

# Algorithmen für Routenplanung

11. Sitzung, Sommersemester 2015

Julian Dibbelt | 01. Juni 2015

INSTITUT FÜR THEORETISCHE INFORMATIK · ALGORITHMIK · PROF. DR. DOROTHEA WAGNER



## Stoff bisher

- Problemtransformation auf Graph + Dijkstra
- Vorberechnungstechniken (point-to-point)
- Weitere Anfrageszenarien: one-to-all, many-to-many, POIs
- Turn-Costs
- Alternativrouten (fast optimal, hinreichend unterschiedlich)

## Stoff bisher

- Problemtransformation auf Graph + Dijkstra
- Vorberechnungstechniken (point-to-point)
- Weitere Anfrageszenarien: one-to-all, many-to-many, POIs
- Turn-Costs
- Alternativrouten (fast optimal, hinreichend unterschiedlich)

## Was fehlt noch für Einsatz in Produktion?

## Stoff bisher

- Problemtransformation auf Graph + Dijkstra
- Vorberechnungstechniken (point-to-point)
- Weitere Anfrageszenarien: one-to-all, many-to-many, POIs
- Turn-Costs
- Alternativrouten (fast optimal, hinreichend unterschiedlich)

## Was fehlt noch für Einsatz in Produktion?

- Berücksichtigung von (aktuellen) Staus
- Implementation auf Mobilgeräten
- Berücksichtigung von historischem Wissen über Staus
- Was ist eigentlich mit Bus+Bahn?

## Szenario:

- Unfall auf einer Straße
- Reisezeit ändert sich auf dieser Straße
- berechne schnellsten Weg bezüglich der aktualisierten Reisezeiten



# Herausforderung

## Hauptproblem:

- Kantengewichte ändern sich
- Vorberechnung basiert auf ursprünglichen Kantengewichten
- komplette Vorberechnung für jeden Stau wenig sinnvoll

## Hauptproblem:

- Kantengewichte ändern sich
- Vorberechnung basiert auf ursprünglichen Kantengewichten
- komplette Vorberechnung für jeden Stau wenig sinnvoll

## “Server”szenario:

- identifiziere den Teil der beeinträchtigten Vorberechnung
- aktualisiere diesen Teil

## Hauptproblem:

- Kantengewichte ändern sich
- Vorberechnung basiert auf ursprünglichen Kantengewichten
- komplette Vorberechnung für jeden Stau wenig sinnvoll

## “Server”szenario:

- identifiziere den Teil der beeinträchtigten Vorberechnung
- aktualisiere diesen Teil

## “Mobiles” Szenario:

- robuste Vorberechnung
- immer noch korrekt, wenn Kantengewichte sich erhöhen
- dadurch eventuell Anfragen langsamer
- oder passe Query an, so dass Vorberechnung nicht aktualisiert werden muss

## Vorbereitung:

- wähle eine Hand voll ( $\approx 16$ ) Knoten als **Landmarken**
- berechne Abstände von und zu allen Landmarken

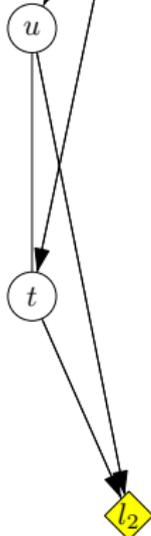
## Anfrage:

- benutze Landmarken und Dreiecksungleichung um eine **untere Schranke** für den Abstand zum Ziel zu bestimmen

$$d(s, t) \geq d(L_1, t) - d(L_1, s)$$

$$d(s, t) \geq d(s, L_2) - d(t, L_2)$$

- verändert **Reihenfolge** der besuchten Knoten



## Beobachtung:

- Landmarkenwahl ist Heuristik, also nicht ändern
- Distanzen von und zu Landmarken sind nicht korrekt

## Vorgehen:

- aktualisiere diese Distanzen
- benutze dafür dynamisierte Dijkstra-Variante, die nur betroffene Teilbäume (jeder Landmarke) Neuberechnet
- dann Anfragen korrekt und (in etwa) so schnell wie bei kompletter neuer Vorberechnung

## Beobachtung:

- Korrektheit von ALT basiert darauf, dass reduzierten Kantengewichte größer gleich 0 sind

$$\text{len}_\pi(u, v) = \text{len}(u, v) - \pi(u) + \pi(v) \geq 0$$

## Beobachtung:

- Korrektheit von ALT basiert darauf, dass reduzierten Kantengewichte größer gleich 0 sind

$$\text{len}_\pi(u, v) = \text{len}(u, v) - \pi(u) + \pi(v) \geq 0$$

- durch Erhöhen der Kantengewichte wird dies nicht verletzt
- durch Staus können Reisezeiten nicht unter Initialwert fallen

## Beobachtung:

- Korrektheit von ALT basiert darauf, dass reduzierten Kantengewichte größer gleich 0 sind

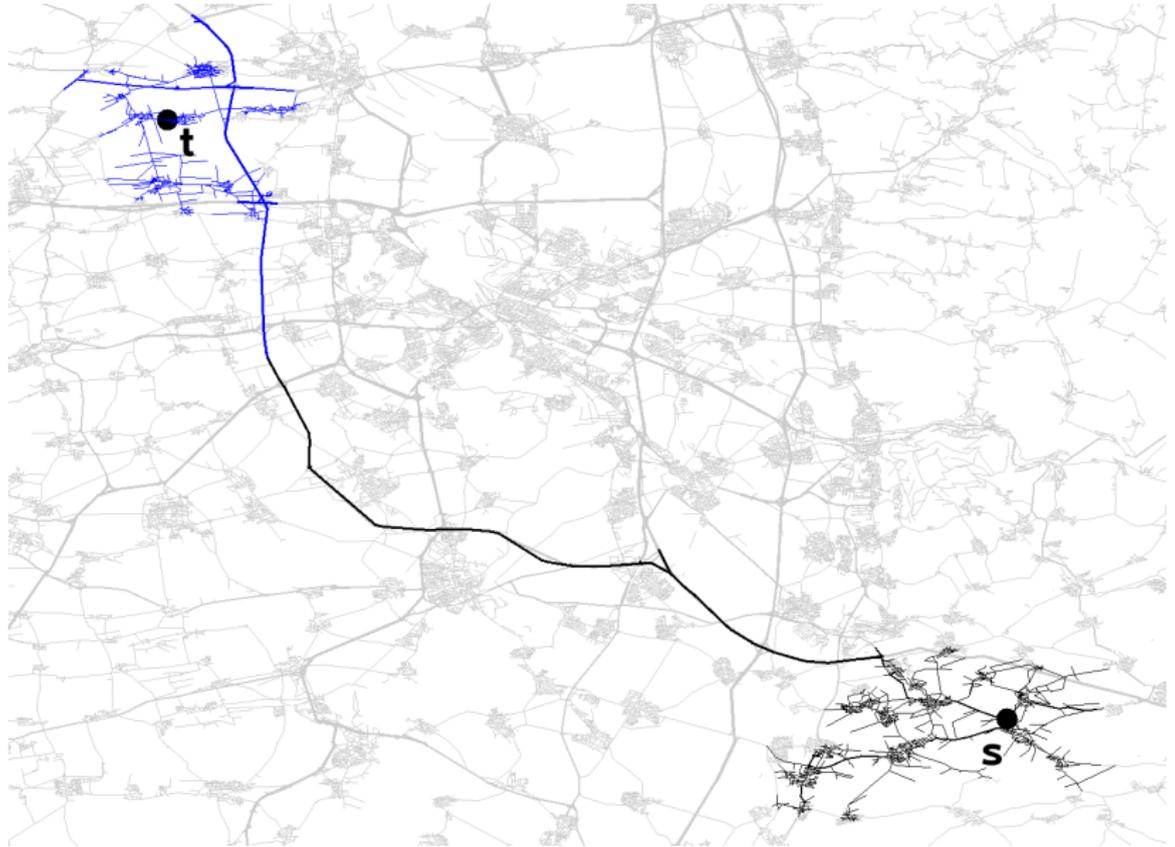
$$\text{len}_\pi(u, v) = \text{len}(u, v) - \pi(u) + \pi(v) \geq 0$$

- durch Erhöhen der Kantengewichte wird dies nicht verletzt
- durch Staus können Reisezeiten nicht unter Initialwert fallen

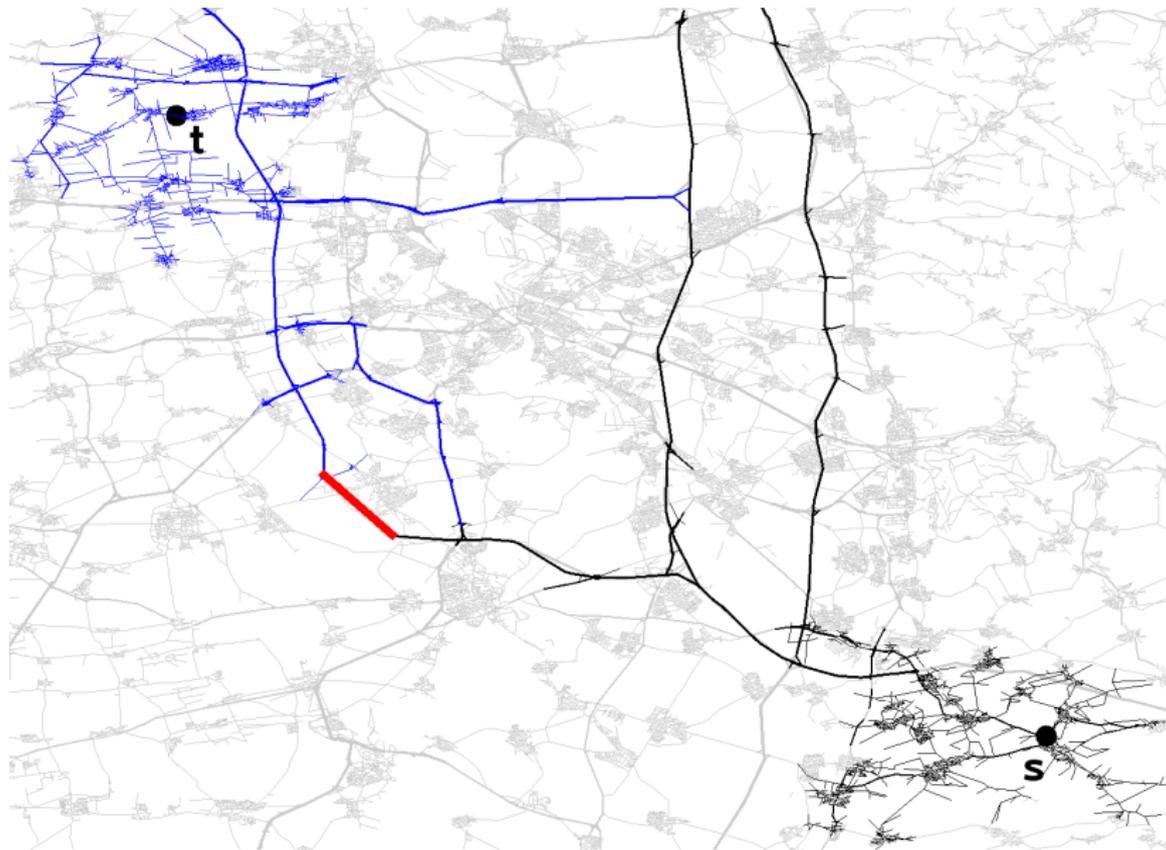
## Idee:

- Vorberechnung auf staufreiem Graphen
- Suchanfragen ohne Aktualisierung
- korrekt aber eventuell langsamere Anfragezeiten

# Suchraumvergrößerung durch Stau (mobiles Szenario)

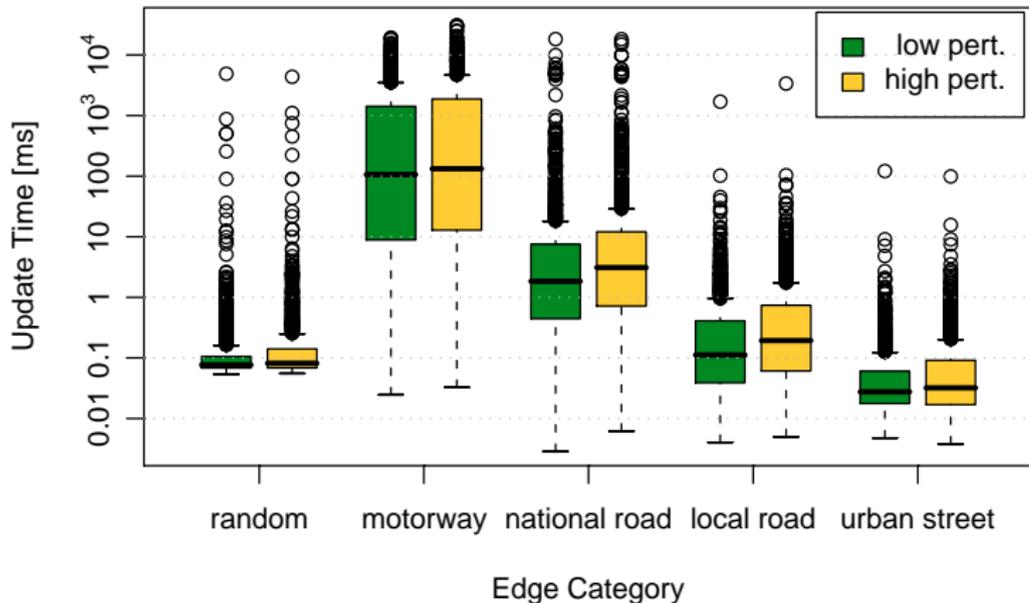


# Suchraumvergrößerung durch Stau (mobiles Szenario)



# Aktualisierung der Vorberechnung

Aktualisieren von 32 kürzeste-Wege Bäumen für 16 Landmarken:  
(Serverszenario)



# Mobiles Szenario: Typ des Updates

- Zufallsanfragen nach 1 000 updates
- erhöhe Kantengewicht um x2 (x10 in Klammern)
- **verschiedene** Straßenkategorien

road type	affected queries	16 landmarks search space		32 landmarks search space	
no updates	0.0 %	74 699	(74 699)	40 945	(40 945)
all	7.5 %	74 700	(77 759)	41 044	(43 919)
urban	0.8 %	74 796	(74 859)	40 996	(41 120)
local	1.5 %	74 659	(74 669)	40 949	(40 995)
national	28.1 %	74 920	(75 777)	41 251	(42 279)
motorway	95.3 %	97 249	(265 472)	59 550	(224 268)

## Beobachtung:

- nur Autobahnen haben Einfluß auf Suchraumgröße

# Mobiles Szenario: Anzahl Updates

- Zufallsanfragen nach **Autobahn** updates (x2, x10 in Klammern)
- **verschiedene** Anzahl Updates

updates	affected queries	16 landmarks search space		32 landmarks search space	
0	0.0 %	74 699	(74 699)	40 945	(40 945)
100	39.9 %	75 691	(91 610)	41 725	(56 349)
200	64.7 %	78 533	(107 084)	44 220	(69 906)
500	87.1 %	86 284	(165 022)	50 007	(124 712)
1 000	95.3 %	97 249	(265 472)	59 550	(224 268)
2 000	97.8 %	154 112	(572 961)	115 111	(531 801)
5 000	99.1 %	320 624	(1 286 317)	279 758	(1 247 628)
10 000	99.5 %	595 740	(2 048 455)	553 590	(1 991 297)

## Beobachtung:

- $\leq 1000$  gut verkraftbar

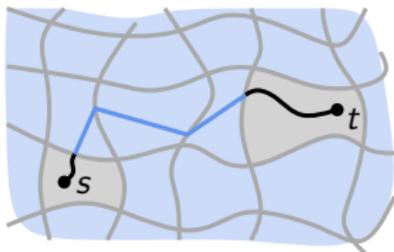
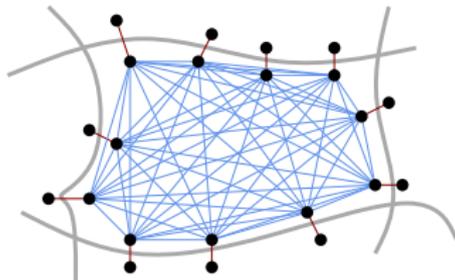
# Customizable Route Planning

## Idee:

- partitioniere Graphen
- Berechne Distanzen zwischen Randknoten *in jeder Zelle*

## Overlay Graph:

- Randknoten
- Cliques in jeder Zelle
- Schnittkanten



## Suchgraph:

- Start- und Zielzelle...
- ...plus Overlaygraph.
- (bidirektionaler) Dijkstra

**Optimierung:** multiple Level

## Beobachtung:

- Shortcuts (Cliquesanten) können invalidiert werden
- Shortcuts repräsentieren Pfade **innerhalb der Zelle**

## Update:

- identifiziere Zelle in der die aktualisierte Kante liegt **für jedes Level** der Multi-Level Partition
- wiederhole (bottom-up) Preprocessing für diese Zellen
- dauert weniger als 10 ms

## Beobachtung:

- Stau-Update invalidiert Zellen-Overlay
- **erhöht** meistens nur einige Overlay-Gewichte
- restliche Overlay-Kanten bleiben **korrekt**

## Query:

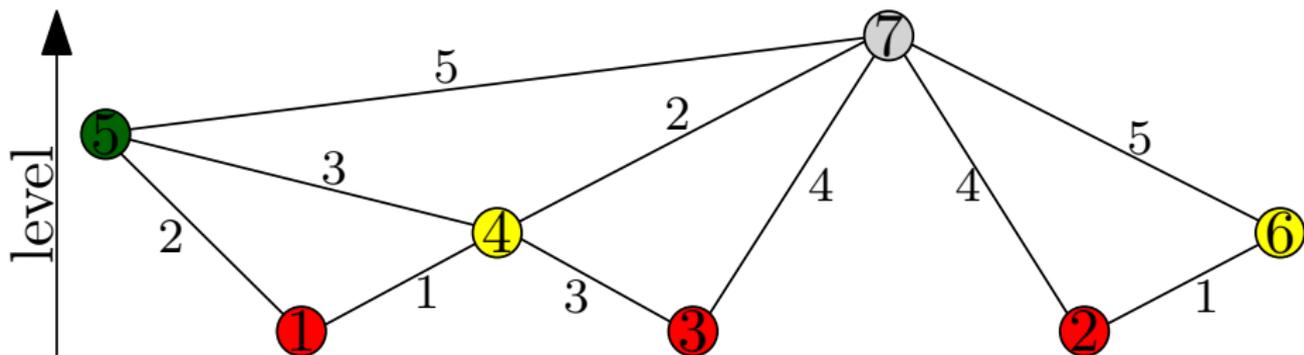
- Normale Query, aber steigt bei invalidierten Zellen direkt ab (vgl. Path Unpacking)
- jeder Abstieg erhöht Suchraum um ca. 50%

## Optimierung:

- markiere invalidierte Zellen (ohne Overlay zu aktualisieren)
- führe Anfrage aus (ohne Abstieg)
- wenn der Pfad nicht die aktualiesierte Kante enthält  $\Rightarrow$  fertig
- sonst Suche mit Abstieg

## preprocessing:

- ordne Knoten nach Wichtigkeit
- bearbeite in der Reihenfolge
- füge Shortcuts hinzu
- Levelzuordnung (ca. 150 in Strassennetzwerken)



## Beobachtung:

- Knotenordnung ist Heuristik
- also behalte Ordnung bei
- geänderte Kante  $(u, v)$  kann zu Shortcuts beitragen
- aber auch Teil von Zeugensuchen gewesen sein
- Frage: welche Knoten müssen neu kontrahiert werden (mit Zeugensuche)

## Idee:

- wiederhole Kontraktion für Knotenmenge  $U$
- füge alle aufwärts erreichbaren Knoten der geänderten Kante  $(u, v)$  zu  $U$
- speicher für jede Kante  $e$  auf welchen Zeugensuchen sie benutzt wurde. Die zugehörigen Knoten speicher in  $A_e$ . Kann einfach während Vorberechnung gespeichert werden.
- füge alle aufwärts erreichbaren Knoten von  $A_e$  (und aller  $A_f$  für alle Shortcuts  $f$ , die  $e$  enthalten) zu  $U$
- wiederhole Kontraktion für alle Knoten  $U$  bezüglich Originalordnung

## Beobachtung:

- erhöht Speicherverbrauch von CH deutlich
- Updatezeit abhängig von Art der Kante

## Beobachtung:

- Kontraktion von Knoten zu teuer

## Beobachtung:

- Kontraktion von Knoten zu teuer

## Idee:

- identifiziere Knotenmenge  $U$  wie zuvor
- erlaube Abstieg an Kanten  $(u, v)$  mit  $u, v \in U$
- iterativer Ansatz (wie bei CRP) auch hier möglich

## Arc-Flags:

- Aktualisierung aller Bäume nötig
- momentan keine vernünftige Update-Routine vorhanden

## Customizable Contraction Hierarchies

- wie CRP.

## Transit-Node Routing

- schwierig
- Tabellen und Access-Nodes können sich ändern

## HubLabels

- halte Ordnung vor.
- nach Update: Aktualisierung aller Labels
- bisher nicht gelöst: nicht alle Labels müssten aktualisiert werden

- Stau erhöht Kantengewicht temporär
- Anpassung Landmarken, CRP, CCH trivial
- Anpassung CH machbar
- schwierig bei anderen Techniken

## Anmerkungen

- Mobil: nur “nahe” Staus beachten?
- viele Staus vorhersehbar

**Wie historische Staudaten einbeziehen?**

## Szenario:

- Historische Daten für Verkehrssituation verfügbar
- Verkehrssituation vorhersagbar
- Berechne schnellsten Weg bezüglich der erwarteten Verkehrssituation (zu einem gegebenen Startzeitpunkt)



## Hauptproblem:

- Kürzester Weg hängt von Abfahrtszeitpunkt ab
- Eingabegröße steigt massiv an

## Hauptproblem:

- Kürzester Weg hängt von Abfahrtszeitpunkt ab
- Eingabegröße steigt massiv an

## Vorgehen:

- Modellierung
- Anpassung Dijkstra
- Anpassung Beschleunigungstechniken

## Hauptproblem:

- Kürzester Weg hängt von Abfahrtszeitpunkt ab
- Eingabegröße steigt massiv an

## Vorgehen:

- Modellierung
- Anpassung Dijkstra
- Anpassung Beschleunigungstechniken

## Heute:

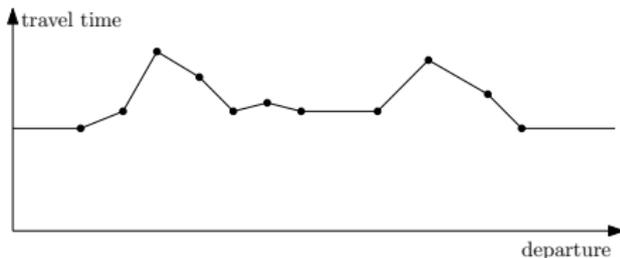
- Modellierung und Dijkstra

## Eingabe:

- Durchschnittliche Reisezeit zu bestimmten Zeitpunkten
- Jeden Wochentag verschieden
- Sonderfälle: Urlaubszeit

## Somit an jeder Kante:

- Periodische stückweise lineare Funktion
- Definiert durch Stützpunkte
- Interpoliere linear zwischen Stützpunkten



## Definition

Sei  $f : \mathbb{R}_0^+ \rightarrow \mathbb{R}_0^+$  eine Funktion.  $f$  erfüllt die *FIFO-Eigenschaft*, wenn für jedes  $\varepsilon > 0$  und alle  $\tau \in \mathbb{R}_0^+$  gilt, dass

$$f(\tau) \leq \varepsilon + f(\tau + \varepsilon).$$

## Diskussion

- Interpretation: “Warten/Später ankommen lohnt sich nie”
  - Kürzeste Wege auf Graphen mit non-FIFO Funktionen zu finden ist NP-schwer.  
(wenn warten an Knoten nicht erlaubt ist)
- ⇒ Sicherstellen, dass Funktionen FIFO-Eigenschaft erfüllen.

## Eigenschaften:

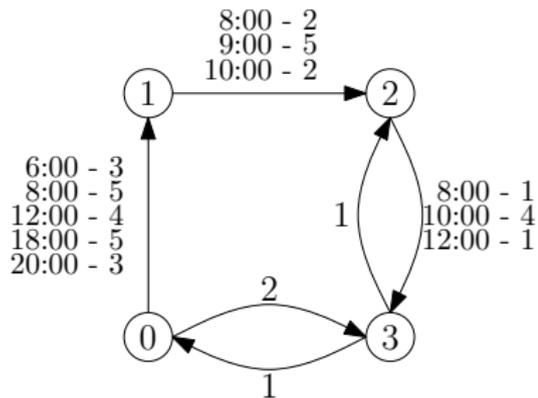
- Topologie ändert sich nicht
- Kanten gemischt zeitabhängig und konstant
- variable (!) Anzahl Interpolationspunkte pro Kante

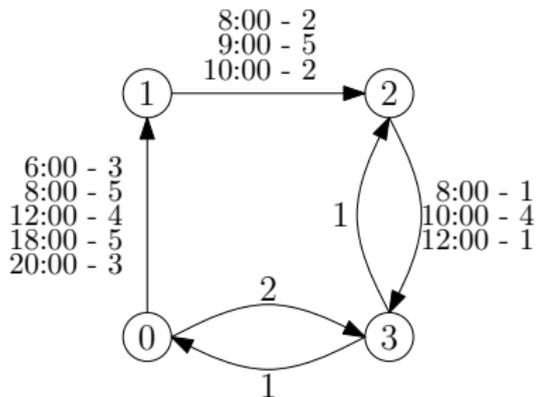
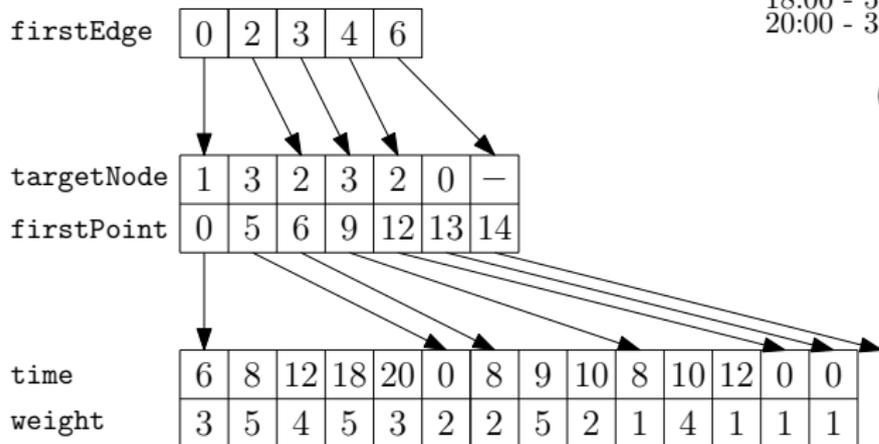
## Eigenschaften:

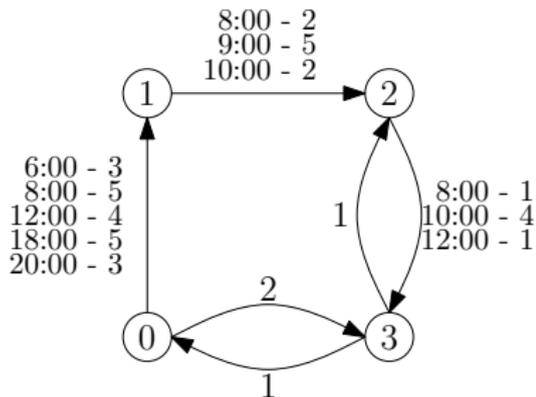
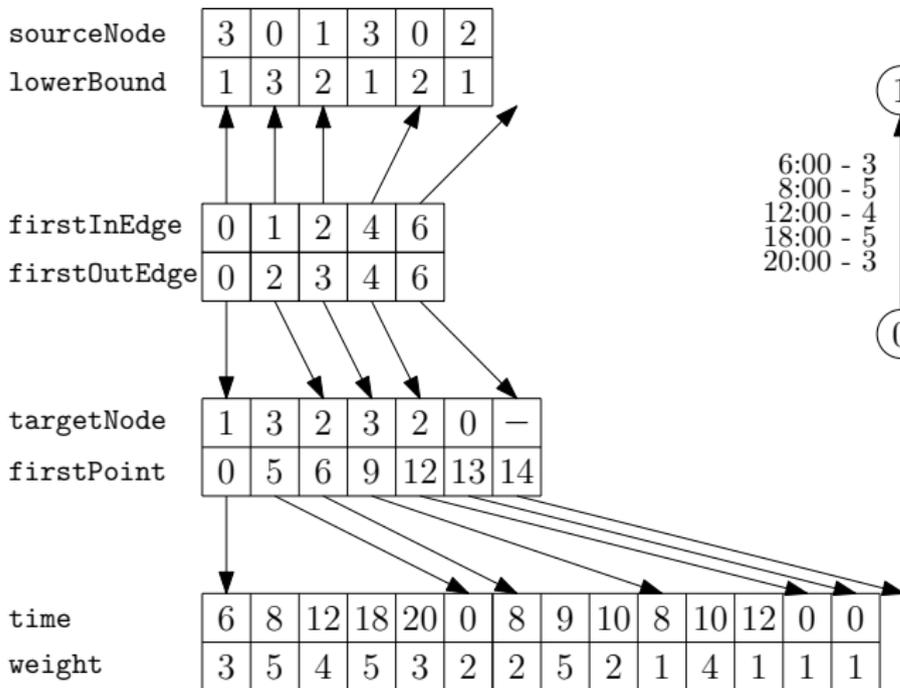
- Topologie ändert sich nicht
- Kanten gemischt zeitabhängig und konstant
- variable (!) Anzahl Interpolationspunkte pro Kante

## Beobachtungen:

- FIFO gilt auf allen Kanten
- später wichtig







## Zeit-Anfrage:

- finde kürzesten Weg für Abfahrtszeit  $\tau$
- analog zu Dijkstra?

## Zeit-Anfrage:

- finde kürzesten Weg für Abfahrtszeit  $\tau$
- analog zu Dijkstra?

## Profil-Anfrage:

- finde kürzesten Weg für alle Abfahrtszeitpunkte
- analog zu Dijkstra?

---

Time-Dijkstra( $G = (V, E), s, \tau$ )

---

```
1  $d_\tau[s] = 0$ 
2  $Q.clear(), Q.add(s, 0)$ 
3 while  $!Q.empty()$  do
4    $u \leftarrow Q.deleteMin()$ 
5   for all edges  $e = (u, v) \in E$  do
6     if  $d_\tau[u] + \text{len}(e, \tau + d_\tau[u]) < d_\tau[v]$  then
7        $d_\tau[v] \leftarrow d_\tau[u] + \text{len}(e, \tau + d_\tau[u])$ 
8        $p_\tau[v] \leftarrow u$ 
9       if  $v \in Q$  then  $Q.decreaseKey(v, d_\tau[v])$ 
10
11     else  $Q.insert(v, d_\tau[v])$ 
```

---

## Beobachtung:

- Nur ein Unterschied zu Dijkstra
- Auswertung der Kanten

## Beobachtung:

- Nur ein Unterschied zu Dijkstra
- Auswertung der Kanten

## non-FIFO Netzwerke:

- Im Kreis fahren kann sich lohnen
- NP-schwer (wenn warten an Knoten nicht erlaubt ist)
- Transportnetzwerke sind FIFO modellierbar (notfalls Multikanten)

---

Profile-Search( $G = (V, E), s$ )

---

```
1  $d_*[s] = 0$ 
2  $Q.clear(), Q.add(s, 0)$ 
3 while ! $Q.empty()$  do
4    $u \leftarrow Q.deleteMin()$ 
5   for all edges  $e = (u, v) \in E$  do
6     if  $d_*[u] \oplus \text{len}(e) \not\leq d_*[v]$  then
7        $d_*[v] \leftarrow \min(d_*[u] \oplus \text{len}(e), d_*[v])$ 
8       if  $v \in Q$  then  $Q.decreaseKey(v, \underline{d}[v])$ 
9
10      else  $Q.insert(v, \underline{d}[v])$ 
```

---

## Beobachtungen:

- Operationen auf Funktionen
- Priorität im Prinzip frei wählbar  
( $d[u]$  ist das Minimum der Funktion  $d_*[u]$ )
- Knoten können mehrfach besucht werden  $\Rightarrow$  label-correcting

## Herausforderungen:

- Wie effizient  $\oplus$  berechnen (Linken)?
- Wie effizient Minimum bilden?

## Funktion gegeben durch:

- Menge von Interpolationspunkten
- $I^f := \{(t_1^f, w_1^f), \dots, (t_k^f, w_k^f)\}$

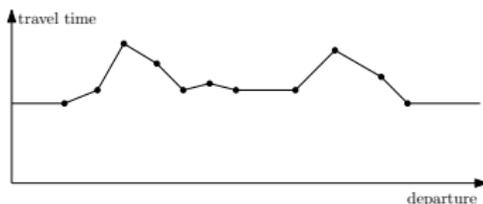
## 3 Operationen notwendig:

- Auswertung
- Linken  $\oplus$
- Minimumsbildung

## Evaluation von $f(\tau)$ :

- Suche Punkte mit  $t_i \leq \tau$  und  $t_{i+1} \geq \tau$
- dann Evaluation durch

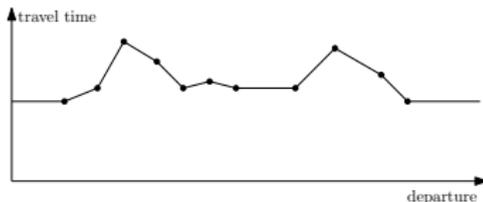
$$f(\tau) = w_i + (\tau - t_i) \cdot \frac{w_{i+1} - w_i}{t_{i+1} - t_i}$$



## Evaluation von $f(\tau)$ :

- Suche Punkte mit  $t_i \leq \tau$  und  $t_{i+1} \geq \tau$
- dann Evaluation durch

$$f(\tau) = w_i + (\tau - t_i) \cdot \frac{w_{i+1} - w_i}{t_{i+1} - t_i}$$



## Problem:

- Finden von  $t_i$  und  $t_{i+1}$
- Theoretisch:
  - Lineare Suche:  $\mathcal{O}(|I|)$ ,  $|I|$  = Anzahl Interpolationspunkte
  - Binäre Suche:  $\mathcal{O}(\log_2 |I|)$
- Praktisch:
  - $|I| < 30 \Rightarrow$  lineare Suche
  - Sonst: Lineare Suche mit Startpunkt  $\frac{\tau}{\Pi} \cdot |I|$   
wobei  $\Pi$  die Periodendauer ist

## Definition

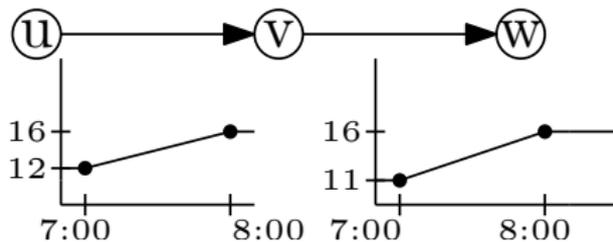
Seien  $f : \mathbb{R}_0^+ \rightarrow \mathbb{R}_0^+$  und  $g : \mathbb{R}_0^+ \rightarrow \mathbb{R}_0^+$  zwei Funktionen die die FIFO-Eigenschaft erfüllen. Die Linkoperation  $f \oplus g$  ist dann definiert durch

$$f \oplus g := f + g \circ (\text{id} + f)$$

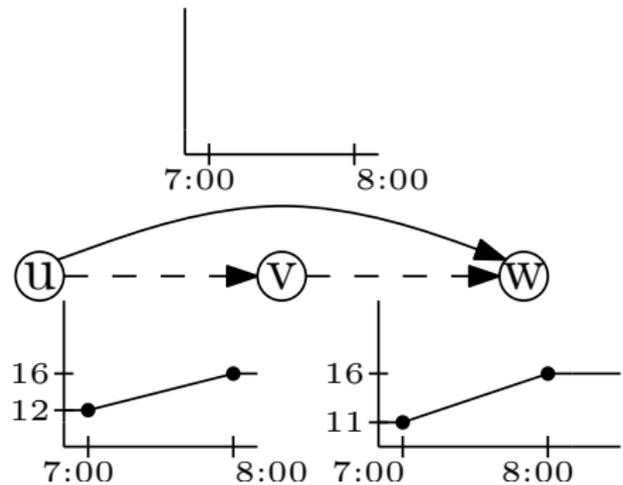
**Oder**

$$(f \oplus g)(\tau) := f(\tau) + g(\tau + f(\tau))$$

## Linken zweier Funktionen $f$ und $g$

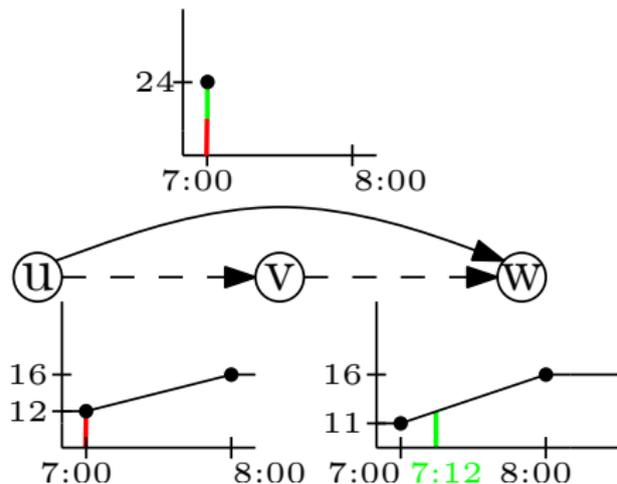


## Linken zweier Funktionen $f$ und $g$



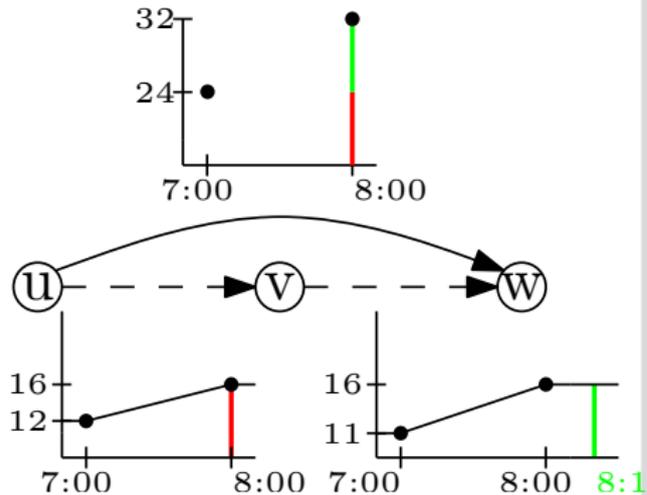
## Linken zweier Funktionen $f$ und $g$

- $f \oplus g$  enthält auf jeden Fall  
 $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \dots, (t_l^f, w_l^f + g(t_l^f + w_l^f))\}$



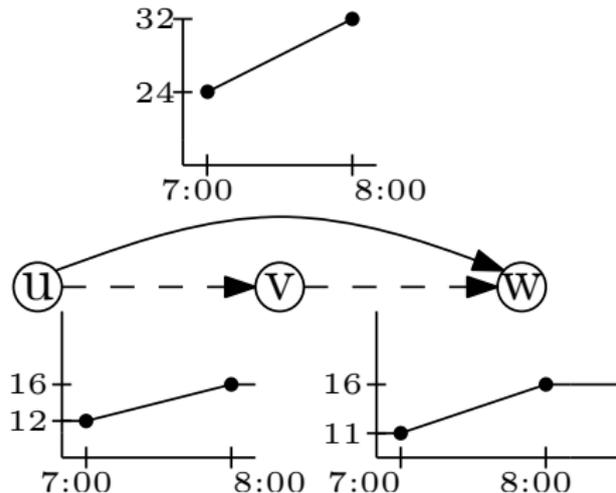
## Linken zweier Funktionen $f$ und $g$

- $f \oplus g$  enthält auf jeden Fall  $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \dots, (t_l^f, w_l^f + g(t_l^f + w_l^f))\}$



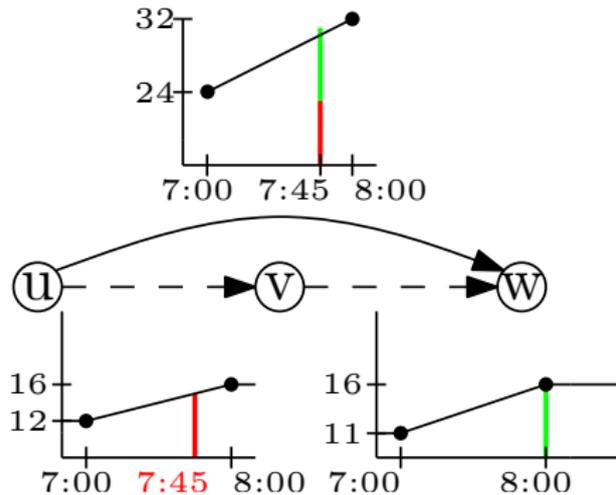
## Linken zweier Funktionen $f$ und $g$

- $f \oplus g$  enthält auf jeden Fall  
 $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \dots, (t_l^f, w_l^f + g(t_l^f + w_l^f))\}$



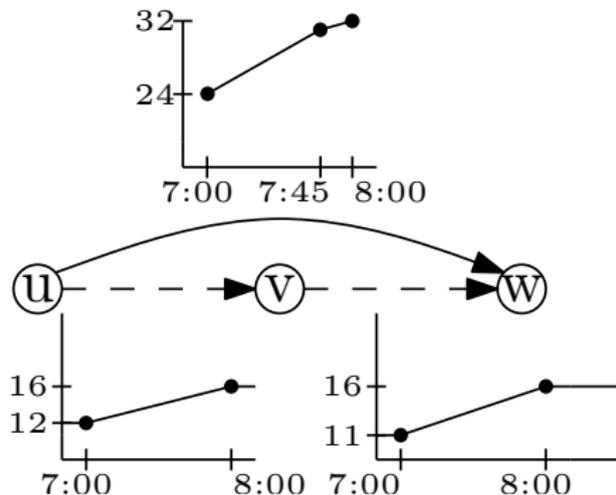
## Linken zweier Funktionen $f$ und $g$

- $f \oplus g$  enthält auf jeden Fall  
 $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \dots, (t_l^f, w_l^f + g(t_l^f + w_l^f))\}$



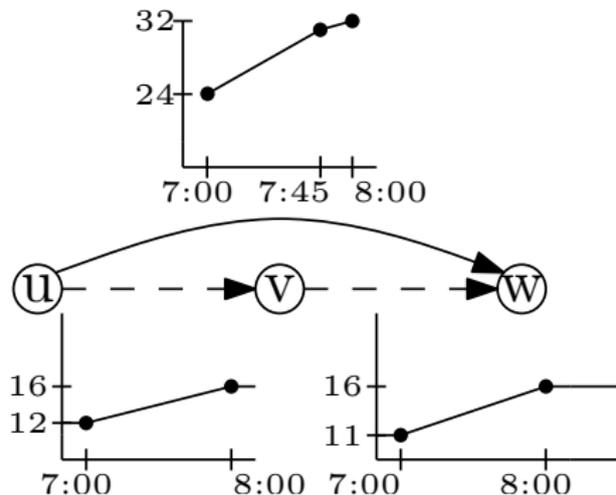
## Linken zweier Funktionen $f$ und $g$

- $f \oplus g$  enthält auf jeden Fall  $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \dots, (t_j^f, w_j^f + g(t_j^f + w_j^f))\}$
- Zusätzliche Interpolationspunkte an  $t_j^{-1}$  mit  $f(t_j^{-1}) + t_j^{-1} = t_j^g$



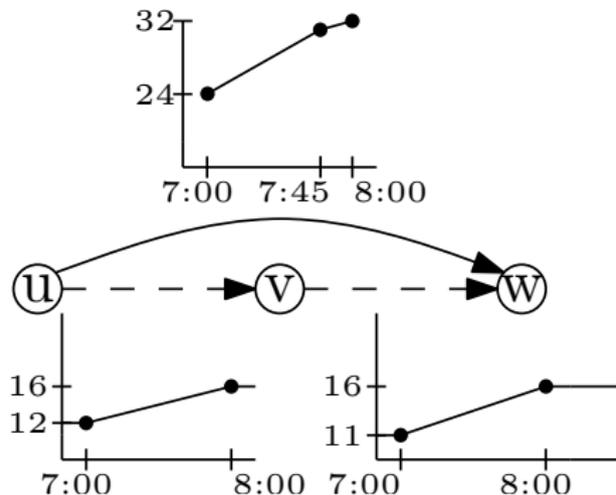
## Linken zweier Funktionen $f$ und $g$

- $f \oplus g$  enthält auf jeden Fall  $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \dots, (t_j^f, w_j^f + g(t_j^f + w_j^f))\}$
- Zusätzliche Interpolationspunkte an  $t_j^{-1}$  mit  $f(t_j^{-1}) + t_j^{-1} = t_j^g$
- Füge  $(t_j^{-1}, f(t_j^{-1}) + w_j^g)$  für alle Punkte von  $g$  zu  $f \oplus g$



## Linken zweier Funktionen $f$ und $g$

- $f \oplus g$  enthält auf jeden Fall  $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \dots, (t_j^f, w_j^f + g(t_j^f + w_j^f))\}$
- Zusätzliche Interpolationspunkte an  $t_j^{-1}$  mit  $f(t_j^{-1}) + t_j^{-1} = t_j^g$
- Füge  $(t_j^{-1}, f(t_j^{-1}) + w_j^g)$  für alle Punkte von  $g$  zu  $f \oplus g$
- Durch linearen Sweeping-Algorithmus implementierbar



## Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig  $\mathcal{O}(1)$

## Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig  $\mathcal{O}(1)$

## Speicherverbrauch

- Geknickte Funktion hat  $\approx |I^f| + |I^g|$  Interpolationspunkte

## Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig  $\mathcal{O}(1)$

## Speicherverbrauch

- Geknickte Funktion hat  $\approx |I^f| + |I^g|$  Interpolationspunkte

## Problem:

- Während Profilsuche kann ein Pfad mehreren Tausend Kanten entsprechen

## Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig  $\mathcal{O}(1)$

## Speicherverbrauch

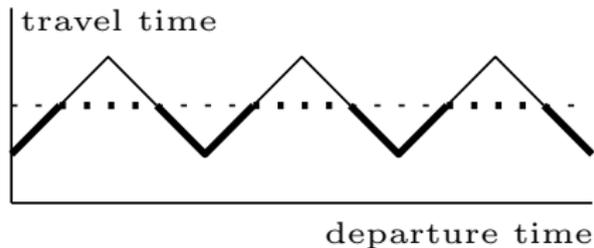
- Geknickte Funktion hat  $\approx |I^f| + |I^g|$  Interpolationspunkte

## Problem:

- Während Profilsuche kann ein Pfad mehreren Tausend Kanten entsprechen
- Shortcuts...

## Minimum zweier Funktionen $f$ und $g$

- Für alle  $(t_j^f, w_j^f)$ : behalte Punkt, wenn  $w_j^f < g(t_j^f)$
- Für alle  $(t_j^g, w_j^g)$ : behalte Punkt, wenn  $w_j^g < f(t_j^g)$
- Schnittpunkte müssen ebenfalls eingefügt werden

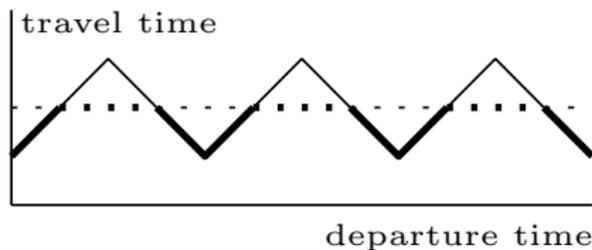


## Minimum zweier Funktionen $f$ und $g$

- Für alle  $(t_j^f, w_j^f)$ : behalte Punkt, wenn  $w_j^f < g(t_j^f)$
- Für alle  $(t_j^g, w_j^g)$ : behalte Punkt, wenn  $w_j^g < f(t_j^g)$
- Schnittpunkte müssen ebenfalls eingefügt werden

## Vorgehen:

- Linearer sweep über die Stützstellen
- Evaluiere, welcher Abschnitt oben
- Checke ob Schnittpunkt existiert
- Vorsicht bei der Numerik



## Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig:  $\mathcal{O}(1)$

## Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig:  $\mathcal{O}(1)$

## Speicherverbrauch

- Minimum-Funktion kann mehr als  $|I^f| + |I^g|$  Interpolationspunkte enthalten

## Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig:  $\mathcal{O}(1)$

## Speicherverbrauch

- Minimum-Funktion kann mehr als  $|I^f| + |I^g|$  Interpolationspunkte enthalten

## Problem:

- Während Profilsuche werden Funktionen gemergt
- Laufzeit der Profilsuchen wird durch diese Operationen (link + merge) dominiert

- Netzwerk Deutschland  $|V| \approx 4.7$  Mio.,  $|E| \approx 10.8$  Mio.
- 5 Verkehrsszenarien:
  - Montag:  $\approx 8\%$  Kanten zeitabhängig
  - Dienstag - Donnerstag:  $\approx 8\%$
  - Freitag:  $\approx 7\%$
  - Samstag:  $\approx 5\%$
  - Sonntag:  $\approx 3\%$

	#delete mins	slow-down	time [ms]	slow-down
kein	2,239,500	0.00%	1219.4	0.00%
Montag	2,377,830	6.18%	1553.5	27.40%
DiDo	2,305,440	2.94%	1502.9	23.25%
Freitag	2,340,360	4.50%	1517.2	24.42%
Samstag	2,329,250	4.01%	1470.4	20.59%
Sonntag	2,348,470	4.87%	1464.4	20.09%

## Beobachtung:

- kaum Veränderung in Suchraum
- Anfragen etwas langsamer durch Auswertung



## Beobachtung:

- Nicht durchführbar auf Europa-Instanz durch zu großen Speicherbedarf ( $> 32$  GiB RAM)
- Extrapoliert:
  - Suchraum steigt um ca. 10% (das ist OK)
  - Suchzeiten um einen Faktor von bis zu 2 500 über Dijkstra (Stunden!)

⇒ inpraktikabel

## Zeitabhängige Netzwerke (Basics)

- Funktionen statt Konstanten an Kanten
- Operationen werden teurer
  - $|I|$  = Anzahl Interpolationspunkte
  - $\mathcal{O}(\log |I|)$  für Auswertung
  - $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$  für Linken und Minimum
  - Speicherverbrauch explodiert
- Zeitanfragen:
  - Normaler Dijkstra
  - Kaum langsamer (lediglich Auswertung)
- Profilanfragen
  - nicht zu handhaben

# Montag, 08.06.2015

Montag, 15.06.2014