text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$ aus T

füge $\text{schnitt}(p) \cup \text{start}(p)$ in T ein

$T: s_1 \text{ } s_2 \text{ } s_3 \text{ } s_4 \text{ } s_5 \text{ } s_6 \text{ } s_8 \rightarrow s_1 \text{ } s_8$

$T: s_1 \text{ } s_8 \rightarrow s_1 \text{ } s_6 \text{ } s_4 \text{ } s_3 \text{ } s_7 \text{ } s_8$

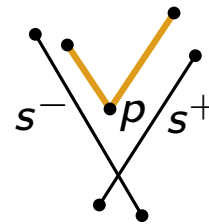
wenn $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p) = \emptyset$



s^- = Vorgänger von p in T

s^+ = Nachfolger von p in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)



Wie kann man das mit dem Suchbaum T genau umsetzen?

else

s^- = linkeste Strecke in $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p)$

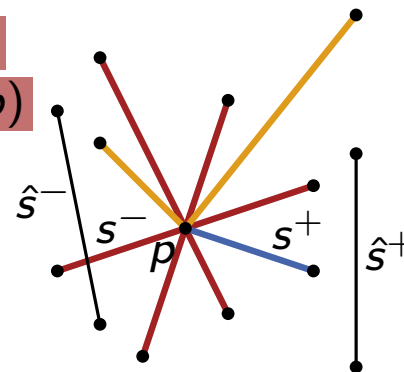
s^+ = rechteste Strecke in $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p)$

\hat{s}^- = Vorgänger von s^- in T

\hat{s}^+ = Nachfolger von s^+ in T

FINDENEUESEVENT(s^-, \hat{s}^-, p)

FINDENEUESEVENT(s^+, \hat{s}^+, p)



Robuster Sweep-Line Algorithmus

BEHANDLEVENT(p)

$\text{start}(p)$ = Strecken die bei p starten

// mit p in Q gespeichert

$\text{end}(p)$, $\text{schnitt}(p)$ = Strecken, die bei p enden/sich schneiden // konsequentiv in T

wenn $|\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)| > 1$

gib p (mit $\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$) aus

lösche $\text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$ aus T

füge $\text{schnitt}(p) \cup \text{start}(p)$ in T ein

wenn $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p) = \emptyset$

s^- = Vorgänger von p in T

s^+ = Nachfolger von p in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

else

s^- = linkeste Strecke in $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p)$

s^+ = rechteste Strecke in $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p)$

\hat{s}^- = Vorgänger von s^- in T

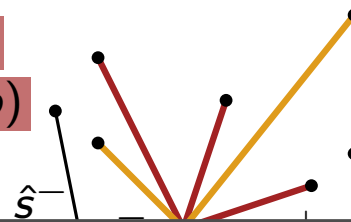
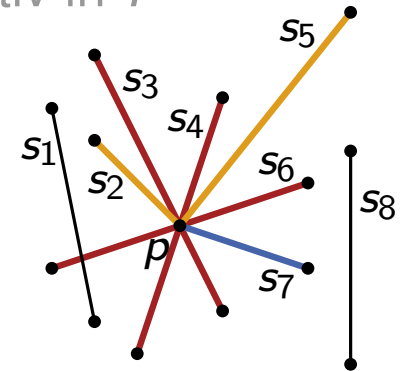
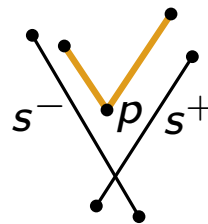
\hat{s}^+ = Nachfolger von s^+ in T

FINDENEUESEVENT(s^-, \hat{s}^-)

FINDENEUESEVENT(s^+, \hat{s}^+)

$T: s_1 s_2 s_3 s_4 s_5 s_6 s_8 \rightarrow s_1 s_8$

$T: s_1 s_8 \rightarrow s_1 s_6 s_4 s_3 s_7 s_8$



Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Robuster Sweep-Line Algorithmus

BEHANDLEVENT(p)

$\text{start}(p)$ = Strecken die bei p starten

// mit p in Q gespeichert

$\text{end}(p)$, $\text{schnitt}(p)$ = Strecken, die bei p enden/sich schneiden // konsequentiv in T

wenn $|\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)| > 1$

gib p (mit $\text{start}(p) \cup \text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$) **aus**

lösche $\text{end}(p) \cup \text{schnitt}(p)$ aus T

füge $\text{schnitt}(p) \cup \text{start}(p)$ in T ein

wenn $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p) = \emptyset$

s^- = Vorgänger von p in T

s^+ = Nachfolger von p in T

FINDENEUESEVENT(s^-, s^+, p)

else

s^- = linkeste Strecke in $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p)$

s^+ = rechteste Strecke in $\text{start}(p) \cup \text{schnitt}(p)$

\hat{s}^- = Vorgänger von s^- in T

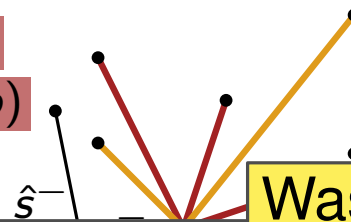
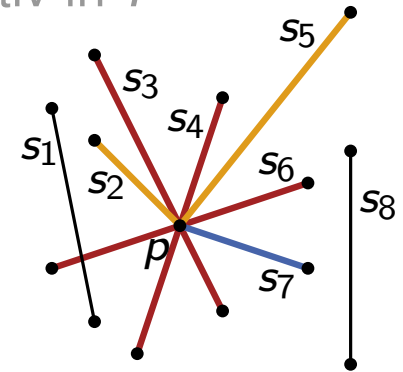
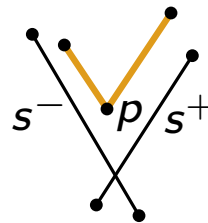
\hat{s}^+ = Nachfolger von s^+ in T

FINDENEUESEVENT(s^-, \hat{s}^-)

FINDENEUESEVENT(s^+, \hat{s}^+)

$T: s_1 s_2 s_3 s_4 s_5 s_6 s_8 \rightarrow s_1 s_8$

$T: s_1 s_8 \rightarrow s_1 s_6 s_4 s_3 s_7 s_8$



Was ist noch zu zeigen?

Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Laufzeitanalyse

Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Beweis (Laufzeit)

- Initialisierung: füge $2n$ Eventpunkte in die Queue ein $O(n \log n)$

Laufzeitanalyse

Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Beweis (Laufzeit)

- Initialisierung: füge $2n$ Eventpunkte in die Queue ein $O(n \log n)$
- Queue-Operationen bei einem Eventpunkt

Laufzeitanalyse

Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Beweis (Laufzeit)

- Initialisierung: füge $2n$ Eventpunkte in die Queue ein $O(n \log n)$
- Queue-Operationen bei einem Eventpunkt
 - Minimum in der Queue finden und entfernen $O(\log n)$
 - bis zu zwei Einfügeoperationen (in FINDENEUESEVENT) $O(\log n)$

Laufzeitanalyse

Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Beweis (Laufzeit)

- Initialisierung: füge $2n$ Eventpunkte in die Queue ein $O(n \log n)$
- Queue-Operationen bei einem Eventpunkt $O((n + k) \log n)$
 - Minimum in der Queue finden und entfernen $O(\log n)$
 - bis zu zwei Einfügeoperationen (in FINDENEUESEVENT) $O(\log n)$

Laufzeitanalyse

Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Beweis (Laufzeit)

- Initialisierung: füge $2n$ Eventpunkte in die Queue ein $O(n \log n)$
- Queue-Operationen bei einem Eventpunkt $O((n + k) \log n)$
 - Minimum in der Queue finden und entfernen $O(\log n)$
 - bis zu zwei Einfügeoperationen (in FINDNEUESEVENT) $O(\log n)$
- Operationen auf dem Sweep-Line Status bei einem Eventpunkt p

Laufzeitanalyse

Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Beweis (Laufzeit)

- Initialisierung: füge $2n$ Eventpunkte in die Queue ein $O(n \log n)$
- Queue-Operationen bei einem Eventpunkt $O((n + k) \log n)$
 - Minimum in der Queue finden und entfernen $O(\log n)$
 - bis zu zwei Einfügeoperationen (in FINDNEUESEVENT) $O(\log n)$
- Operationen auf dem Sweep-Line Status bei einem Eventpunkt p
 - hängt von der Anzahl schneidender Strecken $m(p)$ ab

Laufzeitanalyse

Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Beweis (Laufzeit)

- Initialisierung: füge $2n$ Eventpunkte in die Queue ein $O(n \log n)$
- Queue-Operationen bei einem Eventpunkt $O((n + k) \log n)$
 - Minimum in der Queue finden und entfernen $O(\log n)$
 - bis zu zwei Einfügeoperationen (in FINDENEUESEVENT) $O(\log n)$
- Operationen auf dem Sweep-Line Status bei einem Eventpunkt p
 - hängt von der Anzahl schneidender Strecken $m(p)$ ab
 - insgesamt $O(m(p))$ Operationen $O(m(p) \log n)$

Laufzeitanalyse

Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Beweis (Laufzeit)

- Initialisierung: füge $2n$ Eventpunkte in die Queue ein $O(n \log n)$
- Queue-Operationen bei einem Eventpunkt $O((n + k) \log n)$
 - Minimum in der Queue finden und entfernen $O(\log n)$
 - bis zu zwei Einfügeoperationen (in FINDENEUESEVENT) $O(\log n)$
- Operationen auf dem Sweep-Line Status bei einem Eventpunkt p
 - hängt von der Anzahl schneidender Strecken $m(p)$ ab
 - insgesamt $O(m(p))$ Operationen $O(m(p) \log n)$

Gesamtlaufzeit: $(n + k) \log n + m \log n$ mit $m = \sum_p m(p)$

Laufzeitanalyse

Theorem

Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Beweis (Laufzeit)

- Initialisierung: füge $2n$ Eventpunkte in die Queue ein $O(n \log n)$
- Queue-Operationen bei einem Eventpunkt $O((n + k) \log n)$
 - Minimum in der Queue finden und entfernen $O(\log n)$
 - bis zu zwei Einfügeoperationen (in FINDENEUESEVENT) $O(\log n)$
- Operationen auf dem Sweep-Line Status bei einem Eventpunkt p
 - hängt von der Anzahl schneidender Strecken $m(p)$ ab
 - insgesamt $O(m(p))$ Operationen $O(m(p) \log n)$

Gesamtlaufzeit: $(n + k) \log n + m \log n$ mit $m = \sum_p m(p)$ Gilt $m \in O(n + k)$?

Laufzeitanalyse

Theorem

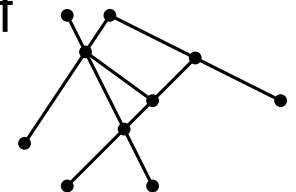
Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Beweis (Laufzeit)

- Initialisierung: füge $2n$ Eventpunkte in die Queue ein $O(n \log n)$
- Queue-Operationen bei einem Eventpunkt $O((n + k) \log n)$
 - Minimum in der Queue finden und entfernen $O(\log n)$
 - bis zu zwei Einfügeoperationen (in FINDENEUESEVENT) $O(\log n)$
- Operationen auf dem Sweep-Line Status bei einem Eventpunkt p
 - hängt von der Anzahl schneidender Strecken $m(p)$ ab
 - insgesamt $O(m(p))$ Operationen $O(m(p) \log n)$

Gesamtlaufzeit: $(n + k) \log n + m \log n$ mit $m = \sum_p m(p)$ **Gilt $m \in O(n + k)$?**

- fasse Strecken-Arrangement als planarer Graph $G = (V, E)$ auf



Laufzeitanalyse

Theorem

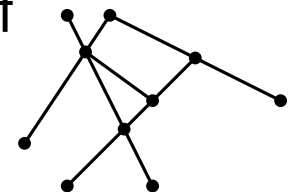
Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Beweis (Laufzeit)

- Initialisierung: füge $2n$ Eventpunkte in die Queue ein $O(n \log n)$
- Queue-Operationen bei einem Eventpunkt $O((n + k) \log n)$
 - Minimum in der Queue finden und entfernen $O(\log n)$
 - bis zu zwei Einfügeoperationen (in FINDENEUESEVENT) $O(\log n)$
- Operationen auf dem Sweep-Line Status bei einem Eventpunkt p
 - hängt von der Anzahl schneidender Strecken $m(p)$ ab
 - insgesamt $O(m(p))$ Operationen $O(m(p) \log n)$

Gesamtlaufzeit: $(n + k) \log n + m \log n$ mit $m = \sum_p m(p)$ Gilt $m \in O(n + k)$?

- fasse Strecken-Arrangement als planarer Graph $G = (V, E)$ auf
- $|V| \leq 2n + k$ und $2|E| = m$



Laufzeitanalyse

Theorem

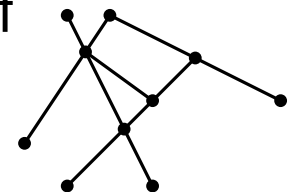
Die k Schnittpunkte von n Strecken sowie die sich schneidenden Streckenpaaren können in $O((n + k) \log n)$ berechnet werden.

Beweis (Laufzeit)

- Initialisierung: füge $2n$ Eventpunkte in die Queue ein $O(n \log n)$
- Queue-Operationen bei einem Eventpunkt $O((n + k) \log n)$
 - Minimum in der Queue finden und entfernen $O(\log n)$
 - bis zu zwei Einfügeoperationen (in FINDENEUESEVENT) $O(\log n)$
- Operationen auf dem Sweep-Line Status bei einem Eventpunkt p
 - hängt von der Anzahl schneidender Strecken $m(p)$ ab
 - insgesamt $O(m(p))$ Operationen $O(m(p) \log n)$

Gesamtlaufzeit: $(n + k) \log n + m \log n$ mit $m = \sum_p m(p)$ **Gilt $m \in O(n + k)$?**

- fasse Strecken-Arrangement als planarer Graph $G = (V, E)$ auf
- $|V| \leq 2n + k$ und $2|E| = m$
- in planaren Graphen gilt: $|E| \leq 3|V| - 6 \Rightarrow m \in O(n + k)$



Speicherverbrauch

Warum interessiert uns das?

Speicherverbrauch

Warum interessiert uns das?

- der Speicherverbrauch ist oft deutlich kritischer als die Laufzeit
- auf einen Algorithmus mit Laufzeit $O(n^2)$ kann man warten
- $O(n^2)$ Speicherverbrauch ist oft nicht praktikabel

Speicherverbrauch

Warum interessiert uns das?

- der Speicherverbrauch ist oft deutlich kritischer als die Laufzeit
- auf einen Algorithmus mit Laufzeit $O(n^2)$ kann man warten
- $O(n^2)$ Speicherverbrauch ist oft nicht praktikabel

Wie groß ist der Sweep-Line Status?

Speicherverbrauch

Warum interessiert uns das?

- der Speicherverbrauch ist oft deutlich kritischer als die Laufzeit
- auf einen Algorithmus mit Laufzeit $O(n^2)$ kann man warten
- $O(n^2)$ Speicherverbrauch ist oft nicht praktikabel

Wie groß ist der Sweep-Line Status?

- enthält maximal n Strecken $\rightarrow O(n)$

Speicherverbrauch

Warum interessiert uns das?

- der Speicherverbrauch ist oft deutlich kritischer als die Laufzeit
- auf einen Algorithmus mit Laufzeit $O(n^2)$ kann man warten
- $O(n^2)$ Speicherverbrauch ist oft nicht praktikabel

Wie groß ist der Sweep-Line Status?

- enthält maximal n Strecken $\rightarrow O(n)$

Wie groß ist die Event-Queue?

Speicherverbrauch

Warum interessiert uns das?

- der Speicherverbrauch ist oft deutlich kritischer als die Laufzeit
- auf einen Algorithmus mit Laufzeit $O(n^2)$ kann man warten
- $O(n^2)$ Speicherverbrauch ist oft nicht praktikabel

Wie groß ist der Sweep-Line Status?

- enthält maximal n Strecken $\rightarrow O(n)$

Wie groß ist die Event-Queue?

- offensichtliche Schranke: $n + k$
- Schnittpunkte können vor Abarbeitung lange in der Queue sein

Speicherverbrauch

Warum interessiert uns das?

- der Speicherverbrauch ist oft deutlich kritischer als die Laufzeit
- auf einen Algorithmus mit Laufzeit $O(n^2)$ kann man warten
- $O(n^2)$ Speicherverbrauch ist oft nicht praktikabel

Wie groß ist der Sweep-Line Status?

- enthält maximal n Strecken $\rightarrow O(n)$

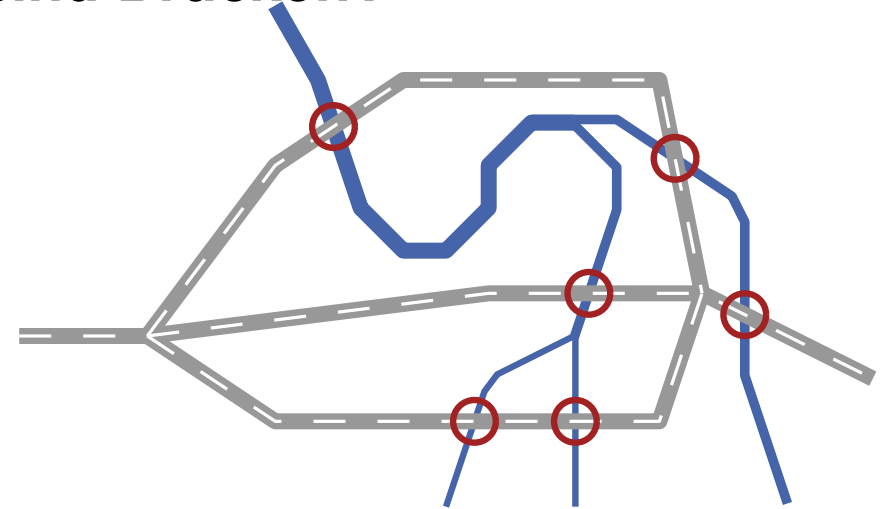
Wie groß ist die Event-Queue?

- offensichtliche Schranke: $n + k$
- Schnittpunkte können vor Abarbeitung lange in der Queue sein
- mögliche Verbesserung: halte nur Schnittpunkte in der Queue, die zu benachbarten Strecken im Sweep-Line Status gehören $\rightarrow O(n)$

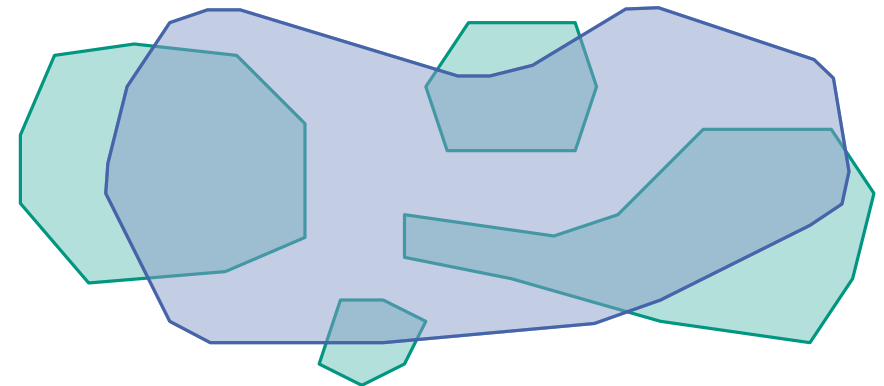
Zurück zum Anfang

Haben wir unser Ziel erreicht?

Wo sind Brücken?



Tannenwälder mit viel Niederschlag

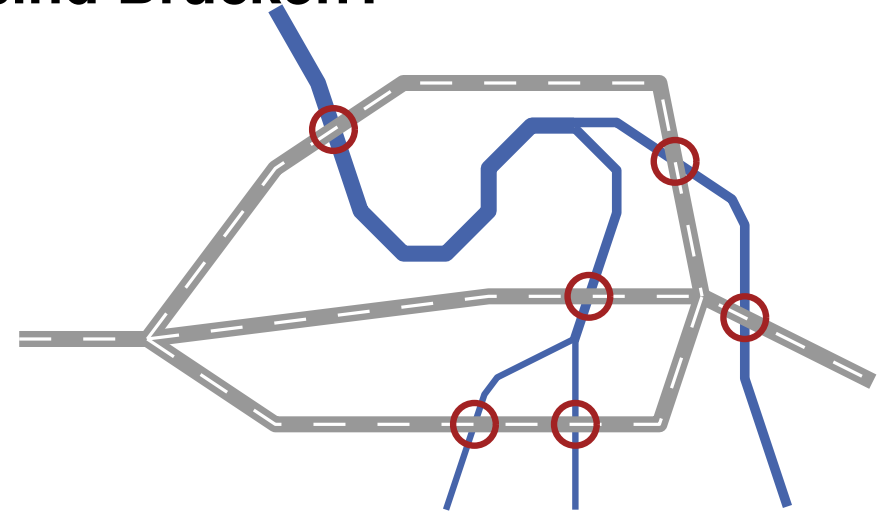


Zurück zum Anfang

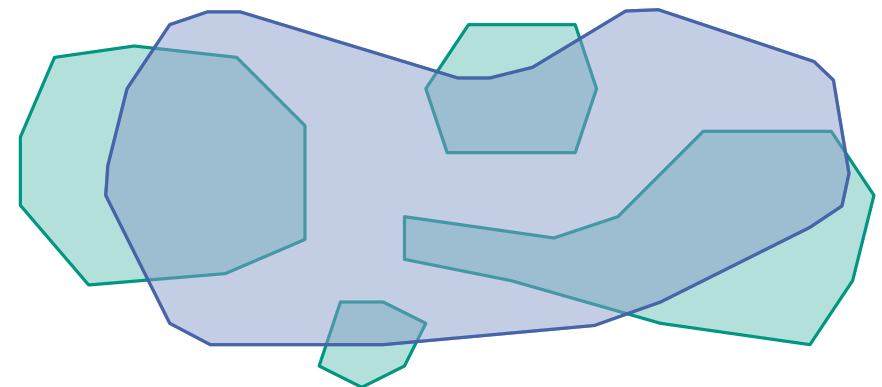
Haben wir unser Ziel erreicht?

- wir können die Brücken finden

Wo sind Brücken?



Tannenwälder mit viel Niederschlag

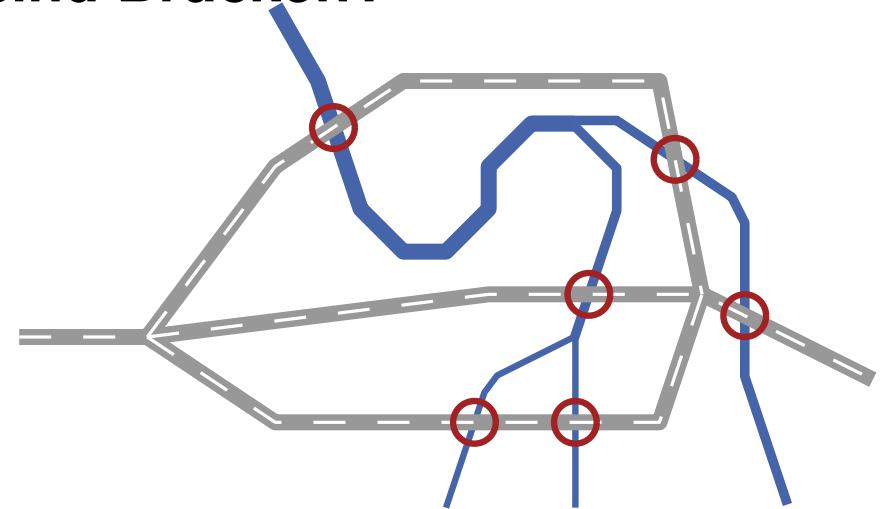


Zurück zum Anfang

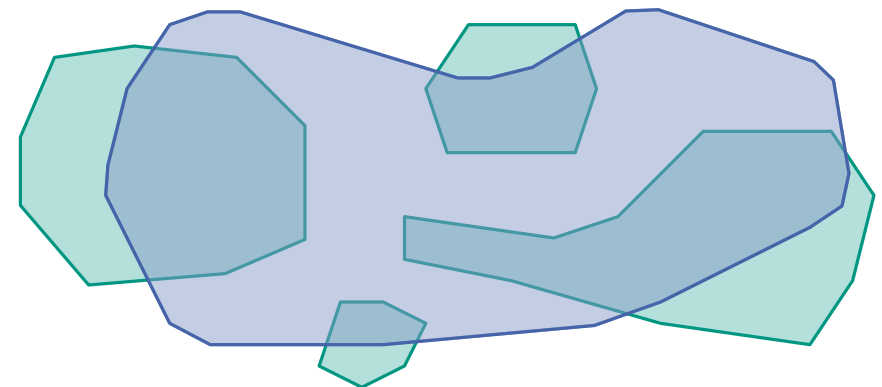
Haben wir unser Ziel erreicht?

- wir können die Brücken finden
- den Schnitt von Polygonen können wir noch nicht berechnen

Wo sind Brücken?



Tannenwälder mit viel Niederschlag



Zurück zum Anfang

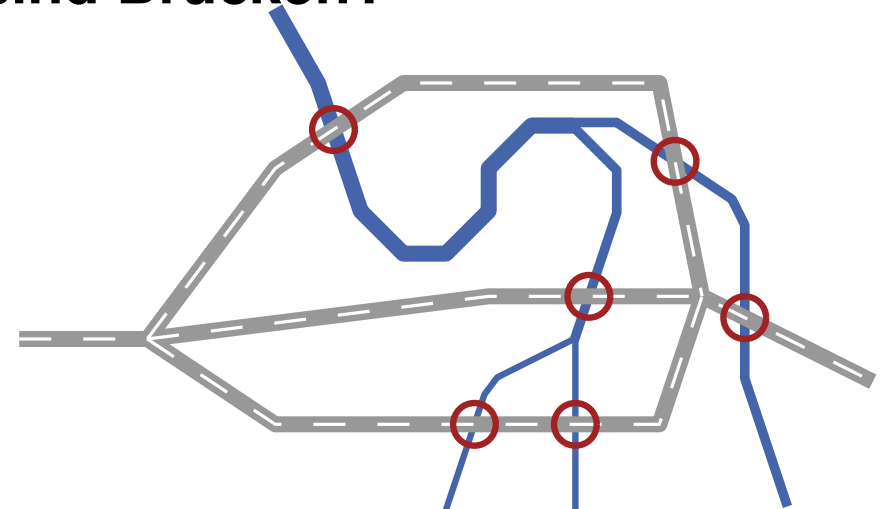
Haben wir unser Ziel erreicht?

- wir können die Brücken finden
- den Schnitt von Polygonen können wir noch nicht berechnen

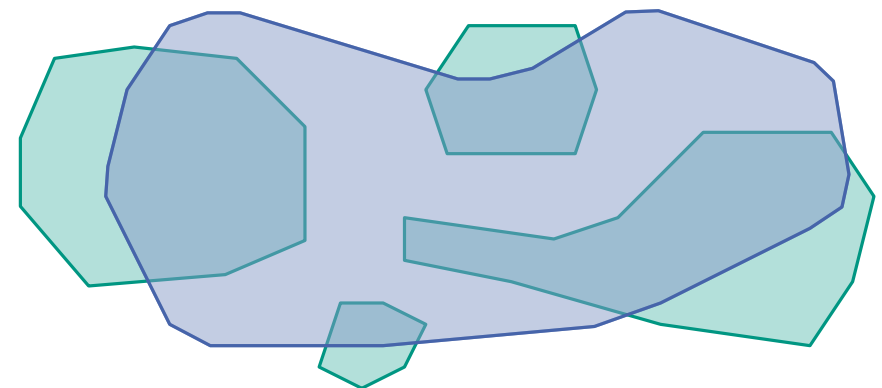
Im Folgenden

- Datenstruktur, die hilft den Schnitt von Polygonen zu berechnen
- Durchführung des Schnitts: Übung

Wo sind Brücken?

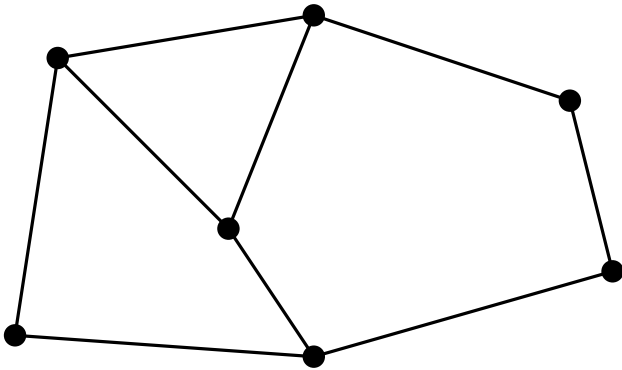


Tannenwälder mit viel Niederschlag



Doppelt-verkettete Kantenliste

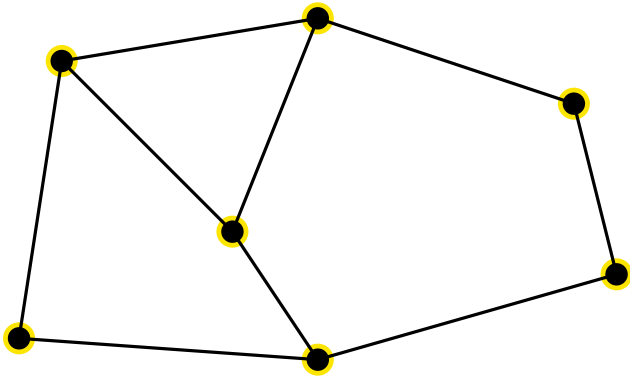
Bestandteile eines geometrischen Graphen



Doppelt-verkettete Kantenliste

Bestandteile eines geometrischen Graphen

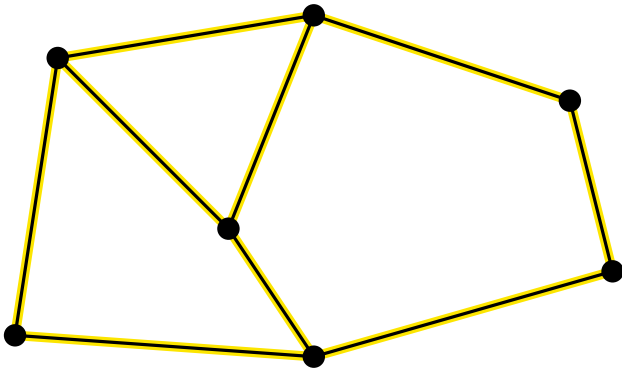
- Knoten mit Koordinaten



Doppelt-verkettete Kantenliste

Bestandteile eines geometrischen Graphen

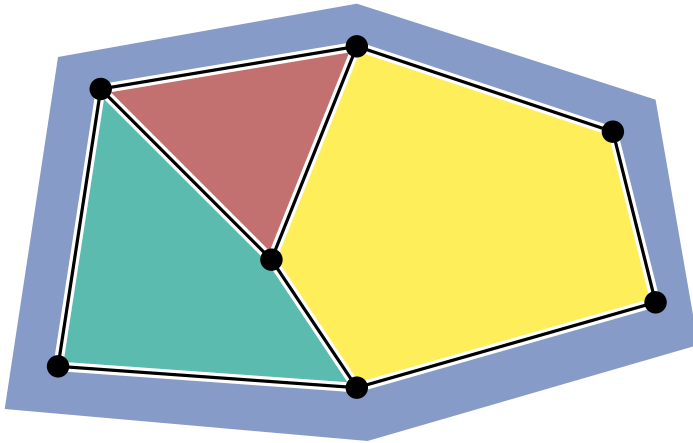
- Knoten mit Koordinaten
- Kanten



Doppelt-verkettete Kantenliste

Bestandteile eines geometrischen Graphen

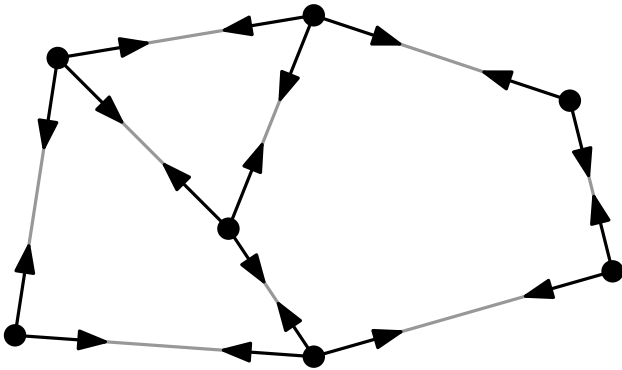
- Knoten mit Koordinaten
- Kanten
- Facetten



Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt



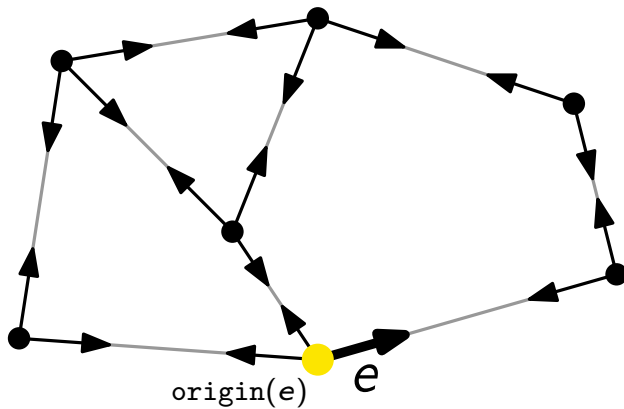
Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt

Für jede „Halbkante“ e

- zugehöriger Knoten: `origin(e)`



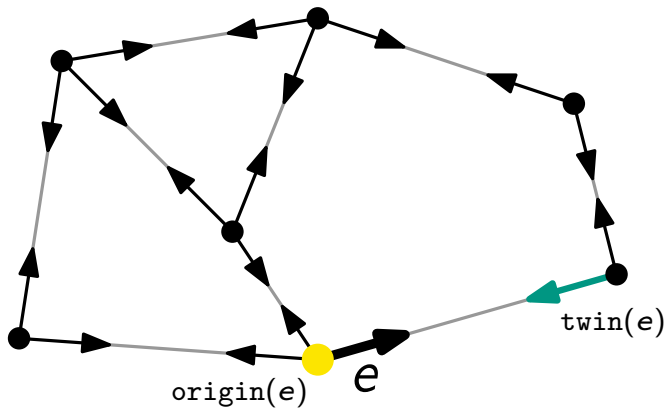
Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt

Für jede „Halbkante“ e

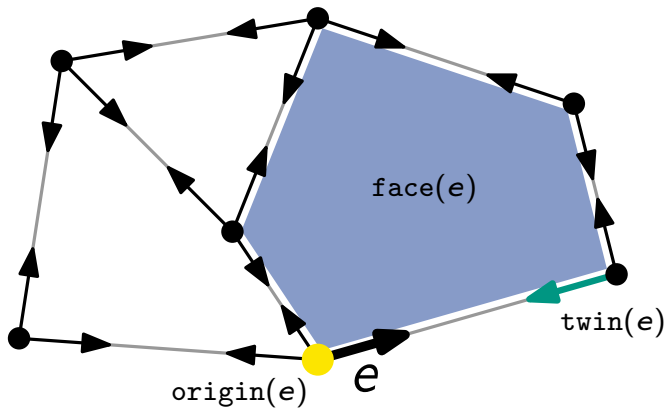
- zugehöriger Knoten: $\text{origin}(e)$
- Kante am anderen Endpunkt: $\text{twin}(e)$



Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt



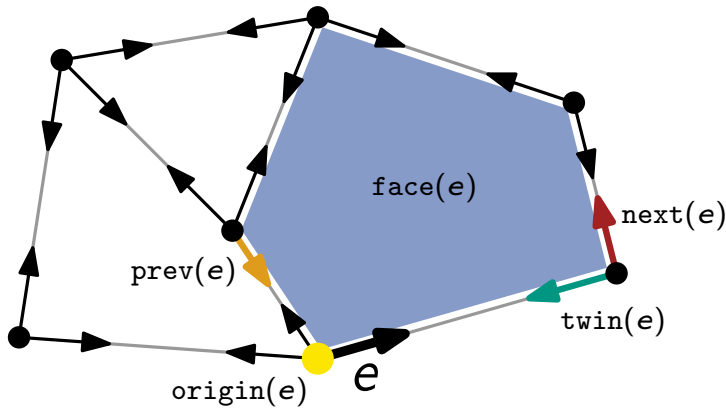
Für jede „Halbkante“ e

- zugehöriger Knoten: $origin(e)$
- Kante am anderen Endpunkt: $twin(e)$
- inzidente Facette (links): $face(e)$

Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt



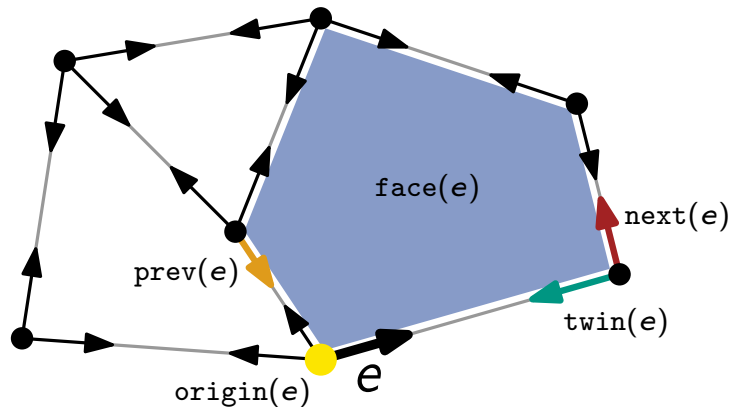
Für jede „Halbkante“ e

- zugehöriger Knoten: $\text{origin}(e)$
- Kante am anderen Endpunkt: $\text{twin}(e)$
- inzidente Facette (links): $\text{face}(e)$
- nächste/vorherige Kante dieser Facette: $\text{next}(e)$, $\text{prev}(e)$

Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt



Für jede „Halbkante“ e

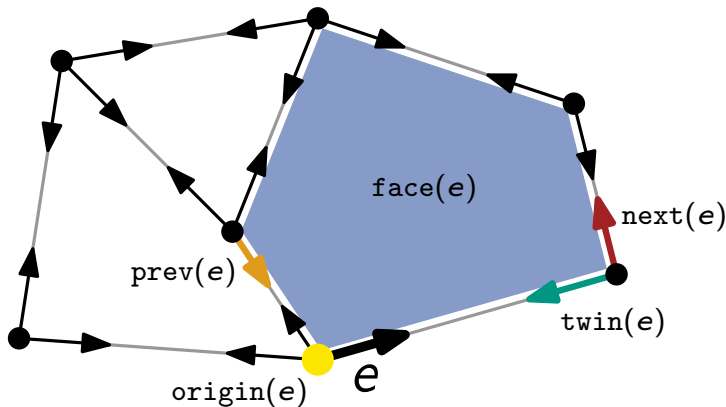
- zugehöriger Knoten: $origin(e)$
- Kante am anderen Endpunkt: $twin(e)$
- inzidente Facette (links): $face(e)$
- nächste/vorherige Kante dieser Facette: $next(e)$, $prev(e)$

- für Knoten v / Facette f eine angrenzende Kante $edge(v)$ / $edge(f)$

Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt



Für jede „Halbkante“ e

- zugehöriger Knoten: $origin(e)$
- Kante am anderen Endpunkt: $twin(e)$
- inzidente Facette (links): $face(e)$
- nächste/vorherige Kante dieser Facette: $next(e)$, $prev(e)$

- für Knoten v / Facette f eine angrenzende Kante $edge(v)$ / $edge(f)$

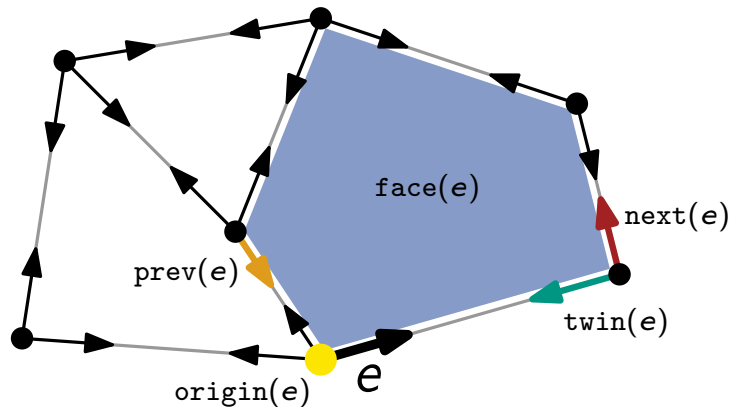
Abgeleitete Operationen

- im Uhrzeigersinn nächste Kante nach e um v :

Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt



Für jede „Halbkante“ e

- zugehöriger Knoten: $origin(e)$
- Kante am anderen Endpunkt: $twin(e)$
- inzidente Facette (links): $face(e)$
- nächste/vorherige Kante dieser Facette: $next(e)$, $prev(e)$

- für Knoten v / Facette f eine angrenzende Kante $edge(v)$ / $edge(f)$

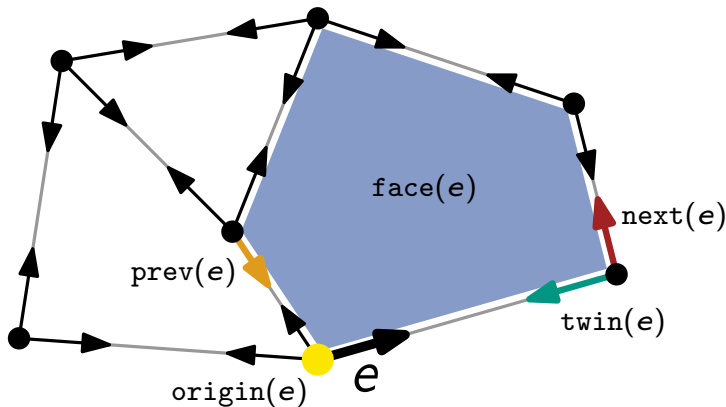
Abgeleitete Operationen

- im Uhrzeigersinn nächste Kante nach e um v : $next(twin(e))$

Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt



Für jede „Halbkante“ e

- zugehöriger Knoten: $origin(e)$
- Kante am anderen Endpunkt: $twin(e)$
- inzidente Facette (links): $face(e)$
- nächste/vorherige Kante dieser Facette: $next(e)$, $prev(e)$

- für Knoten v / Facette f eine angrenzende Kante $edge(v)$ / $edge(f)$

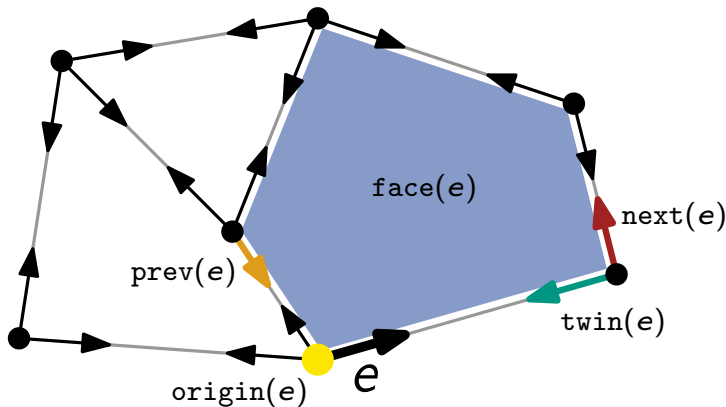
Abgeleitete Operationen

- im Uhrzeigersinn nächste Kante nach e um v : $next(twin(e))$
- gegen den Uhrzeigersinn nächste Kante nach e um v :

Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt



Für jede „Halbkante“ e

- zugehöriger Knoten: $\text{origin}(e)$
- Kante am anderen Endpunkt: $\text{twin}(e)$
- inzidente Facette (links): $\text{face}(e)$
- nächste/vorherige Kante dieser Facette: $\text{next}(e)$, $\text{prev}(e)$

- für Knoten v / Facette f eine angrenzende Kante $\text{edge}(v)$ / $\text{edge}(f)$

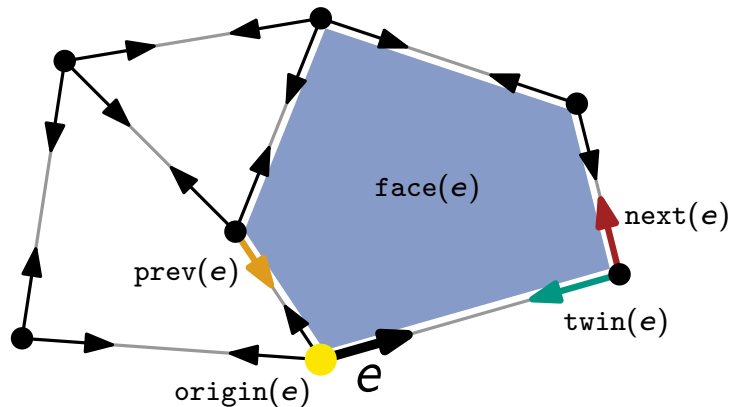
Abgeleitete Operationen

- im Uhrzeigersinn nächste Kante nach e um v : $\text{next}(\text{twin}(e))$
- gegen den Uhrzeigersinn nächste Kante nach e um v : $\text{twin}(\text{prev}(e))$

Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt



Für jede „Halbkante“ e

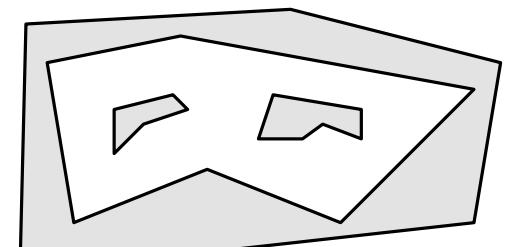
- zugehöriger Knoten: $origin(e)$
- Kante am anderen Endpunkt: $twin(e)$
- inzidente Facette (links): $face(e)$
- nächste/vorherige Kante dieser Facette: $next(e)$, $prev(e)$

- für Knoten v / Facette f eine angrenzende Kante $edge(v)$ / $edge(f)$

Abgeleitete Operationen

- im Uhrzeigersinn nächste Kante nach e um v : $next(twin(e))$
- gegen den Uhrzeigersinn nächste Kante nach e um v : $twin(prev(e))$

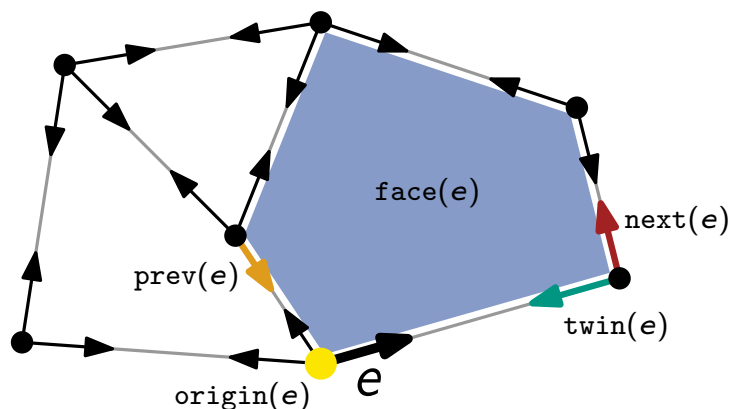
Mehrere Zusammenhangskomponenten



Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt



Für jede „Halbkante“ e

- zugehöriger Knoten: $origin(e)$
- Kante am anderen Endpunkt: $twin(e)$
- inzidente Facette (links): $face(e)$
- nächste/vorherige Kante dieser Facette: $next(e)$, $prev(e)$

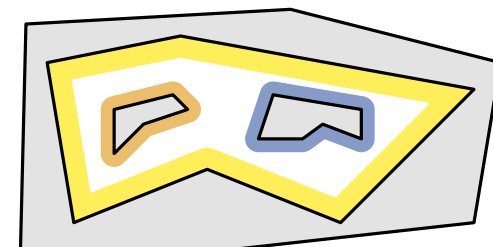
- für Knoten v / Facette f eine angrenzende Kante $edge(v)$ / $edge(f)$

Abgeleitete Operationen

- im Uhrzeigersinn nächste Kante nach e um v : $next(twin(e))$
- gegen den Uhrzeigersinn nächste Kante nach e um v : $twin(prev(e))$

Mehrere Zusammenhangskomponenten

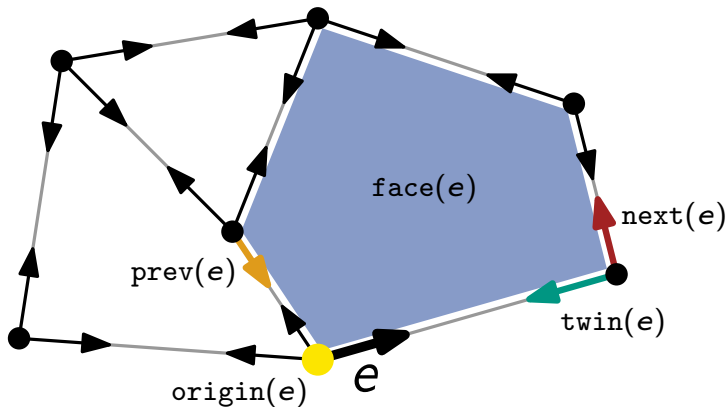
- zunächst: Struktur für jede Komponenten getrennt



Doppelt-verkettete Kantenliste

Doppelt-verkettete Kantenliste

- jede Kante hat 2 inzidente Knoten → speichere jede Kante doppelt



Für jede „Halbkante“ e

- zugehöriger Knoten: $origin(e)$
- Kante am anderen Endpunkt: $twin(e)$
- inzidente Facette (links): $face(e)$
- nächste/vorherige Kante dieser Facette: $next(e)$, $prev(e)$

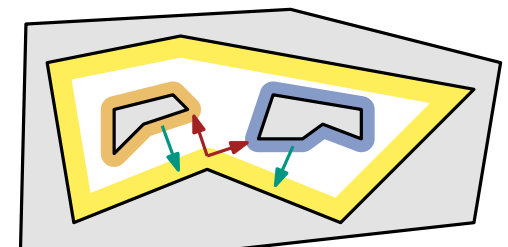
- für Knoten v / Facette f eine angrenzende Kante $edge(v)$ / $edge(f)$

Abgeleitete Operationen

- im Uhrzeigersinn nächste Kante nach e um v : $next(twin(e))$
- gegen den Uhrzeigersinn nächste Kante nach e um v : $twin(prev(e))$

Mehrere Zusammenhangskomponenten

- zunächst: Struktur für jede Komponenten getrennt
- innere Facette f : Liste $children(f)$ von Kindfacetten
- äußere Facette f : Elternfacette $parent(f)$



Zusammenfassung

Heute gesehen

- Ausgabesensitiver Algorithmus Schnitt von n Strecken:
Laufzeit $O((n + k) \log n)$ bei k Schnittpunkten

Zusammenfassung

Heute gesehen

- Ausgabesensitiver Algorithmus Schnitt von n Strecken:
Laufzeit $O((n + k) \log n)$ bei k Schnittpunkten
- Sweep-Line als allgemeine Technik: diskretisierung des Kontinuierlichen
durch endlich viele Eventpunkte

Zusammenfassung

Heute gesehen

- Ausgabesensitiver Algorithmus Schnitt von n Strecken:
Laufzeit $O((n + k) \log n)$ bei k Schnittpunkten
- Sweep-Line als allgemeine Technik: diskretisierung des Kontinuierlichen durch endlich viele Eventpunkte
- initiale Vereinfachung durch Ausschließen von Sonderfällen lohnt sich

Zusammenfassung

Heute gesehen

- Ausgabesensitiver Algorithmus Schnitt von n Strecken:
Laufzeit $O((n + k) \log n)$ bei k Schnittpunkten
- Sweep-Line als allgemeine Technik: diskretisierung des Kontinuierlichen durch endlich viele Eventpunkte
- initiale Vereinfachung durch Ausschließen von Sonderfällen lohnt sich
- doppelt-verkettete Kantenliste

Zusammenfassung

Heute gesehen

- Ausgabesensitiver Algorithmus Schnitt von n Strecken:
Laufzeit $O((n + k) \log n)$ bei k Schnittpunkten
- Sweep-Line als allgemeine Technik: diskretisierung des Kontinuierlichen durch endlich viele Eventpunkte
- initiale Vereinfachung durch Ausschließen von Sonderfällen lohnt sich
- doppelt-verkettete Kantenliste

Was gibt es sonst noch?

- Erweiterung auf „Map-Overlay“: Überlagerung geometrischer Graphen
- Boolesche Operationen auf Polygonen

Zusammenfassung

Heute gesehen

- Ausgabesensitiver Algorithmus Schnitt von n Strecken: Laufzeit $O((n + k) \log n)$ bei k Schnittpunkten
- Sweep-Line als allgemeine Technik: diskretisierung des Kontinuierlichen durch endlich viele Eventpunkte
- initiale Vereinfachung durch Ausschließen von Sonderfällen lohnt sich
- doppelt-verkettete Kantenliste

Was gibt es sonst noch?

- Erweiterung auf „Map-Overlay“: Überlagerung geometrischer Graphen
- Boolesche Operationen auf Polygonen
- untere Schranke: $\Omega(n \log n + k)$
- kann tatsächlich in $O(n \log n + k)$ Zeit mit $O(n)$ Platzbedarf gelöst werden

Zusammenfassung

Heute gesehen

- Ausgabesensitiver Algorithmus Schnitt von n Strecken:
Laufzeit $O((n + k) \log n)$ bei k Schnittpunkten
- Sweep-Line als allgemeine Technik: diskretisierung des Kontinuierlichen durch endlich viele Eventpunkte
- initiale Vereinfachung durch Ausschließen von Sonderfällen lohnt sich
- doppelt-verkettete Kantenliste

Was gibt es sonst noch?

- Erweiterung auf „Map-Overlay“: Überlagerung geometrischer Graphen
- Boolesche Operationen auf Polygonen
- untere Schranke: $\Omega(n \log n + k)$
- kann tatsächlich in $O(n \log n + k)$ Zeit mit $O(n)$ Platzbedarf gelöst werden
- Erweiterungen für den Sweep-Line-Ansatz
 - die Sweep-Line kann sich auch anders bewegen (z.B. rotieren)
 - die Sweep-Line muss keine Gerade sein