

# ***Künstliche Intelligenz***

Sebastian Iwanowski  
FH Wedel

**Kap. 7:**  
Ameisenalgorithmen

**7.3:** Im Detail: Aktualisierung der Pheromone am Beispiel des  
AntNet-Verfahrens

*Die hier vorgestellten Folien stammen im Wesentlichen aus einer Vorlesung  
der Masterstudenten **Daniel Jarosch**, und **Karsten Thiele**,  
gehalten am 09.01.2008*

# Vergleich mit Ant Based Control (ABC)

## Gemeinsamkeiten


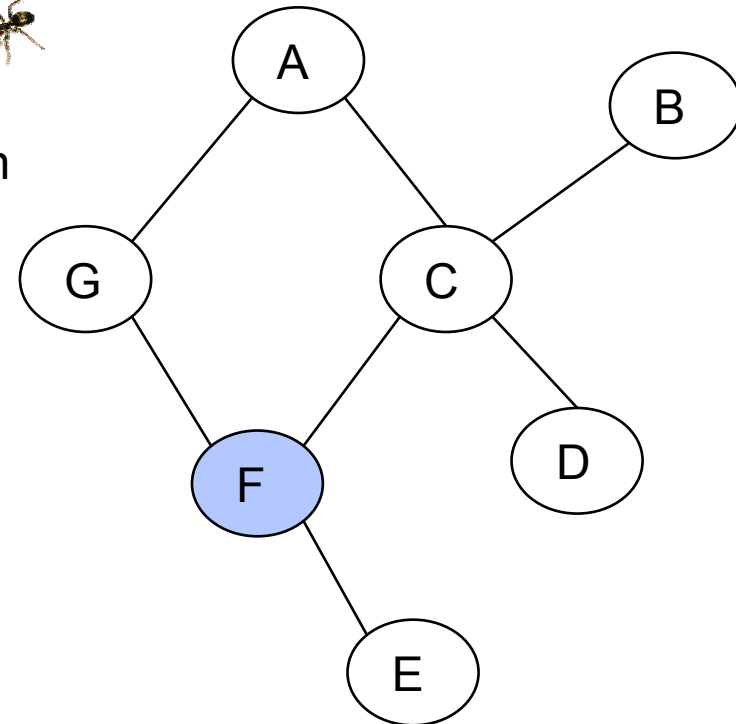
- Vorwärts- und Rückwärtsameisen 
- Ziel: Pheromonbasierte Wahrscheinlichkeitstabelle erstellen
- Einträge sind Wahrscheinlichkeiten
- Beeinflussen Wegwahl der Ameisen

Tabelle F				
Next \ Dest	C	G	E	
A	0.3	0.65	0.05	
B	0.5	0.35	0.15	
C	0.9	0.05	0.05	
D	0.9	0.05	0.05	
E	0.05	0.05	0.9	
G	0.6	0.35	0.05	



# Vergleich mit Ant Based Control (ABC)

## Unterschiede

### Problematik des ABC-Algorithmus

- Pheromonkonzentration reziprok abhängig von der absoluten Fahrzeit
- Geringe Pheromonausschüttung bei langen Strecken (lange Fahrzeit)
- Nur schwache Pheromonspur auf schnellen, langen Routen
- Bei zwei langen Routen: Differenz der Pheromonkonzentration nur gering

### Verbesserung im AntNet-Verfahren

- Bessere Strategie zur Aktualisierung der pheromonbasierten Knoteninformationen
- Ausschüttung erfolgt nicht aufgrund der absoluten Fahrzeit
- Vergleich der Fahrzeit mit dem besten Wert innerhalb eines Zeitfenster
- Pheromonausschüttung abhängig von der besten momentanen Reisedauer

# Vergleich mit Ant Based Control (ABC)

## Unterschiede im Detail

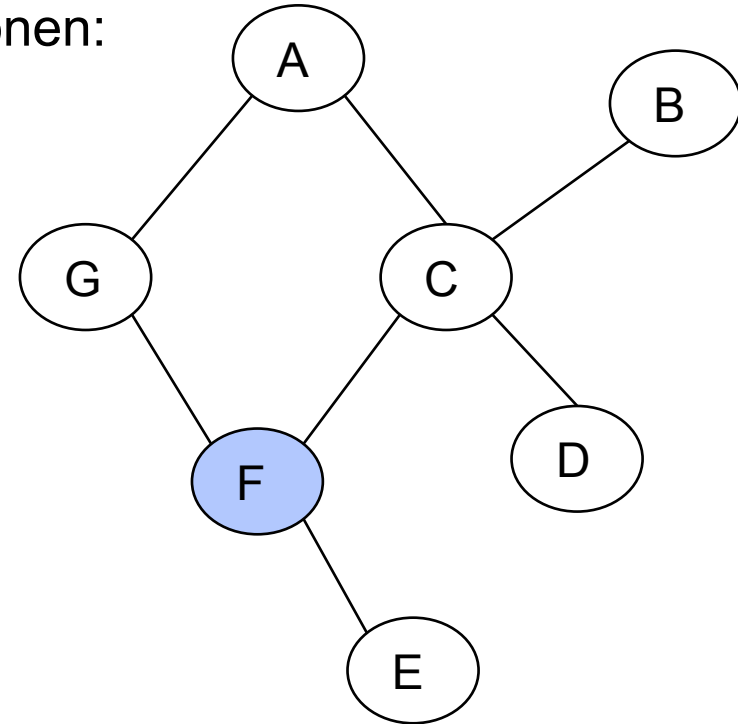
Veränderte Struktur der Knoteninformationen:

1) Lokales statistisches Modell

- Zum Berechnen der Pheromonmatrix

2) Pheromonmatrix

- Zum Berechnen der Pheromontabelle
- Pheromon**matrix**  $\neq$  Pheromon**tabelle**
- Pheromontabelle wie bei ABC



Daraus folgend: Veränderte Aktualisierung der Knoteninformationen

# Struktur und Aktualisierung der Knoteninformationen

## 1) Lokales statistisches Modell

$M_{FA}$	$M_{FB}$	$M_{FC}$	$M_{FD}$	$M_{FE}$	$M_{FF}$	$M_{FG}$
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

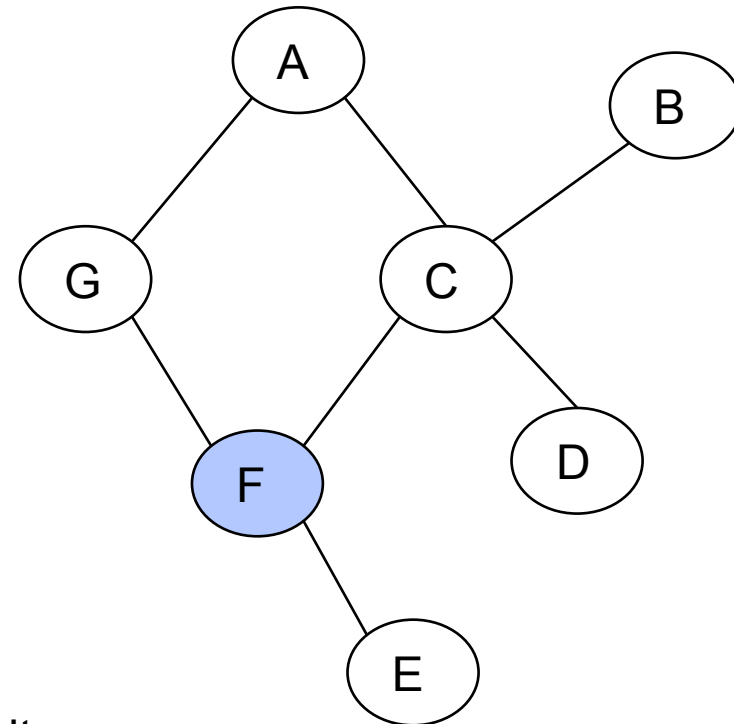
entspricht Verkehrsaufkommenstatistik

$$M_{id} = (\mu_{id}, \sigma_{id}^2, W_{id})$$

- $\mu_{id}$  Mittelwert aller Fahrzeiten
- $\sigma_{id}^2$  Varianz
- $W_{id}$  Beobachtungsfenster
- $T_{id_{best}}$  Beste Fahrzeit im Fenster
- $w_{max}$  Maximale Anzahl der letzten Fahrzeiten
- $w_{id}$  Anzahl der gemessenen Fahrzeiten

i entspricht dem aktuellen Knoten

d entspricht dem Zielknoten



# Struktur und Aktualisierung der Knoteninformationen

## 1) Lokales statistisches Modell

$M_{FA}$	$M_{FB}$	$M_{FC}$	$M_{FD}$	$M_{FE}$	$M_{FF}$	$M_{FG}$
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

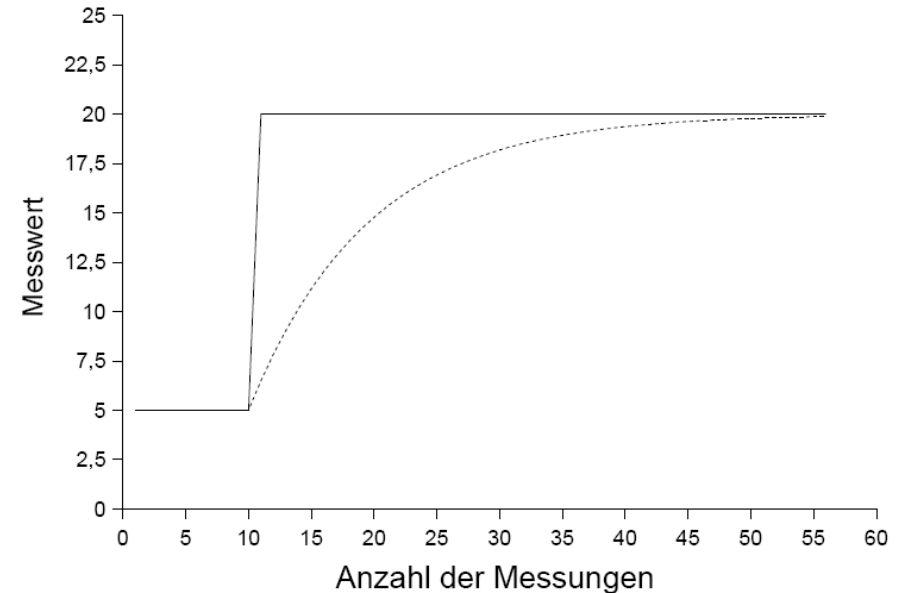
$$M_{id} = (\mu_{id}, \sigma_{id}^2, W_{id})$$

Aktualisierung der statistischen Parameter:

- $\mu_{id} \leftarrow \mu_{id} + c \cdot (t_{id} - \mu_{id})$
- $\sigma_{id}^2 \leftarrow \sigma_{id}^2 + c \cdot ((t_{id} - \mu_{id})^2 - \sigma_{id}^2)$
- $c \in [0,1]$
- Anzahl effektiver Messungen  $w_{\max} = 5/c$

Adaptive Veränderung der lokalen Statistik

- Einzelner guter oder schlechter Wert soll keinen starken Einfluss auf Pheromon-ausschüttung haben



Für die Abbildung wurde ein  $c = 0.1$  gewählt.

Die letzten 50 Messungen sind relevant.

$$\mu_{id} = 5, t_{id} = 20$$

$$\mu_{id} \leftarrow 5 + 0.1 \cdot (20 - 5) = 6.5$$

$$\mu_{id} \leftarrow 6.5 + 0.1 \cdot (20 - 6.5) = 7.85$$

$$\mu_{id} \leftarrow 7.85 + 0.1 \cdot (20 - 7.85) = 9.065$$

# Struktur und Aktualisierung der Knoteninformationen

## 1) Lokales statistisches Modell

### Das Beobachtungsfenster $W_{id}$

- Ausgangslage:  $R_1$  ist gute Route  
 $R_2$  ist schlechte Route
- Änderung der Verkehrslage:  $R_1$  wird schlechter als  $R_2$ 
  - Alte Pheromone von  $R_1$  sollen schnell aus Beobachtungsfenster herausfallen ...
  - ... damit auf  $R_2$  mehr Pheromone ausgeschüttet werden

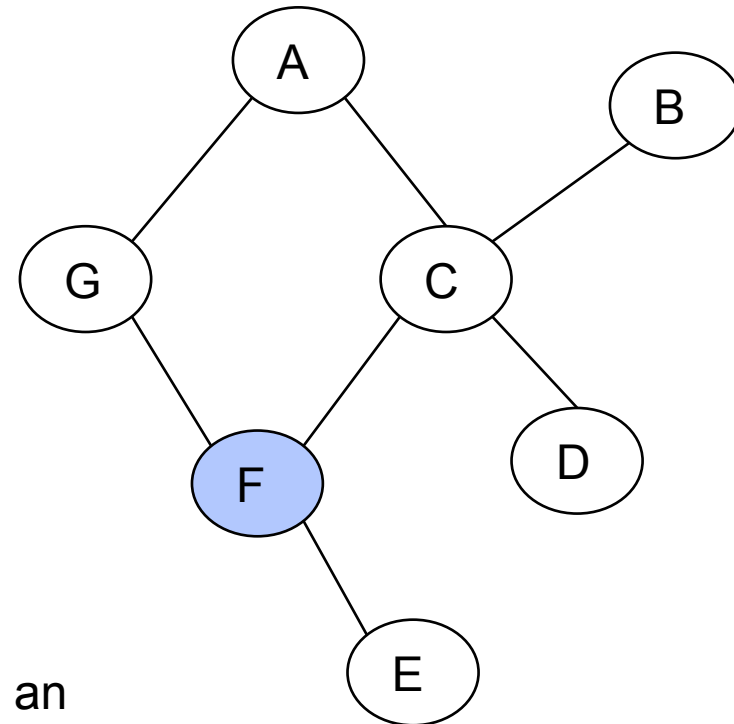
Fenstergröße beeinflusst Reaktivität des Systems:

- Große Fenstergröße: Neue Routen bilden sich nach langer Zeit
- Kleine Fenstergröße: Überreaktion und schwingendes System
- → Fenstergröße muss geeignet gewählt werden

# Struktur und Aktualisierung der Knoteninformationen

## 2) Pheromonmatrix

Nachbar \ Ziel	C	G	E
A	0.3	0.65	0.05
B	0.5	0.35	0.15
C	0.9	0.05	0.05
D	0.9	0.05	0.05
E	0.05	0.05	0.9
G	0.6	0.35	0.05



Einträge sind Pheromonkonzentrationen  $\tau_{ijd}$

- Geben die Attraktivität der Nachbarknoten an
- Zeilenweise normalisiert  $\sum_{j \in N_i} \tau_{ijd} = 1$

i entspricht dem aktuellen Knoten

j entspricht einem Nachbarknoten

d entspricht dem Zielknoten



# Struktur und Aktualisierung der Knoteninformationen

## 2) Pheromonmatrix

- Pheromonausschüttung und –verdampfung abhängig von Weggüte
- Pheromonausschüttung
  - $\tau_{ifd} \leftarrow \tau_{ifd} + r \cdot (1 - \tau_{ifd})$  wobei  $n_f \in R$
  - Faktor  $r$  gibt die Stärke der Pheromonerhöhung an
  - Wählt eine Ameise eine bestimmten Route, so steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sich eine weitere Ameise für die Route entscheidet
- Pheromonverdampfung
  - Normalisierung der Pheromonkonzentration
  - $\tau_{ijd} \leftarrow \tau_{ijd} - r \cdot \tau_{ijd}$  mit  $j \in N_i \wedge j \neq f$

**Beispiel:**  $f = 0$

$$\tau_{i0d} = 0.6$$

$$\tau_{i1d} = 0.4$$

$$r = 0.5$$

$$\tau_{i0d} \leftarrow 0.6 + 0.5 \cdot (1 - 0.6) = 0.6 + 0.2 = 0.8$$

$$\tau_{i1d} \leftarrow 0.4 - 0.5 \cdot 0.4 = 0.4 - 0.2 = 0.2$$

# Struktur und Aktualisierung der Knoteninformationen

## 2) Pheromonmatrix

$$r = c_1 \cdot \left( \frac{T_{id_{best}}}{t_{id}} \right) + c_2 \cdot \left( \frac{I_{trust} - T_{id_{best}}}{(I_{trust} - T_{id_{best}}) + (t_{id} - T_{id_{best}})} \right) \quad \text{mit} \quad I_{trust} = \mu_{id} + \frac{1}{\sqrt{(1-\nu)}} \cdot \left( \frac{\sigma_{id}}{\sqrt{w_{id}}} \right)$$

Zwei Terme, die über zwei Konstanten  $c_1$  und  $c_2$  gewichtet werden

- 1. Term: Verhältnis zwischen bester und aktueller Fahrzeit
- 2. Term: Bewertung der Vertrauenswürdigkeit der Fahrzeit
- Zu starke Abweichungen führen zur geringerer Pheromonerhöhung
- Verbesserungen oder Verschlechterungen müssen von mehreren Ameisen bestätigt werden

Weitere Möglichkeit:

$$r = \frac{s(1)}{s(r)} \quad \text{mit} \quad s(x) = 1 + e^{\frac{a}{x}} \quad \text{mit} \quad x \in (0,1] \quad \text{und} \quad a \in R^+$$

- Hohe Werte werden durch die Transformation stärker gewichtet: Dadurch wird das System sensitiver für gute Werte

# Das AntNet-Verfahren im Ganzen

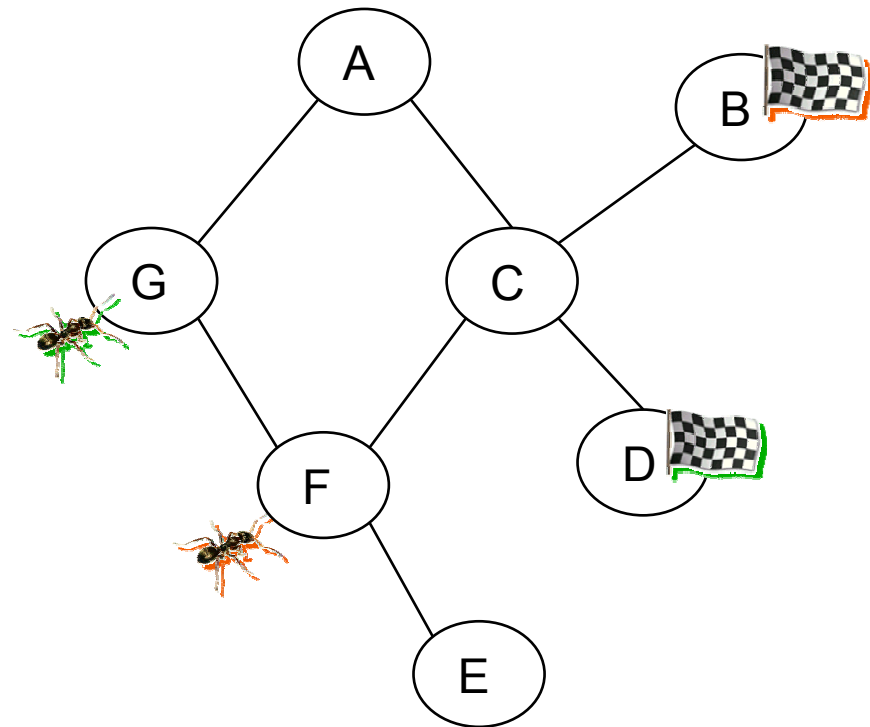
## Algorithmischer Ablauf (für alle Ameisenverfahren)

- Kontinuierliche Generation von Vorwärtsameisen
- Vorwärtsameisen bewegen sich zu einem Zielknoten
  - Sammeln von Weginformationen
  - Wahrscheinlichkeitsgesteuerte Wegwahl
  - Starten einer Rückwärtsameise am Ziel
- Rückwärtsameisen
  - Rückverfolgung des Wegs der Vorwärtsameise
  - Aktualisierung der Knoteninformation und Teilpfade

# Das AntNet-Verfahren im Ganzen

## Generieren und Starten der Vorwärtsameise

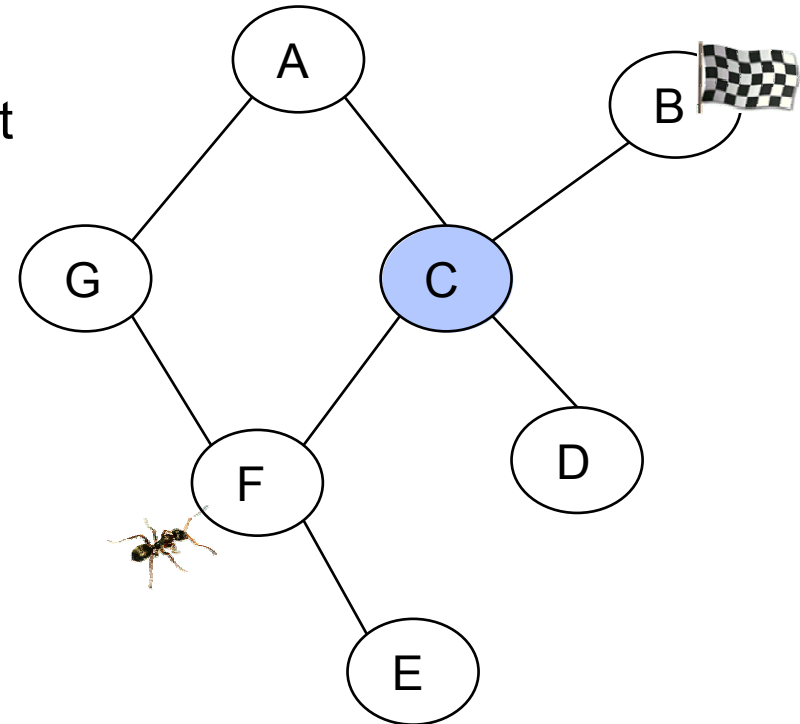
- Kontinuierliche Generation an jedem Knoten
- Zufälliges Auswählen eines Zielknotens
- Asynchrones Starten aller Ameisen



# Das AntNet-Verfahren im Ganzen

## Wegwahl der Vorwärtsameise (allgemein)

- Entscheidung anhand der Wahrscheinlichkeitswerte der Pheromontabelle
- Besuchte Knoten werden nicht beachtet
- Ausnahme: Alle Nachbarknoten wurden bereits besucht



Next \ Dest	A	B	D	F
A	0.7	0.05	0.05	0.2
<b>B</b>	0.1	<b>0.8</b>	0.05	0.05
D	0.1	0.05	0.7	0.15
E	0.3	0.05	0.05	0.6
F	0.2	0.05	0.05	0.7
G	0.5	0.05	0.05	0.4

# Das AntNet-Verfahren im Ganzen

## Wegwahl der Vorwärtsameise (AntNet-spezifisch)

Ameise im Knoten  $n_i$  mit Ziel  $n_d$  bestimmt nächsten Knoten  $n_j$  mit Wahrscheinlichkeit  $P_{ijd}$

$$P_{ijd} = \frac{\tau_{ijd} + \alpha \cdot \eta_{ij}}{1 + \alpha(|N_i| - 1)}$$

- $\alpha$  Faktor zur Gewichtung der Wichtigkeit
- $\eta_{ij} \in [0,1]$  normalisierter heuristischer Einfluss

$$\eta_{ij} = 1 - \frac{q_{ij}}{\sum_{k=1}^{|N_i|} q_{ik}}$$

- $q_{ij}$  Maß, welches die Verbindung der Knoten  $n_i$  und  $n_j$  beschreibt

Unterschiedliche Bedeutung je nach Anwendungsfall:

- Fahrzeugnavigation: Fahrdauer im statistischen Fall
- Alternative Beispiele: Aktuelle Verkehrsdichte, Fahrzeit bis zum Ziel

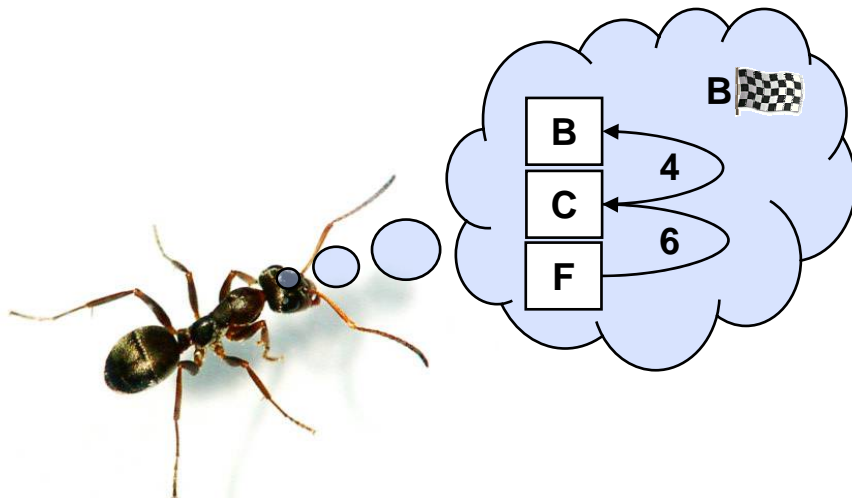
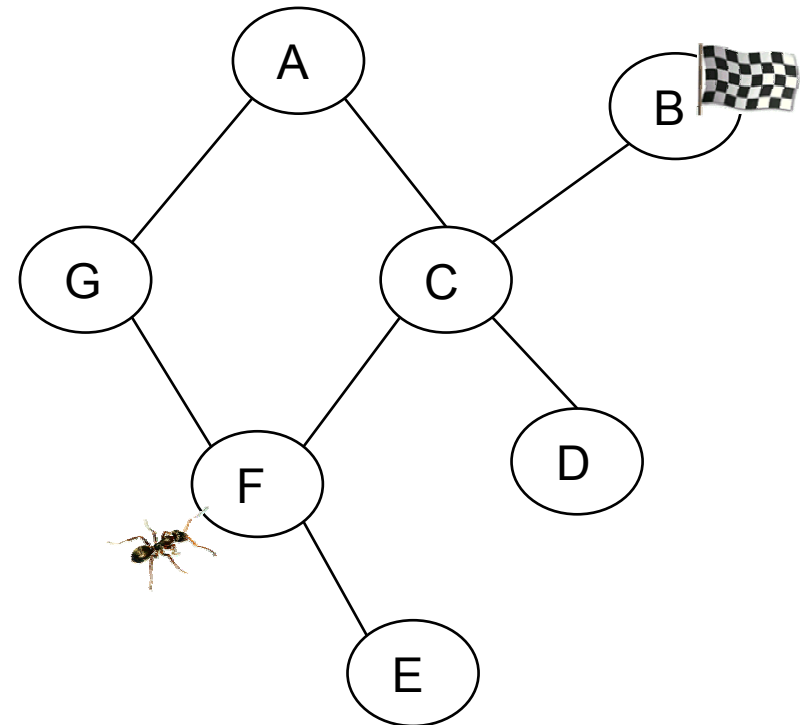
$j$	$j_1$	$j_{\dots}$	$J_m$
$d$			
$d_1$	0.3	...	0.15
$d_{\dots}$	...	...	...
$d_n$	0.9	...	0.05

- Es gilt aber immer:  $P_{ijd} \neq 0$

# Das AntNet-Verfahren im Ganzen

## Informationsgewinnung der Vorwärtsameise (allgemein)

- Jeden besuchten Knoten in Stack merken
- Zyklen werden wieder gelöscht
  - Zu alte Vorwärtsameise wird gelöscht
- Benötigte Zeit zwischen zwei Knoten messen

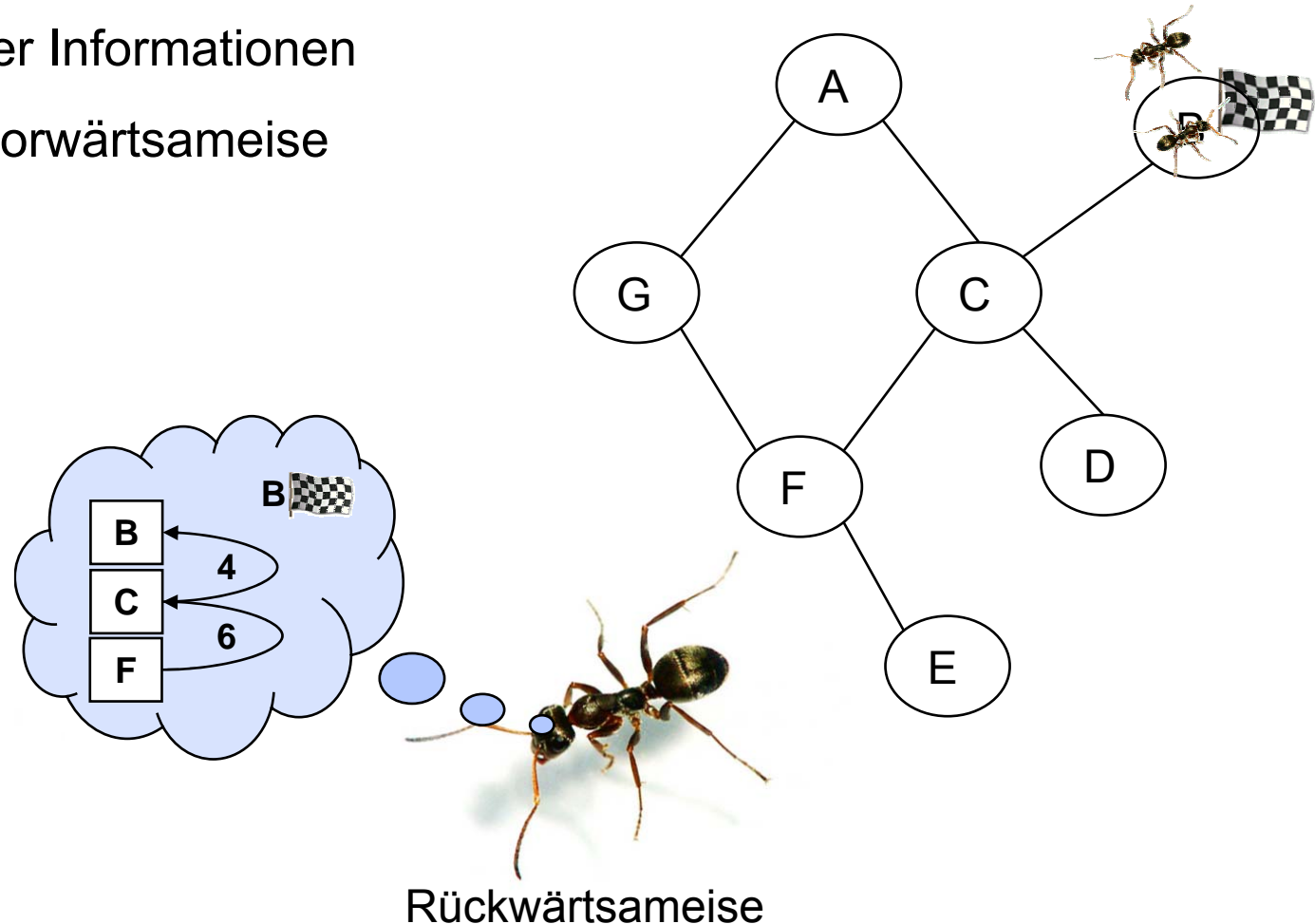


Vorwärtsameise

# Das AntNet-Verfahren im Ganzen

## Generierung einer Rückwärtsameise (allgemein)

- Übergeben aller Informationen
- Löschen der Vorwärtsameise

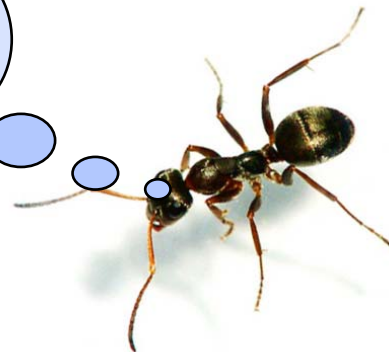
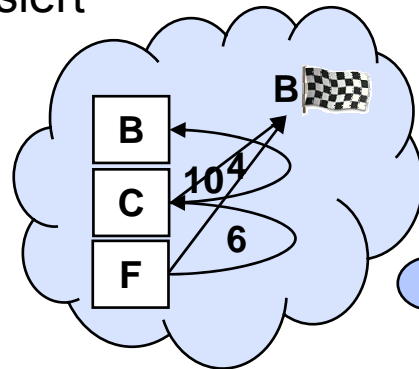




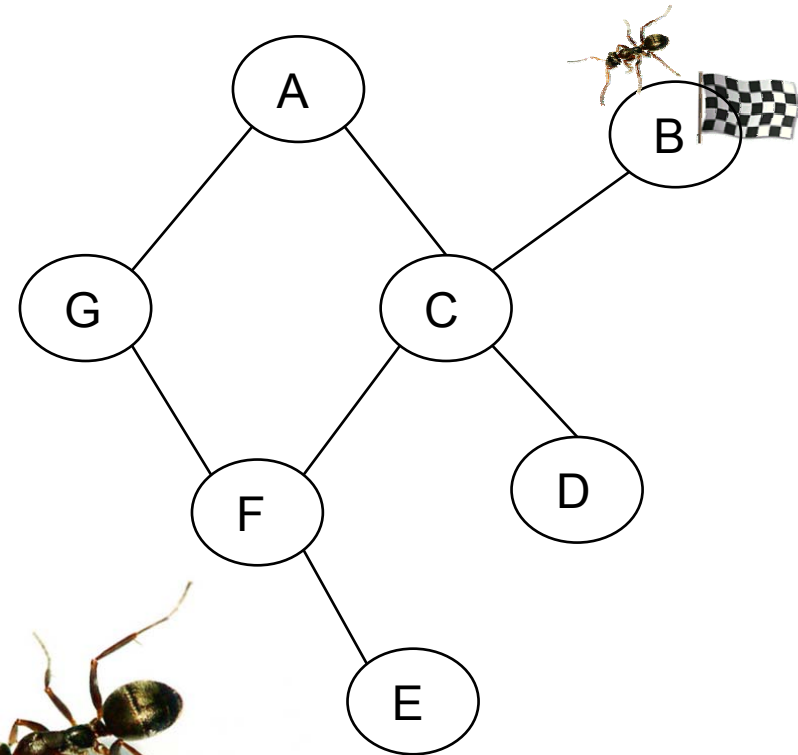
# Das AntNet-Verfahren im Ganzen

## Rückverfolgung des Weges (allgemein)

- Rückwärtsameise besucht jeden Knoten des gespeicherten Weg in umgekehrter Reihenfolge
- Besuchter Knoten vom Stack entfernt
- Gesamtzeit  $t_{id}$  wird berechnet und Knoten  $n_i$  aktualisiert

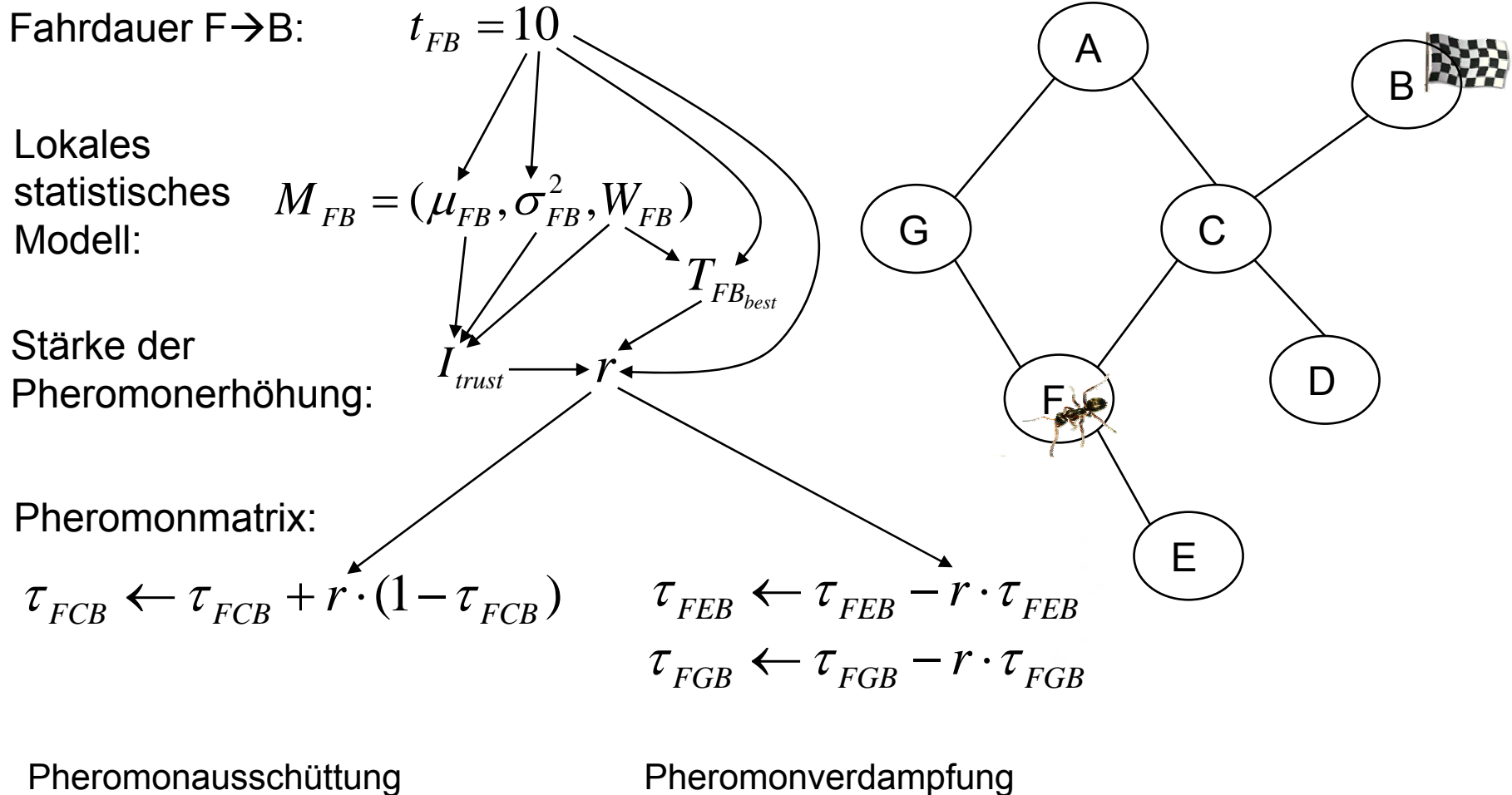


Rückwärtsameise



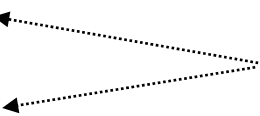
# Das AntNet-Verfahren im Ganzen

## Aktualisierung der Knoteninformationen (AntNet-spezifisch)



# Das AntNet-Verfahren im Ganzen

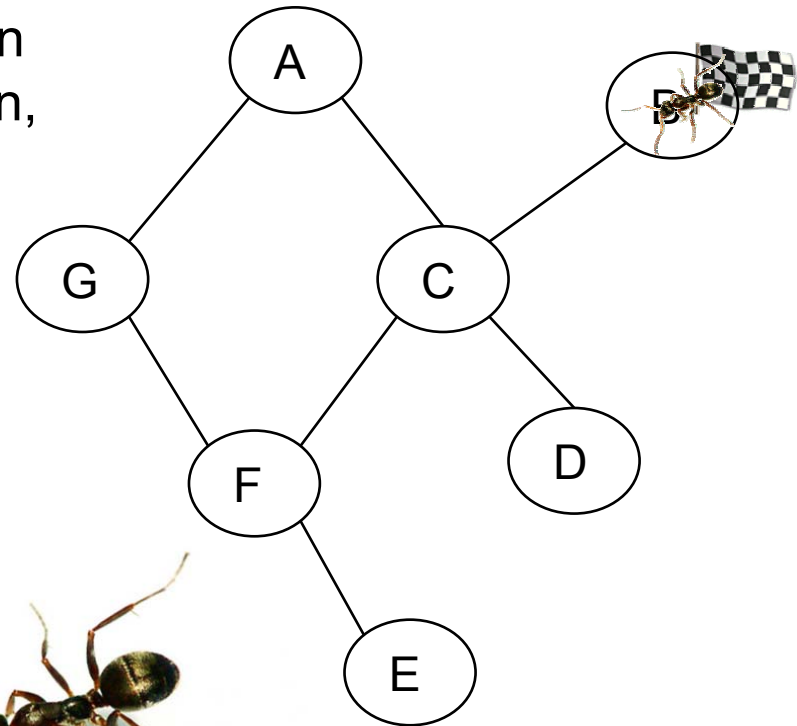
## Aktualisierung von Teilpfaden (allgemein)

- Bisher wurde bei der Aktualisierung nur das Knotenpaar  $(n_i, n_d)$  betrachtet
  - Annahme:  $R_{s \rightarrow d}$  ist die optimale Route von  $n_s$  nach  $n_d$ 
    - $n_i$  liegt auf der Route  $R_{s \rightarrow d}$
    - Dann muss  $R_{s \rightarrow i}$  die optimale Route von  $n_s$  nach  $n_i$  sein
    - Aktualisierung aller Knoten  $n_i \neq n_d$ 
      - Lokales statistisches Modell
      - Pheromonmatrix
- AntNet-spezifisch**
- 

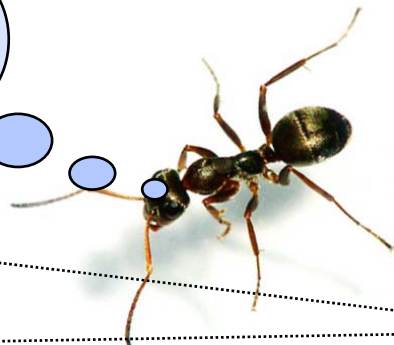
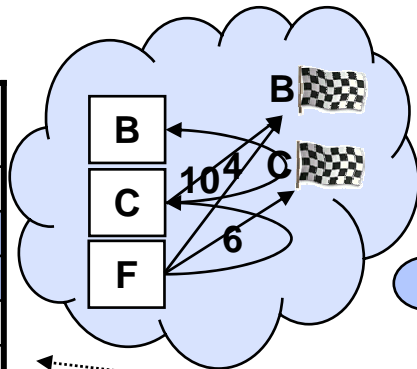
# Das AntNet-Verfahren im Ganzen

## Aktualisierung von Teilpfaden (allgemein)

- Jeder Knoten zwischen dem Startknoten und Zielknoten wird zu einem Zielknoten, wenn er vom Stack entfernt wird
- Nachfolgende Knoten aktualisieren ihre Informationen zu allen (generierten) Zielknoten



Nachbar \ Ziel	C	G	E
A	0.3	0.65	0.05
B	<b>0.5</b>	0.35	0.15
C	<b>0.9</b>	0.05	0.05
D	0.9	0.05	0.05
E	0.05	0.05	0.9
G	0.6	0.35	0.05



$M_{FA}$	$M_{FB}$	$M_{FC}$	$M_{FD}$	$M_{FE}$	$M_{FF}$	$M_{FG}$
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Rückwärtsameise

**AntNet-spezifisch**