

Einführung in die Informatik 2

– Bäume & Graphen –

Sven Kosub

AG Algorithmik/Theorie komplexer Systeme
Universität Konstanz

E 202 | Sven.Kosub@uni-konstanz.de | Sprechstunde: Freitag, 12:30-14:00 Uhr, o.n.V.

Sommersemester 2009

Bisher: Bäume als Verallgemeinerung von Listen

Jetzt: Bäume als Spezialfall von Graphen

Ein **gerichteter Graph** ist ein Paar $G = (V, E)$ bestehend aus

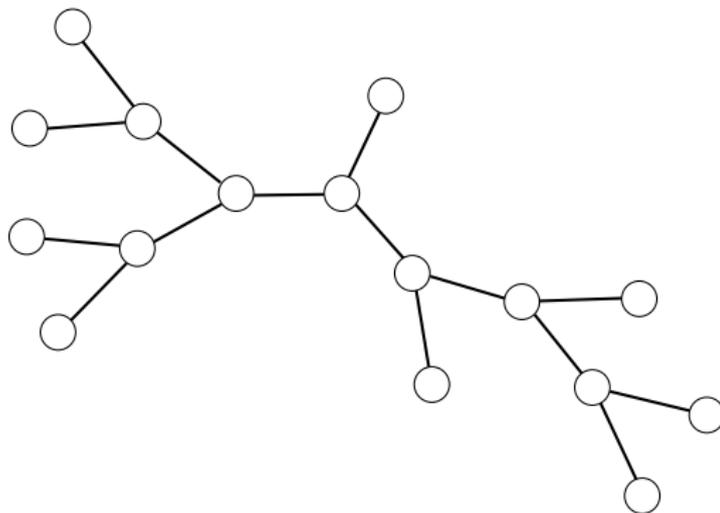
- einer (nicht-leeren) Menge V von **Knoten** oder Ecken (engl. *vertices*, *nodes*)
- einer Menge E von **gerichteten Kanten** (engl. *edges*, *arcs*):
 - Kantenmenge E ist eine binäre Relation auf V , d.h. $E \subseteq V \times V$
 - Kante $(u, v) \in E$ ist von u nach v gerichtet, symbolisch $u \longrightarrow v$; u heißt **Kopf** (engl. *head*), v heißt **Ende** (engl. *tail*)
- in Graphen als Datenstruktur dürfen sowohl Knoten als auch Kanten **Etikette** (engl. *labels*) besitzen

Ein **ungerichteter Graph** ist ein Paar $G = (V, E)$ bestehend aus

- einer (nicht-leeren) Menge V von **Knoten** oder Ecken
- einer Menge E von **ungerichteten Kanten**:
 - Kantenmenge E ist eine **symmetrische** binäre Relation auf V , d.h.
 $(u, v) \in E \iff (v, u) \in E$
 - ungerichtete Kanten werden meist durch Mengen beschrieben, also $\{u, v\} \in E$ (in Mengen spielt die Reihenfolge der Elemente keine Rolle)
 - **alternativ**: nur ein Paar angeben und festlegen, dass Graph ungerichtet sein soll

Grundbegriffe: Graphen

Baum als ungerichteter Graph:



Wo ist die Wurzel?

Grundbegriffe: Graphen

Betrachten ungerichteten Graphen $G = (V, E)$

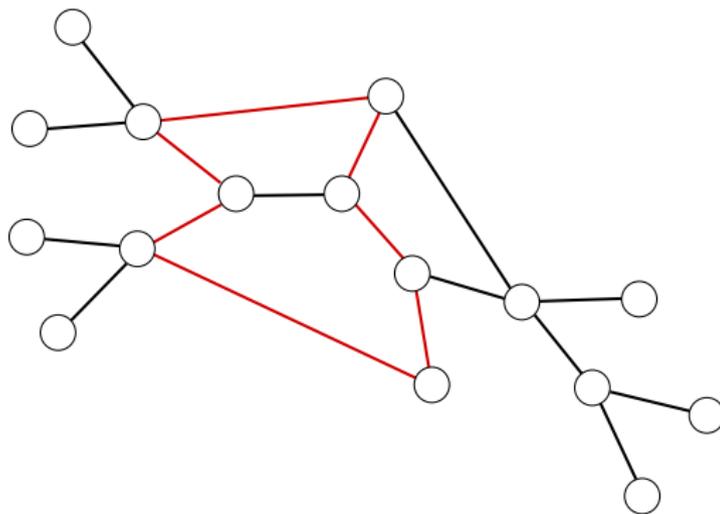
- Ein **Weg** (der Länge k) in G ist Folge von Knoten (v_0, v_1, \dots, v_k) , so dass jeweils $\{v_{i-1}, v_i\}$ eine Kante in E ist
(**Beachte:** Weg der Länge 0 besteht nur aus einem einzigen Knoten)
- Ein **Pfad** (der Länge k) in G ist eine Weg (v_0, v_1, \dots, v_k) , wobei jeder Knoten nur einmal vorkommt
- Ein **Kreis** in G ist ein Weg, bei dem der erste und der letzte Knoten übereinstimmen und bei dem keine Kante mehrfach benutzt wird

Eigenschaften eines ungerichteten Graphen $G = (V, E)$:

- G ist **zusammenhängend** \iff_{def} für alle Knoten $u, v \in V$ gibt es einen Weg mit u als erstem und v als letztem Knoten
- G ist ein **Baum** \iff_{def} G ist zusammenhängend und kreisfrei
- G ist ein **Wald** \iff_{def} G ist kreisfrei

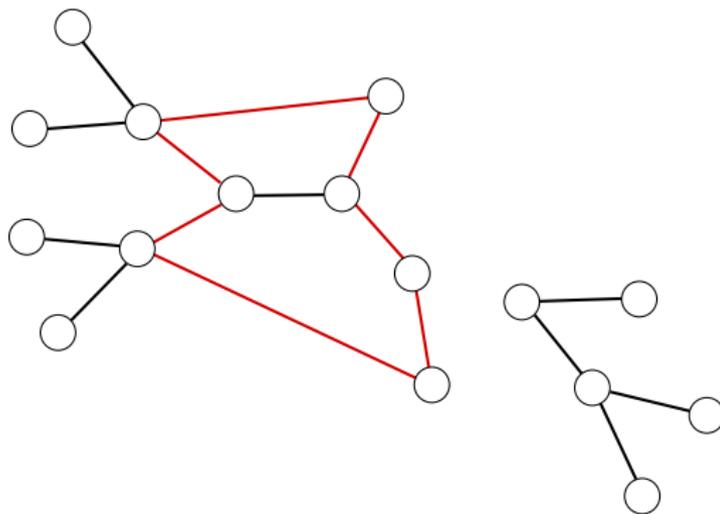
Grundbegriffe: Graphen

ungerichteter Graph mit Kreis, zusammenhängend (kein Baum):



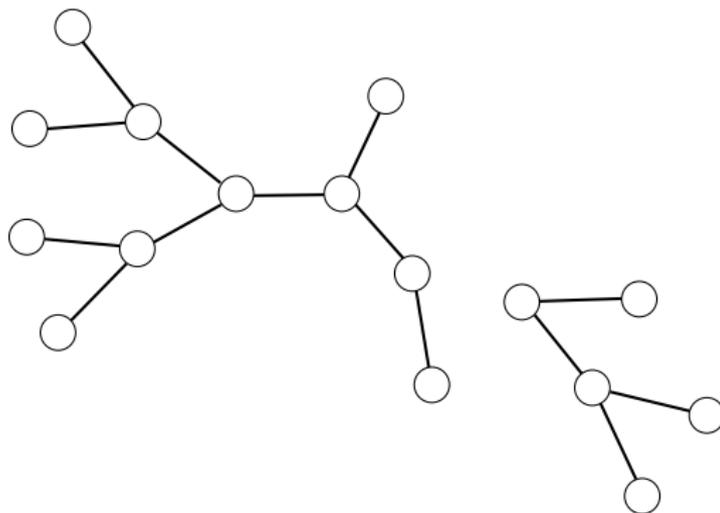
Grundbegriffe: Graphen

ungerichteter Graph mit Kreis, nicht zusammenhängend (kein Wald):



Grundbegriffe: Graphen

Wald (kein Baum):



Es sei $G = (V, E)$ ein ungerichteter Graph

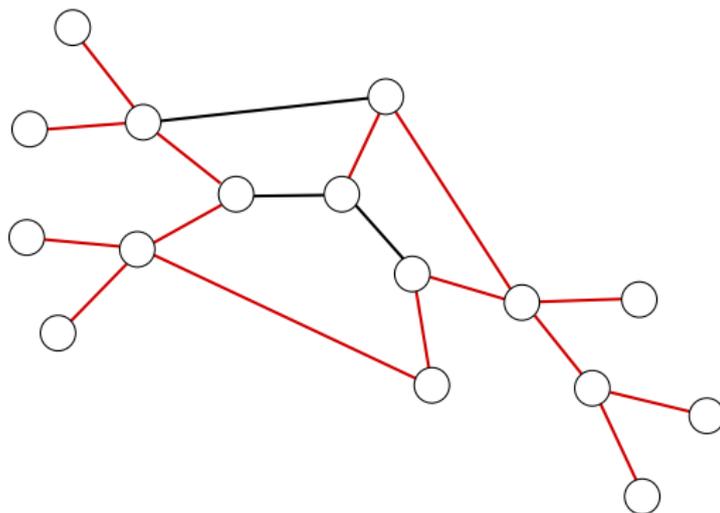
- $G' = (V', E')$ ist **Teilgraph** von $G \iff_{\text{def}} V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$
- Ein **Spannbaum** von G ist ein Teilgraph $G' = (V', E')$ von G mit folgenden Eigenschaften:
 - G' ist ein Baum
 - $V' = V$

Fakten:

- Jeder zusammenhängende, ungerichtete Graph enthält einen Spannbaum
- G ist Baum $\iff G$ ist zusammenhängend und $m = n - 1$
- G ist Baum \iff zwischen jeweils zwei Knoten von G gibt es **genau** einen Pfad

Grundbegriffe: Graphen

Graph mit Spannbaum:



Wie finden wir einen Spannbaum?

Implementierung von Graphen

Konvention:

- n ist die Anzahl der Knoten eines Graphen
- m ist die Anzahl der Kanten eines Graphen

Gebräuchliche Implementierungen:

- Kantenlisten
- Adjazenzlisten
- Adjazenzmatrix

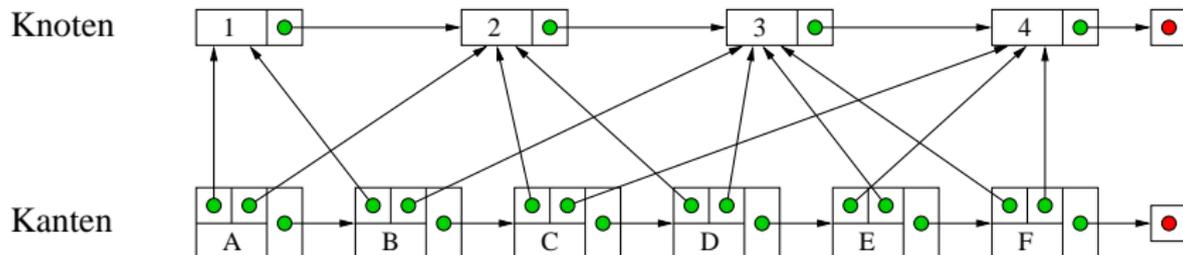
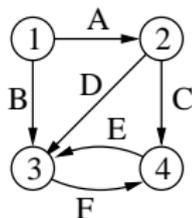
wichtige Operationen auf Graphen:

- **Adjazenztest**: Sind zwei Knoten durch eine Kante verbunden?
- **Bestimmung inzidenter Kanten**: Welche Kanten berühren einen gegebenen Knoten?

- Kantenlisten bestehen aus Knoten- und Kantenobjekten
- Knotenobjekt für einen Knoten $v \in V$:
 - Zeiger auf Datenobjekt (Label bzw. Etikett)
 - Zeiger auf nächstes Knotenobjekt
- Kantenobjekt für eine Kante $e \in E$:
 - Zeiger auf Datenobjekt (Label bzw. Etikett)
 - Zeiger auf die beteiligten Knoten (head und tail)
 - Markierung für „gerichtet“ oder „ungerichtet“
 - Zeiger auf nächstes Kantenobjekt

Implementierung von Graphen: Kantenlisten

Kantenliste für Beispielgraph:



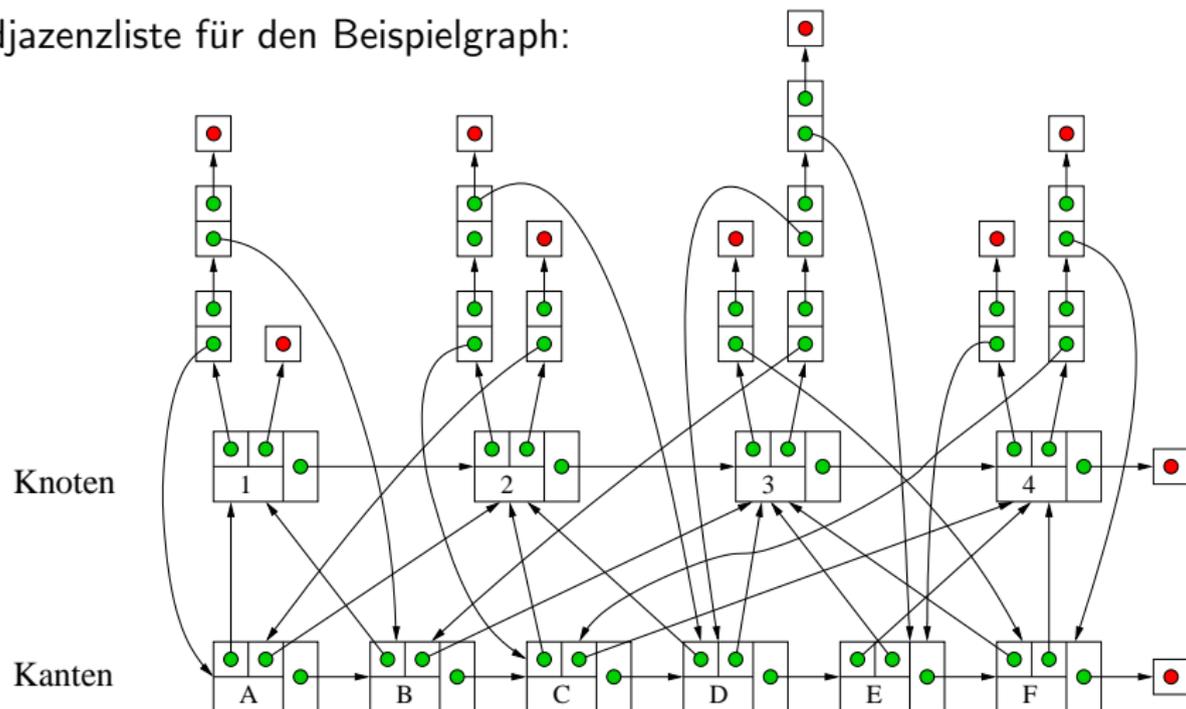
- Bestimmung inzidenter Kanten an einem Knoten in $O(m)$
- Adjazenztest in $O(m)$

Implementierung von Graphen: Adjazenzlisten

- Adjazenzlisten bestehen aus Knoten- und Kantenobjekten
- Knotenobjekt für einen Knoten $v \in V$:
 - Zeiger auf Datenobjekt (Label bzw. Etikett)
 - Zeiger auf Listen für eingehende (`inbound`) und ausgehende Kanten (`outbound`)
 - Zeiger auf nächstes Knotenobjekt
- Kantenobjekt für eine Kante $e \in E$:
 - Zeiger auf Datenobjekt (Label bzw. Etikett)
 - Zeiger auf die beteiligten Knoten (`head` und `tail`)
 - Markierung für „gerichtet“ oder „ungerichtet“
 - Zeiger auf nächstes Kantenobjekt

Implementierung von Graphen: Adjazenzliste

Adjazenzliste für den Beispielgraph:



- Bestimmung inzidenter Kanten an einem Knoten in $O(\deg(v))$
- Adjazenztest in $O(\min\{\deg(u), \deg(v)\})$

Implementierung von Graphen: Adjazenzmatrix

Adjazenzmatrix $A(G)$ für Graphen $G = (V, E)$ mit $V = \{0, \dots, n-1\}$ ist eine $n \times n$ -Matrix mit

$$a_{ij} =_{\text{def}} \begin{cases} 1 & \text{wenn } (i, j) \in E \\ 0 & \text{wenn } (i, j) \notin E \end{cases}$$

Beispielgraph $G = (V, E)$ hat folgende Adjazenzmatrix:

$$A(G) = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Implementierung von Graphen: Adjazenzmatrix

- Adjazenzmatrix (als Datenstruktur) besteht aus Knotenobjekten, Kantenobjekten und einem Matrixobjekt
- Knotenobjekt für einen Knoten $v \in V$:
 - Zeiger auf Datenobjekt (Label bzw. Etikett)
 - Index von v , d.h. seine Nummer in V
 - Zeiger auf nächstes Knotenobjekt
- Kantenobjekt wie bei Kantenlisten
- Matrixobjekt als $n \times n$ -Reihung A mit $A[i][j]$ enthält Zeiger auf Kantenobjekt für Kante $e = (i, j)$ (für ungerichtete Graphen: $A[i][j]=A[j][i]$), sonst null

- Bestimmung inzidenter Kanten an einem Knoten in $O(\min\{n, m\})$
- Adjazenztest in $O(1)$
- **Problem:** stets $O(n^2)$ Speicherplatz unabhängig von Anzahl tatsächlich vorhandener Kanten (nur für dichte Graphen sinnvoll)