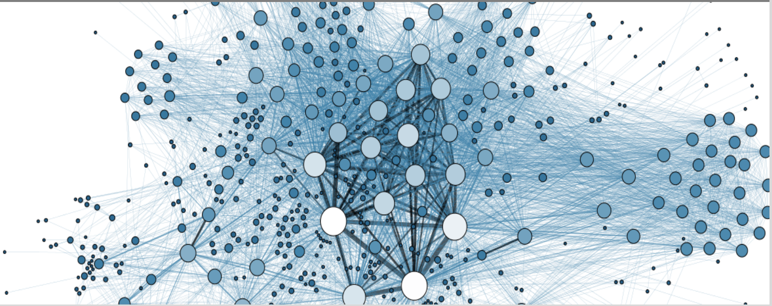
Grundbegriffe der Informatik
Tutorium 33

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu | 12.01.2017



Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Graphen

Definition: Graph

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Graphen

Karlsruher Institut für Technologie

Definition: Graph

Ein Graph $G = (V, E)$ ist ein Tupel aus:

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Graphen

Karlsruher Institut für Technologie

Definition: Graph

Ein Graph $G = (V, E)$ ist ein Tupel aus:

- Einer endlichen, nichtleeren Knotenmenge V

Graphen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition: Graph

Ein Graph $G = (V, E)$ ist ein Tupel aus:

- Einer endlichen, nichtleeren Knotenmenge V
- Einer endlichen Kantenmenge $E \subseteq V \times V$

Graphen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition: Graph

Ein Graph $G = (V, E)$ ist ein Tupel aus:

- Einer endlichen, nichtleeren Knotenmenge V
- Einer endlichen Kantenmenge $E \subseteq V \times V$

Beispiel: Knotenmenge $V := \{a, b, c, d\}$. Kantenmenge könnte zum Beispiel sein...

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Graphen

Definition: Graph

Ein Graph $G = (V, E)$ ist ein Tupel aus:

- Einer endlichen, nichtleeren Knotenmenge V
- Einer endlichen Kantenmenge $E \subseteq V \times V$

Beispiel: Knotenmenge $V := \{a, b, c, d\}$. Kantenmenge könnte zum Beispiel sein...

- $E := \{(a, b), (c, d), (a, d)\}$

Graphen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition: Graph

Ein Graph $G = (V, E)$ ist ein Tupel aus:

- Einer endlichen, nichtleeren Knotenmenge V
- Einer endlichen Kantenmenge $E \subseteq V \times V$

Beispiel: Knotenmenge $V := \{a, b, c, d\}$. Kantenmenge könnte zum Beispiel sein...

- $E := \{(a, b), (c, d), (a, d)\}$
- $E := \{(a, a), (b, b), (c, c)\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Graphen

Karlsruher Institut für Technologie

Definition: Graph

Ein Graph $G = (V, E)$ ist ein Tupel aus:

- Einer endlichen, nichtleeren Knotenmenge V
- Einer endlichen Kantenmenge $E \subseteq V \times V$

Beispiel: Knotenmenge $V := \{a, b, c, d\}$. Kantenmenge könnte zum Beispiel sein...

- $E := \{(a, b), (c, d), (a, d)\}$
- $E := \{(a, a), (b, b), (c, c)\}$
- $E := \emptyset$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Wie sehen diese Graphen aus?

Karlsruher Institut für Technologie

Beispiel: Knotenmenge $V := \{a, b, c, d\}$. Kantenmenge könnte zum Beispiel sein...

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Wie sehen diese Graphen aus?

Karlsruher Institut für Technologie

Beispiel: Knotenmenge $V := \{a, b, c, d\}$. Kantenmenge könnte zum Beispiel sein...

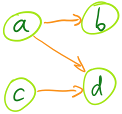
- $V := \{a, b, c, d\}, E := \{(a, b), (c, d), (a, d)\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Wie sehen diese Graphen aus?

Beispiel: Knotenmenge $V := \{a, b, c, d\}$. Kantenmenge könnte zum Beispiel sein...

- $V := \{a, b, c, d\}, E := \{(a, b), (c, d), (a, d)\}$

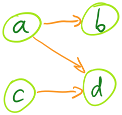


Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Wie sehen diese Graphen aus?

Beispiel: Knotenmenge $V := \{a, b, c, d\}$. Kantenmenge könnte zum Beispiel sein...

- $V := \{a, b, c, d\}, E := \{(a, b), (c, d), (a, d)\}$



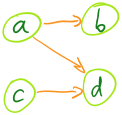
- $V := \{a, b, c, d\}, E := \{(a, a), (b, b), (c, c)\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

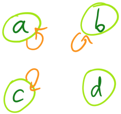
Wie sehen diese Graphen aus?

Beispiel: Knotenmenge $V := \{a, b, c, d\}$. Kantenmenge könnte zum Beispiel sein...

- $V := \{a, b, c, d\}, E := \{(a, b), (c, d), (a, d)\}$



- $V := \{a, b, c, d\}, E := \{(a, a), (b, b), (c, c)\}$



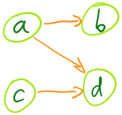
Grundbegriffe der Informatik

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

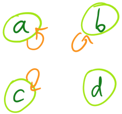
Wie sehen diese Graphen aus?

Beispiel: Knotenmenge $V := \{a, b, c, d\}$. Kantenmenge könnte zum Beispiel sein...

- $V := \{a, b, c, d\}, E := \{(a, b), (c, d), (a, d)\}$



- $V := \{a, b, c, d\}, E := \{(a, a), (b, b), (c, c)\}$



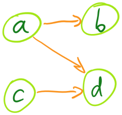
- $V := \{a, b, c, d\}, E := \emptyset$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

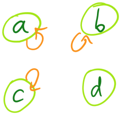
Wie sehen diese Graphen aus?

Beispiel: Knotenmenge $V := \{a, b, c, d\}$. Kantenmenge könnte zum Beispiel sein...

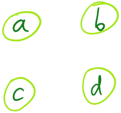
- $V := \{a, b, c, d\}, E := \{(a, b), (c, d), (a, d)\}$



- $V := \{a, b, c, d\}, E := \{(a, a), (b, b), (c, c)\}$



- $V := \{a, b, c, d\}, E := \emptyset$



Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Wann Angabe als Menge, wann als Visualisierung?

Wir verwenden gezeichnete Graphen und deren Definition als Mengen als äquivalent.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Wann Angabe als Menge, wann als Visualisierung?

Wir verwenden gezeichnete Graphen und deren Definition als Mengen als äquivalent.

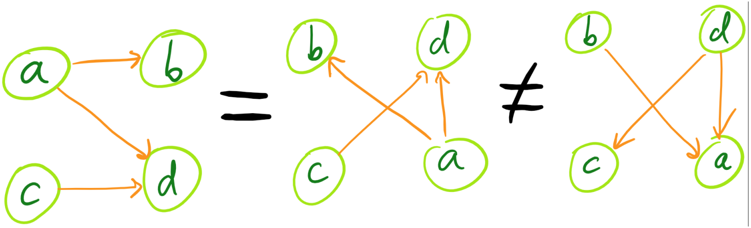
- $\{(a, b), (c, d), (a, d)\} = \{(a, b), (a, d), (c, d)\} \neq \{(b, a), (d, c), (d, a)\}$, also Kantenmenge mit unterschiedlichen Reihenfolgen darstellbar. Genauso die Knotenmenge.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Wann Angabe als Menge, wann als Visualisierung?

Wir verwenden gezeichnete Graphen und deren Definition als Mengen als äquivalent.

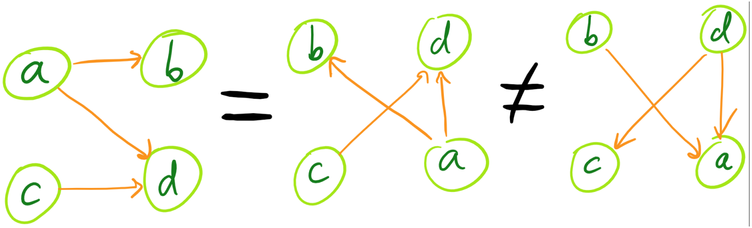
- $\{(a, b), (c, d), (a, d)\} = \{(a, b), (a, d), (c, d)\} \neq \{(b, a), (d, c), (d, a)\}$, also Kantenmenge mit unterschiedlichen Reihenfolgen darstellbar. Genauso die Knotenmenge.



Wann Angabe als Menge, wann als Visualisierung?

Wir verwenden gezeichnete Graphen und deren Definition als Mengen als äquivalent.

- $\{(a,b),(c,d),(a,d)\} = \{(a,b),(a,d),(c,d)\} \neq \{(b,a),(d,c),(d,a)\}$, also Kantenmenge mit unterschiedlichen Reihenfolgen darstellbar. Genauso die Knotenmenge.



Es kann also in jedem Fall der Graph sowohl als "Visualisierung" oder als Menge angegeben werden, beide Varianten sind formal korrekt.

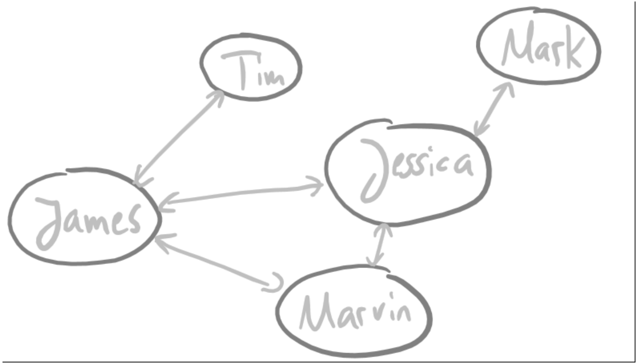
Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Praxisbeispiel: Soziales Netzwerk

Karlsruher Institut für Technologie

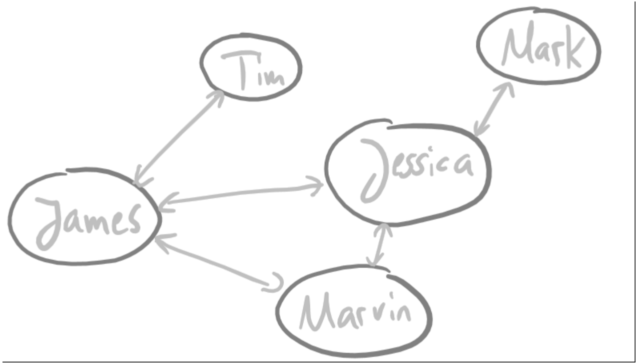
Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Praxisbeispiel: Soziales Netzwerk



Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

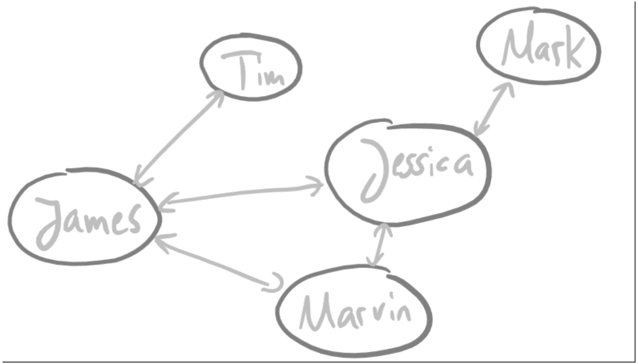
Praxisbeispiel: Soziales Netzwerk



- Ist Person *A* direkt mit Person *B* befreundet?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

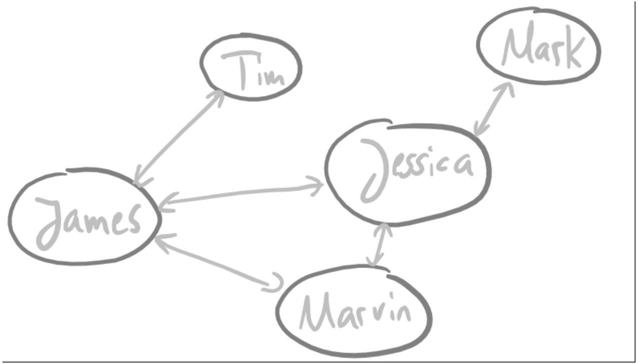
Praxisbeispiel: Soziales Netzwerk



- Ist Person A direkt mit Person B befreundet? $\Leftrightarrow$ Gibt es eine Kante (A, B)?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

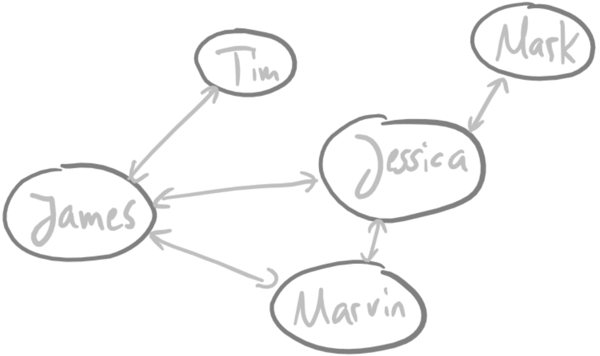
Praxisbeispiel: Soziales Netzwerk



- Ist Person A direkt mit Person B befreundet? $\Leftrightarrow$ Gibt es eine Kante (A, B)?
- Ist Person A über maximal 3 verschiedene Leute mit Person B befreundet?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

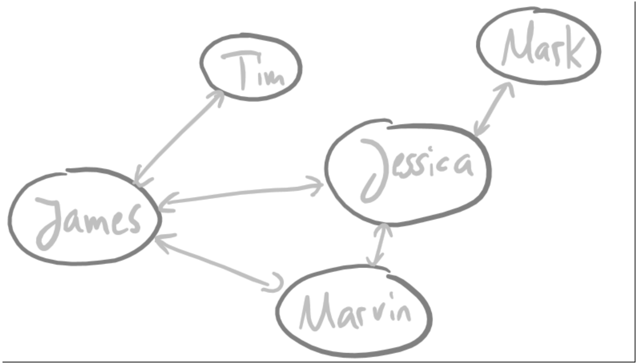
Praxisbeispiel: Soziales Netzwerk



- Ist Person *A* direkt mit Person *B* befreundet? $\Leftrightarrow$ Gibt es eine Kante (A, B)?
- Ist Person *A* über maximal 3 verschiedene Leute mit Person *B* befreundet?$\Leftrightarrow$ Gibt es einen Pfad von *A* nach *B* mit maximaler Länge 3?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

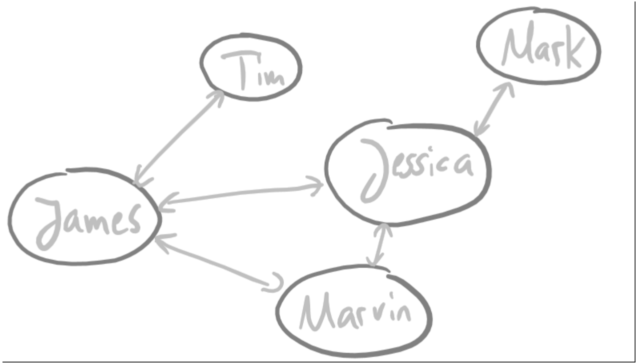
Praxisbeispiel: Soziales Netzwerk



- Ist Person A direkt mit Person B befreundet? $\Leftrightarrow$ Gibt es eine Kante (A, B)?
- Ist Person A über maximal 3 verschiedene Leute mit Person B befreundet?$\Leftrightarrow$ Gibt es einen Pfad von A nach B mit maximaler Länge 3?
- Wieviele Freunde hat Person A?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Praxisbeispiel: Soziales Netzwerk



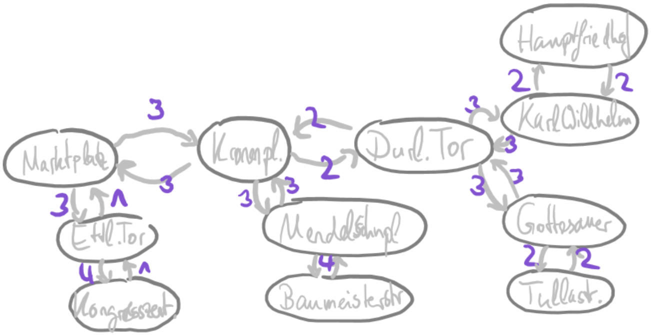
- Ist Person A direkt mit Person B befreundet? $\Leftrightarrow$ Gibt es eine Kante (A, B)?
- Ist Person A über maximal 3 verschiedene Leute mit Person B befreundet?$\Leftrightarrow$ Gibt es einen Pfad von A nach B mit maximaler Länge 3?
- Wieviele Freunde hat Person A?$\Leftrightarrow$ Welchen Grad hat Person $A \in V$?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Praxisbeispiel: Wie kommt man am schnellsten von A nach B

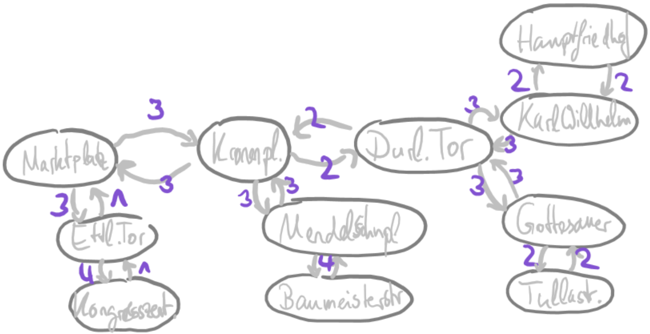
Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Praxisbeispiel: Wie kommt man am schnellsten von A nach B



Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

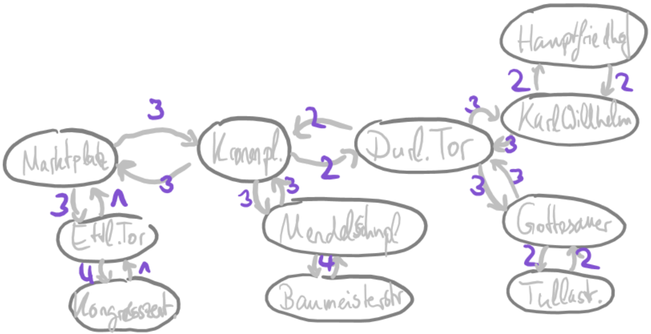
Praxisbeispiel: Wie kommt man am schnellsten von A nach B



- Kantengewichtung: Jeder Kante wird eine Zahl $c \in \mathbb{R}$ zugewiesen.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

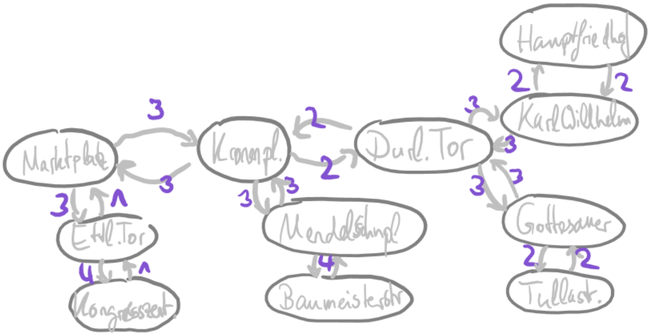
Praxisbeispiel: Wie kommt man am schnellsten von A nach B



- Kantengewichtung: Jeder Kante wird eine Zahl $c \in \mathbb{R}$ zugewiesen.
- Wie lange dauert der kürzeste Weg von Kongresszentrum nach Hauptfriedhof?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

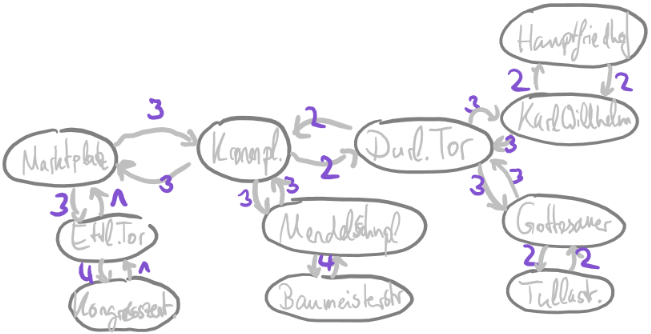
Praxisbeispiel: Wie kommt man am schnellsten von A nach B



- Kantengewichtung: Jeder Kante wird eine Zahl $c \in \mathbb{R}$ zugewiesen.
- Wie lange dauert der kürzeste Weg von Kongresszentrum nach Hauptfriedhof? $\Leftrightarrow$ Wie lang ist ein kürzester Pfad von Kongresszentrum nach Hauptfriedhof?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

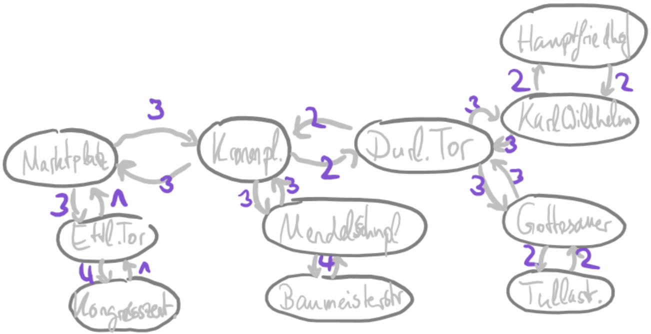
Praxisbeispiel: Wie kommt man am schnellsten von A nach B



- Kantengewichtung: Jeder Kante wird eine Zahl $c \in \mathbb{R}$ zugewiesen.
- Wie lange dauert der kürzeste Weg von Kongresszentrum nach Hauptfriedhof? $\Leftrightarrow$ Wie lang ist ein kürzester Pfad von Kongresszentrum nach Hauptfriedhof?
- Wo kommt man von Kronenplatz überall innerhalb von 5 Zeiteinheiten hin?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Praxisbeispiel: Wie kommt man am schnellsten von *A* nach *B*



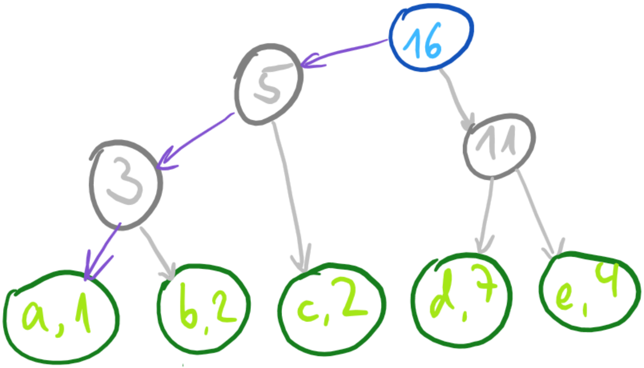
- Kantengewichtung: Jeder Kante wird eine Zahl $c \in \mathbb{R}$ zugewiesen.
- Wie lange dauert der kürzeste Weg von Kongresszentrum nach Hauptfriedhof? $\Leftrightarrow$ Wie lang ist ein kürzester Pfad von Kongresszentrum nach Hauptfriedhof?
- Wo kommt man von Kronenplatz überall innerhalb von 5 Zeiteinheiten hin? $\Leftrightarrow$ Für welche Orte $v \in V$ existiert ein Pfad $(\mathit{Kronenplatz}, \ldots, v)$ mit einer Länge von maximal 5?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Praxisbeispiel: Huffman-Bäume

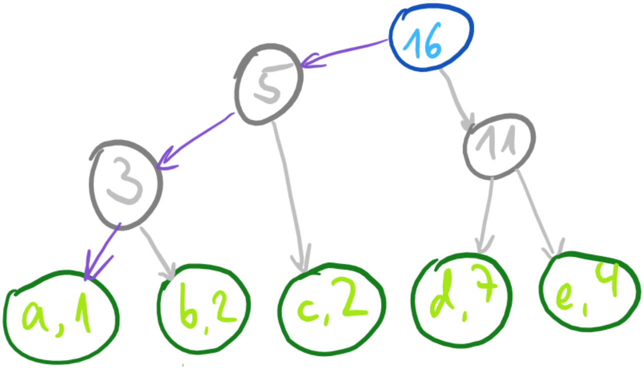
Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Praxisbeispiel: Huffman-Bäume



Praxisbeispiel: Huffman-Bäume

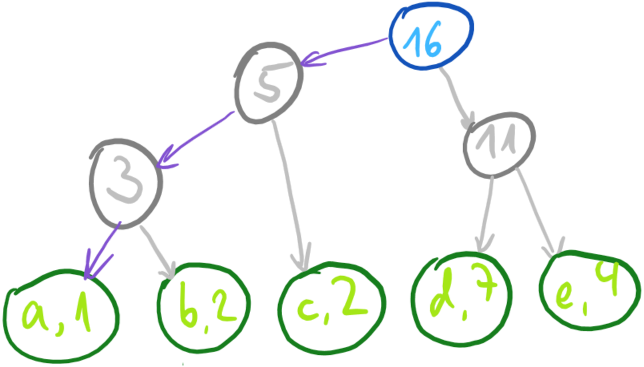
Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu



- Wie lang ist die Kodierung vom Zeichen c?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

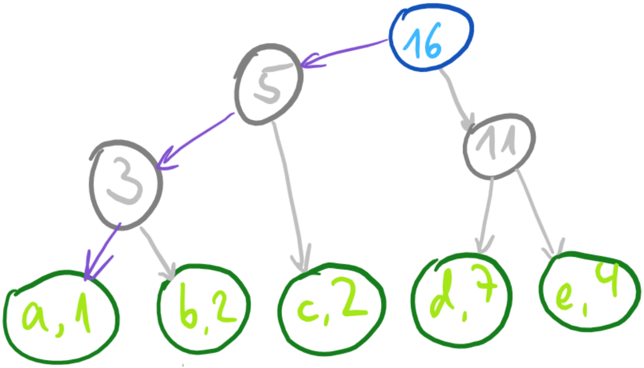
Praxisbeispiel: Huffman-Bäume



- Wie lang ist die Kodierung vom Zeichen c? $\Leftrightarrow$ Wie lang ist der Pfad von Wurzel zu Knoten c? In diesem Fall 2.

Praxisbeispiel: Huffman-Bäume

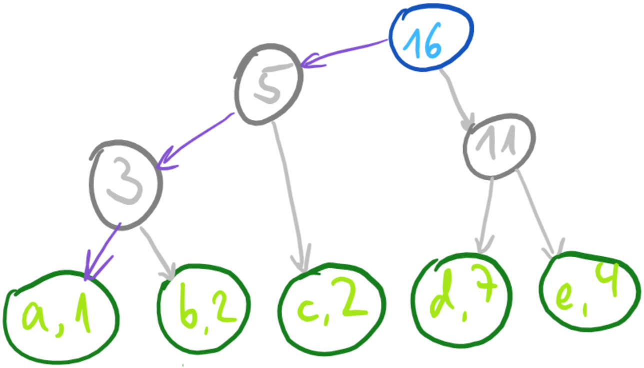
Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu



- Wie lang ist die Kodierung vom Zeichen c? $\Leftrightarrow$ Wie lang ist der Pfad von Wurzel zu Knoten c? In diesem Fall 2.
- Wie viele Zeichen werden kodiert?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Praxisbeispiel: Huffman-Bäume

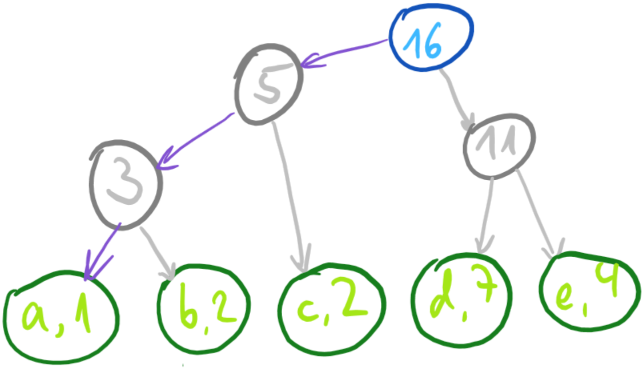


- Wie lang ist die Kodierung vom Zeichen c?$\Leftrightarrow$ Wie lang ist der Pfad von Wurzel zu Knoten c? In diesem Fall 2.
- Wie viele Zeichen werden kodiert? $\Leftrightarrow$ Wie viele Knoten sind von der Wurzel erreichbar, die selbst keine ausgehenden Kanten haben?

Grundbegriffe der Informatik

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Praxisbeispiel: Huffman-Bäume



- Wie lang ist die Kodierung vom Zeichen *c*?⇔ Wie lang ist der Pfad von Wurzel zu Knoten *c*? In diesem Fall 2.
- Wie viele Zeichen werden kodiert? ⇔ Wie viele Knoten sind von der Wurzel erreichbar, die selbst keine ausgehenden Kanten haben? ⇔ Wie viele Blätter hat der Baum?

Ungerichtete Graphen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Ungerichtete Graphen

- Bis jetzt

Ungerichtete Graphen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

- Bis jetzt: Gerichtete Graphen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Ungerichtete Graphen

- Bis jetzt: Gerichtete Graphen, dh. Kanten (u, v) hatten eine Richtung von Knoten u nach Knoten v.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Ungerichtete Graphen

- Bis jetzt: Gerichtete Graphen, dh. Kanten (u, v) hatten eine Richtung von Knoten u nach Knoten v.

Ungerichteter Graph

Ein ungerichteter Graph ist ein Graph

Ungerichtete Graphen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

- Bis jetzt: Gerichtete Graphen, dh. Kanten (u, v) hatten eine Richtung von Knoten u nach Knoten v.

Ungerichteter Graph

Ein ungerichteter Graph ist ein Graph, dessen Kanten Mengen, und keine Tupel sind.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Ungerichtete Graphen

Karlsruher Institut für Technologie

- Bis jetzt: Gerichtete Graphen, dh. Kanten (u, v) hatten eine Richtung von Knoten u nach Knoten v.

Ungerichteter Graph

Ein ungerichteter Graph ist ein Graph, dessen Kanten Mengen, und keine Tupel sind.

- Beispiel: Statt Kante (u, v) jetzt Kante $\{u, v\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Ungerichtete Graphen

- Bis jetzt: Gerichtete Graphen, dh. Kanten (u, v) hatten eine Richtung von Knoten u nach Knoten v.

Ungerichteter Graph

Ein ungerichteter Graph ist ein Graph, dessen Kanten Mengen, und keine Tupel sind.

- Beispiel: Statt Kante (u, v) jetzt Kante $\{u, v\} = \{v, u\}$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Ungerichtete Graphen

- Bis jetzt: Gerichtete Graphen, dh. Kanten (u, v) hatten eine Richtung von Knoten u nach Knoten v.

Ungerichteter Graph

Ein ungerichteter Graph ist ein Graph, dessen Kanten Mengen, und keine Tupel sind.

- Beispiel: Statt Kante (u, v) jetzt Kante $\{u, v\} = \{v, u\}$.
- Information über Richtung geht also verloren, Kanten verbinden nur noch Knoten, ohne sich zu merken, welcher Knoten Start und welcher Ziel ist.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Teilgraph

Karlsruher Institut für Technologie

Teilgraph

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Teilgraph

Karlsruher Institut für Technologie

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$

Teilgraph

Karlsruher Institut für Technologie

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert

Grundbegriffe der Informatik

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Teilgraph

Karlsruher Institut für Technologie

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Teilgraph

Karlsruher Institut für Technologie

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$, falls gilt $V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$.

Teilgraph

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$, falls gilt $V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$.

- Beispiel: Sei $G := (V, E)$ mit $V := \{a, b, c, d, e, f\}$ und $E := \{(b, a), (b, f), (f, d), (e, f), (f, a), (e, b), (a, e), (f, c), (a, c), (c, a), (c, e)\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Teilgraph

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$, falls gilt $V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$.

- Beispiel: Sei $G := (V, E)$ mit $V := \{a, b, c, d, e, f\}$ und $E := \{(b, a), (b, f), (f, d), (e, f), (f, a), (e, b), (a, e), (f, c), (a, c), (c, a), (c, e)\}$
- Ist ein Graph mit $V_1 := \{a, c, d, e, f\}, E_1 := \{(a, c), (c, a), (a, e), (f, d)\}$ ein Teilgraph von G?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Teilgraph

Karlsruher Institut für Technologie

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$, falls gilt $V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$.

- Beispiel: Sei $G := (V, E)$ mit $V := \{a, b, c, d, e, f\}$ und $E := \{(b, a), (b, f), (f, d), (e, f), (f, a), (e, b), (a, e), (f, c), (a, c), (c, a), (c, e)\}$
- Ist ein Graph mit $V_1 := \{a, c, d, e, f\}, E_1 := \{(a, c), (c, a), (a, e), (f, d)\}$ ein Teilgraph von G?
- Ist ein Graph mit $V_2 := \{d, f\}, E_2 := \{(f, d)\}$ ein Teilgraph von G?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Teilgraph

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$, falls gilt $V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$.

- Beispiel: Sei $G := (V, E)$ mit $V := \{a, b, c, d, e, f\}$ und $E := \{(b, a), (b, f), (f, d), (e, f), (f, a), (e, b), (a, e), (f, c), (a, c), (c, a), (c, e)\}$
- Ist ein Graph mit $V_1 := \{a, c, d, e, f\}, E_1 := \{(a, c), (c, a), (a, e), (f, d)\}$ ein Teilgraph von G?
- Ist ein Graph mit $V_2 := \{d, f\}, E_2 := \{(f, d)\}$ ein Teilgraph von G?
- Ist ein Graph mit $V_3 = E_3 = \emptyset$ ein Teilgraph von G?

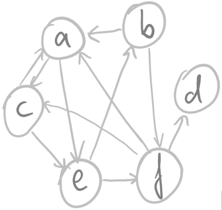
Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Teilgraph

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$, falls gilt $V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$.

- Beispiel: Sei $G := (V, E)$ mit $V := \{a, b, c, d, e, f\}$ und $E := \{(b, a), (b, f), (f, d), (e, f), (f, a), (e, b), (a, e), (f, c), (a, c), (c, a), (c, e)\}$
- Ist ein Graph mit $V_1 := \{a, c, d, e, f\}, E_1 := \{(a, c), (c, a), (a, e), (f, d)\}$ ein Teilgraph von G?
- Ist ein Graph mit $V_2 := \{d, f\}, E_2 := \{(f, d)\}$ ein Teilgraph von G?
- Ist ein Graph mit $V_3 = E_3 = \emptyset$ ein Teilgraph von G?



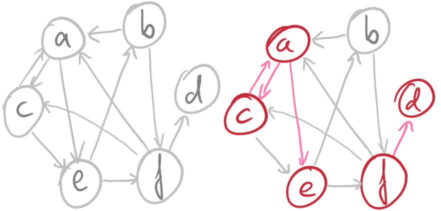
Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Teilgraph

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$, falls gilt $V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$.

- Beispiel: Sei $G := (V, E)$ mit $V := \{a, b, c, d, e, f\}$ und $E := \{(b, a), (b, f), (f, d), (e, f), (f, a), (e, b), (a, e), (f, c), (a, c), (c, a), (c, e)\}$
- Ist ein Graph mit $V_1 := \{a, c, d, e, f\}, E_1 := \{(a, c), (c, a), (a, e), (f, d)\}$ ein Teilgraph von G?
- Ist ein Graph mit $V_2 := \{d, f\}, E_2 := \{(f, d)\}$ ein Teilgraph von G?
- Ist ein Graph mit $V_3 = E_3 = \emptyset$ ein Teilgraph von G?



Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

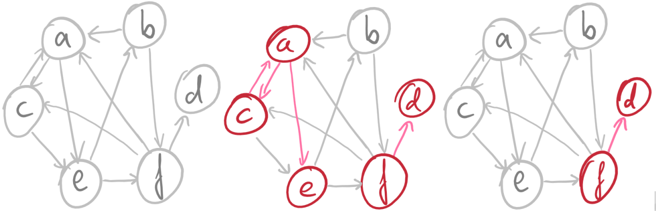
Teilgraph

Karlsruher Institut für Technologie

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$, falls gilt $V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$.

- Beispiel: Sei $G := (V, E)$ mit $V := \{a, b, c, d, e, f\}$ und $E := \{(b, a), (b, f), (f, d), (e, f), (f, a), (e, b), (a, e), (f, c), (a, c), (c, a), (c, e)\}$
- Ist ein Graph mit $V_1 := \{a, c, d, e, f\}, E_1 := \{(a, c), (c, a), (a, e), (f, d)\}$ ein Teilgraph von G?
- Ist ein Graph mit $V_2 := \{d, f\}, E_2 := \{(f, d)\}$ ein Teilgraph von G?
- Ist ein Graph mit $V_3 = E_3 = \emptyset$ ein Teilgraph von G?



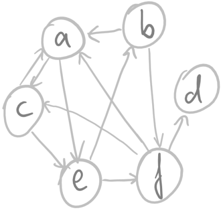
Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

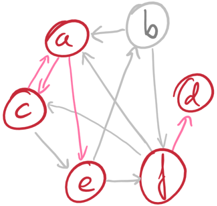
Teilgraph

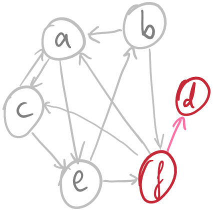
Teilgraph

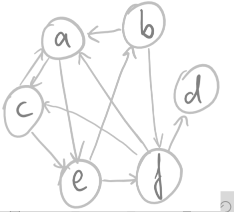
Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$, falls gilt $V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$.

- Beispiel: Sei $G := (V, E)$ mit $V := \{a, b, c, d, e, f\}$ und $E := \{(b, a), (b, f), (f, d), (e, f), (f, a), (e, b), (a, e), (f, c), (a, c), (c, a), (c, e)\}$
- Ist ein Graph mit $V_1 := \{a, c, d, e, f\}, E_1 := \{(a, c), (c, a), (a, e), (f, d)\}$ ein Teilgraph von G?
- Ist ein Graph mit $V_2 := \{d, f\}, E_2 := \{(f, d)\}$ ein Teilgraph von G?
- Ist ein Graph mit $V_3 = E_3 = \emptyset$ ein Teilgraph von G?









Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Teilgraph

Karlsruher Institut für Technologie

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$, falls gilt $V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$.

- Beispiel: Sei $G := (V, E)$ mit $V := \{a, b, c, d, e, f\}$ und $E := \{(b, a), (b, f), (f, d), (e, f), (f, a), (e, b), (a, e), (f, c), (a, c), (c, a), (c, e)\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Teilgraph

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$, falls gilt $V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$.

- Beispiel: Sei $G := (V, E)$ mit $V := \{a, b, c, d, e, f\}$ und $E := \{(b, a), (b, f), (f, d), (e, f), (f, a), (e, b), (a, e), (f, c), (a, c), (c, a), (c, e)\}$
- Ist ein Graph mit $V_4 := \{a, b\}, E_4 := \{(f, d)\}$ ein Teilgraph von G?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Teilgraph

Karlsruher Institut für Technologie

Teilgraph

Zu einem Graph $G := (V, E)$ ist ein Teilgraph definiert als $G' = (V', E')$, falls gilt $V' \subseteq V$ und $E' \subseteq E$.

- Beispiel: Sei $G := (V, E)$ mit $V := \{a, b, c, d, e, f\}$ und $E := \{(b, a), (b, f), (f, d), (e, f), (f, a), (e, b), (a, e), (f, c), (a, c), (c, a), (c, e)\}$
- Ist ein Graph mit $V_4 := \{a, b\}, E_4 := \{(f, d)\}$ ein Teilgraph von G?
- Ist ein Graph mit $V_5 := \{g, a\}, E_5 := \{(g, a), (a, g)\}$ ein Teilgraph von G?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Weg/Pfad

Karlsruher Institut für Technologie

Pfad informell

Ein Pfad $(u, \ldots, v)$ ist eine Aneinanderreihung von Knoten

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Weg/Pfad

Karlsruher Institut für Technologie

Pfad informell

Ein Pfad $(u, ..., v)$ ist eine Aneinanderreihung von Knoten, die jeweils mit Kanten verbunden sind

Weg/Pfad

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Pfad informell

Ein Pfad $(u, ..., v)$ ist eine Aneinanderreihung von Knoten, die jeweils mit Kanten verbunden sind, sodass man über das traversieren der Kanten vom Startknoten $u \in V$ zum Zielknoten $v \in V$ kommt.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Weg/Pfad

Karlsruher Institut für Technologie

Pfad informell

Ein Pfad $(u, ..., v)$ ist eine Aneinanderreihung von Knoten, die jeweils mit Kanten verbunden sind, sodass man über das traversieren der Kanten vom Startknoten $u \in V$ zum Zielknoten $v \in V$ kommt.

Anmerkung: Wenn man sich einen Knoten $x \in V$ merkt und eine Kante $(x, y) \in E$ traversiert, so gelangt man zu Knoten y.

Weg/Pfad

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Pfad informell

Ein Pfad $(u, ..., v)$ ist eine Aneinanderreihung von Knoten, die jeweils mit Kanten verbunden sind, sodass man über das traversieren der Kanten vom Startknoten $u \in V$ zum Zielknoten $v \in V$ kommt.

Anmerkung: Wenn man sich einen Knoten $x \in V$ merkt und eine Kante $(x, y) \in E$ traversiert, so gelangt man zu Knoten y.

Pfad formell

Ein Pfad $P := (v_0, v_1, ..., v_n)$ der Länge n

Weg/Pfad

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Pfad informell

Ein Pfad $(u, ..., v)$ ist eine Aneinanderreihung von Knoten, die jeweils mit Kanten verbunden sind, sodass man über das traversieren der Kanten vom Startknoten $u \in V$ zum Zielknoten $v \in V$ kommt.

Anmerkung: Wenn man sich einen Knoten $x \in V$ merkt und eine Kante $(x, y) \in E$ traversiert, so gelangt man zu Knoten y.

Pfad formell

Ein Pfad $P := (v_0, v_1, ..., v_n)$ der Länge n ist eine Permutation auf V

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Weg/Pfad

Pfad informell

Ein Pfad $(u, ..., v)$ ist eine Aneinanderreihung von Knoten, die jeweils mit Kanten verbunden sind, sodass man über das traversieren der Kanten vom Startknoten $u \in V$ zum Zielknoten $v \in V$ kommt.

Anmerkung: Wenn man sich einen Knoten $x \in V$ merkt und eine Kante $(x, y) \in E$ traversiert, so gelangt man zu Knoten y.

Pfad formell

Ein Pfad $P := (v_0, v_1, ..., v_n)$ der Länge n ist eine Permutation auf V , wobei gilt:

Weg/Pfad

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Pfad informell

Ein Pfad $(u, ..., v)$ ist eine Aneinanderreihung von Knoten, die jeweils mit Kanten verbunden sind, sodass man über das traversieren der Kanten vom Startknoten $u \in V$ zum Zielknoten $v \in V$ kommt.

Anmerkung: Wenn man sich einen Knoten $x \in V$ merkt und eine Kante $(x, y) \in E$ traversiert, so gelangt man zu Knoten y.

Pfad formell

Ein Pfad $P := (v_0, v_1, ..., v_n)$ der Länge n ist eine Permutation auf V , wobei gilt: $\forall i \in \mathbb{Z}_n : (v_i, v_{i+1}) \in E$.

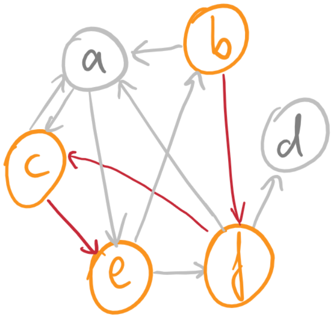
Weg/Pfad

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Pfad informell

Ein Pfad $(u, ..., v)$ ist eine Aneinanderreihung von Knoten, die jeweils mit Kanten verbunden sind, sodass man über das traversieren der Kanten vom Startknoten $u \in V$ zum Zielknoten $v \in V$ kommt.

Anmerkung: Wenn man sich einen Knoten $x \in V$ merkt und eine Kante $(x, y) \in E$ traversiert, so gelangt man zu Knoten y.



Pfad formell

Ein Pfad $P := (v_0, v_1, ..., v_n)$ der Länge n ist eine Permutation auf V , wobei gilt:
$\forall i \in \mathbb{Z}_n : (v_i, v_{i+1}) \in E$.

Weg/Pfad

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

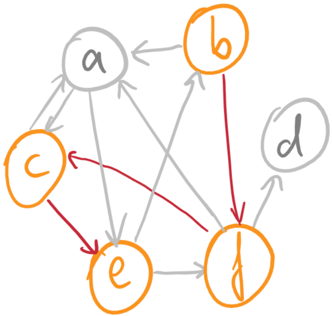
Pfad informell

Ein Pfad $(u, \ldots, v)$ ist eine Aneinanderreihung von Knoten, die jeweils mit Kanten verbunden sind, sodass man über das traversieren der Kanten vom Startknoten $u \in V$ zum Zielknoten $v \in V$ kommt.

Anmerkung: Wenn man sich einen Knoten $x \in V$ merkt und eine Kante $(x, y) \in E$ traversiert, so gelangt man zu Knoten y.

Pfad formell

Ein Pfad $P := (v_0, v_1, \ldots, v_n)$ der Länge n ist eine Permutation auf V, wobei gilt: $\forall i \in \mathbb{Z}_n : (v_i, v_{i+1}) \in E$.



Der Pfad (b, f, c, e) ist ein möglicher Pfad von b nach e der Länge 4.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Weg/Pfad

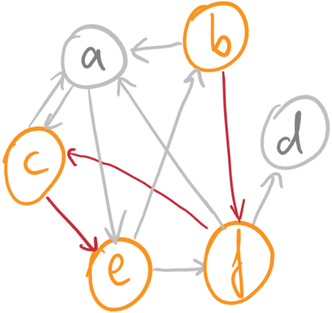
Pfad informell

Ein Pfad $(u, ..., v)$ ist eine Aneinanderreihung von Knoten, die jeweils mit Kanten verbunden sind, sodass man über das traversieren der Kanten vom Startknoten $u \in V$ zum Zielknoten $v \in V$ kommt.

Anmerkung: Wenn man sich einen Knoten $x \in V$ merkt und eine Kante $(x, y) \in E$ traversiert, so gelangt man zu Knoten y.

Pfad formell

Ein Pfad $P := (v_0, v_1, ..., v_n)$ der Länge n ist eine Permutation auf V, wobei gilt: $\forall i \in \mathbb{Z}_n : (v_i, v_{i+1}) \in E$.



Der Pfad (b, f, c, e) ist ein möglicher Pfad von b nach e der Länge 4.
Gibt es noch andere solcher Pfade?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Zyklus

Zyklus

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Zyklus

Karlsruher Institut für Technologie

Zyklus

Ein Zyklus ist ein Pfad $(v_1, \ldots, v_n)$ mit $v_1 = v_n$.

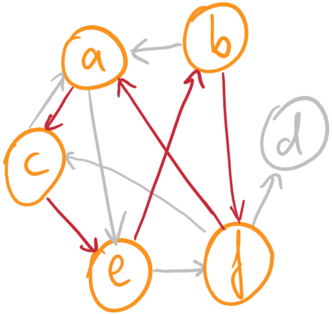
Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Zyklus

Karlsruher Institut für Technologie

Zyklus

Ein Zyklus ist ein Pfad $(v_1, \ldots, v_n)$ mit $v_1 = v_n$.

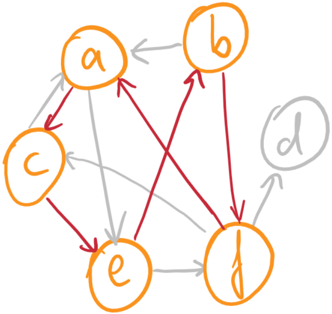


Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Zyklus

Zyklus

Ein Zyklus ist ein Pfad $(v_1, ..., v_n)$ mit $v_1 = v_n$.



Der Pfad (b, f, a, c, e) ist ein möglicher Zyklus.

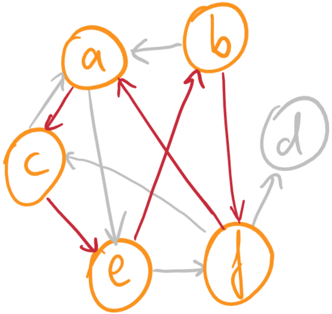
Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Zyklus

Karlsruher Institut für Technologie

Zyklus

Ein Zyklus ist ein Pfad $(v_1, \dots, v_n)$ mit $v_1 = v_n$.



Der Pfad (b, f, a, c, e) ist ein möglicher Zyklus.
Gibt es noch andere Zyklen?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Zusammenhängend

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Zusammenhängend

Zusammenhängender Graph

Ein ungerichteter Graph heißt zusammenhängend, wenn gilt: $\forall u, v \in V \exists$ Pfad von u nach v.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Zusammenhängend

Zusammenhängender Graph

Ein ungerichteter Graph heißt zusammenhängend, wenn gilt: $\forall u, v \in V \exists$ Pfad von u nach v.

Stark zusammenhängender Graph

Ein gerichteter Graph heißt stark zusammenhängend, wenn gilt: $\forall u, v \in V \exists$ Pfad von u nach v.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Zusammenhängend

Karlsruher Institut für Technologie

Zusammenhängender Graph

Ein ungerichteter Graph heißt zusammenhängend, wenn gilt: $\forall u, v \in V \exists$ Pfad von u nach v.

Stark zusammenhängender Graph

Ein gerichteter Graph heißt stark zusammenhängend, wenn gilt: $\forall u, v \in V \exists$ Pfad von u nach v.

Schwach zusammenhängender Graph

Ein gerichteter Graph heißt schwach zusammenhängend, wenn der zugehörige ungerichteter Graph zusammenhängend ist.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Knotengrad

Karlsruher Institut für Technologie

Eingangsgrad

Der Eingangsgrad eines Knoten $u \in V$ ist definiert als:

$d_-(u) := |\{(v, u) \in E : v \in V\}|$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Knotengrad

Karlsruher Institut für Technologie

Eingangsgrad

Der Eingangsgrad eines Knoten $u \in V$ ist definiert als:
$d_{-}(u) := |\{(v, u) \in E : v \in V\}|$, also die Anzahl der Kanten, die in den Knoten u zeigen.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Knotengrad

Karlsruher Institut für Technologie

Eingangsgrad

Der Eingangsgrad eines Knoten $u \in V$ ist definiert als:
$d_-(u) := |\{(v, u) \in E : v \in V\}|$, also die Anzahl der Kanten, die in den Knoten u zeigen.

Ausgangsgrad

Der Ausgangsgrad eines Knoten $u \in V$ ist definiert als:
$d_+(u) := |\{(u, v) \in E : v \in V\}|$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Knotengrad

Karlsruher Institut für Technologie

Eingangsgrad

Der Eingangsgrad eines Knoten $u \in V$ ist definiert als:
$d_-(u) := |\{(v, u) \in E : v \in V\}|$, also die Anzahl der Kanten, die in den Knoten u zeigen.

Ausgangsgrad

Der Ausgangsgrad eines Knoten $u \in V$ ist definiert als:
$d_+(u) := |\{(u, v) \in E : v \in V\}|$, also die Anzahl der Kanten, die vom Knoten u aus weg zeigen.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Knotengrad

Karlsruher Institut für Technologie

Eingangsgrad

Der Eingangsgrad eines Knoten $u \in V$ ist definiert als:
$d_-(u) := |\{(v,u) \in E : v \in V\}|$, also die Anzahl der Kanten, die in den Knoten u zeigen.

Ausgangsgrad

Der Ausgangsgrad eines Knoten $u \in V$ ist definiert als:
$d_+(u) := |\{(u,v) \in E : v \in V\}|$, also die Anzahl der Kanten, die vom Knoten u aus weg zeigen.

Grad

Der Grad eines Knoten u ist definiert als: $d(u) := d_+(u) + d_-(u)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Knotengrad

Karlsruher Institut für Technologie

Eingangsgrad

Der Eingangsgrad eines Knoten $u \in V$ ist definiert als: $d_{-}(u) := |\{(v, u) \in E : v \in V\}|$, also die Anzahl der Kanten, die in den Knoten u zeigen.

Ausgangsgrad

Der Ausgangsgrad eines Knoten $u \in V$ ist definiert als: $d_{+}(u) := |\{(u, v) \in E : v \in V\}|$, also die Anzahl der Kanten, die vom Knoten u aus weg zeigen.

Grad

Der Grad eines Knoten u ist definiert als: $d(u) := d_{+}(u) + d_{-}(u)$, also die Anzahl der Kanten, über die u verbunden ist.

Gerichtete Bäume

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Gerichtete Bäume

Karlsruher Institut für Technologie

- Kennt ihr schon: Huffman-Baum

Gerichteter Baum

Ein gerichteter Baum ist ein schwach zusammenhängender kreisfreier gerichteter Graph.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Gerichtete Bäume

Karlsruher Institut für Technologie

- Kennt ihr schon: Huffman-Baum

Gerichteter Baum

Ein gerichteter Baum ist ein schwach zusammenhängender kreisfreier gerichteter Graph.

Ungerichteter Baum

Ein ungerichteter Baum ist ein zusammenhängender kreisfreier ungerichteter Graph.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Gerichtete Bäume

- Kennt ihr schon: Huffman-Baum

Gerichteter Baum

Ein gerichteter Baum ist ein schwach zusammenhängender kreisfreier gerichteter Graph.

Ungerichteter Baum

Ein ungerichteter Baum ist ein zusammenhängender kreisfreier ungerichteter Graph.

Gerichtete Bäume

- Kennt ihr schon: Huffman-Baum

Gerichteter Baum

Ein gerichteter Baum ist ein schwach zusammenhängender kreisfreier gerichteter Graph.

Ungerichteter Baum

Ein ungerichteter Baum ist ein zusammenhängender kreisfreier ungerichteter Graph.

- Bäume haben immer einen Wurzelknoten, von dem alle anderen Knoten ausgehen.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Gerichtete Bäume

Karlsruher Institut für Technologie

- Kennt ihr schon: Huffman-Baum

Gerichteter Baum

Ein gerichteter Baum ist ein schwach zusammenhängender kreisfreier gerichteter Graph.

Ungerichteter Baum

Ein ungerichteter Baum ist ein zusammenhängender kreisfreier ungerichteter Graph.

- Bäume haben immer einen Wurzelknoten, von dem alle anderen Knoten ausgehen.
- Ungerichtete Bäume können mehrere Wurzeln haben.

Gerichtete Bäume

Karlsruher Institut für Technologie

- Kennt ihr schon: Huffman-Baum

Gerichteter Baum

Ein gerichteter Baum ist ein schwach zusammenhängender kreisfreier gerichteter Graph.

Ungerichteter Baum

Ein ungerichteter Baum ist ein zusammenhängender kreisfreier ungerichteter Graph.

- Bäume haben immer einen Wurzelknoten, von dem alle anderen Knoten ausgehen.
- Ungerichtete Bäume können mehrere Wurzeln haben.
- Knoten mit Grad 1 heißen Blätter.

Randfälle

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Randfälle

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

- Wieviele Kanten kann ein Graph mit n Knoten maximal haben?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Randfälle

- Wieviele Kanten kann ein Graph mit n Knoten maximal haben? n^2

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Randfälle

- Wieviele Kanten kann ein Graph mit n Knoten maximal haben? n^2
- Wieviele Kanten kann ein schlingenfreier Graph mit n Knoten maximal haben?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Randfälle

Karlsruher Institut für Technologie

- Wieviele Kanten kann ein Graph mit n Knoten maximal haben? n^2
- Wieviele Kanten kann ein schlingenfreier Graph mit n Knoten maximal haben? $n^2 - n$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Randfälle

- Wieviele Kanten kann ein Graph mit n Knoten maximal haben? n^2
- Wieviele Kanten kann ein schlingenfreier Graph mit n Knoten maximal haben? $n^2 - n = n(n-1)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Randfälle

- Wieviele Kanten kann ein Graph mit n Knoten maximal haben? n^2
- Wieviele Kanten kann ein schlingenfreier Graph mit n Knoten maximal haben? $n^2 - n = n(n-1)$
- Wieviele Kanten kann ein ungerichteter Graph mit n Knoten maximal haben?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Randfälle

- Wieviele Kanten kann ein Graph mit n Knoten maximal haben? n^2
- Wieviele Kanten kann ein schlingenfreier Graph mit n Knoten maximal haben? $n^2 - n = n(n-1)$
- Wieviele Kanten kann ein ungerichteter Graph mit n Knoten maximal haben? $\frac{n(n-1)}{2}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Randfälle

Karlsruher Institut für Technologie

- Wieviele Kanten kann ein Graph mit n Knoten maximal haben? n^2
- Wieviele Kanten kann ein schlingenfreier Graph mit n Knoten maximal haben? $n^2 - n = n(n-1)$
- Wieviele Kanten kann ein ungerichteter Graph mit n Knoten maximal haben? $\frac{n(n-1)}{2}$
- Wieviele Kanten kann ein ungerichteter schlingenfreier Graph mit n Knoten maximal haben?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Randfälle

- Wieviele Kanten kann ein Graph mit n Knoten maximal haben? n^2
- Wieviele Kanten kann ein schlingenfreier Graph mit n Knoten maximal haben? $n^2 - n = n(n-1)$
- Wieviele Kanten kann ein ungerichteter Graph mit n Knoten maximal haben? $\frac{n(n-1)}{2}$
- Wieviele Kanten kann ein ungerichteter schlingenfreier Graph mit n Knoten maximal haben? $n + \frac{n(n-1)}{2}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Randfälle

Karlsruher Institut für Technologie

- Wieviele Kanten kann ein Graph mit n Knoten maximal haben? n^2
- Wieviele Kanten kann ein schlingenfreier Graph mit n Knoten maximal haben? $n^2 - n = n(n-1)$
- Wieviele Kanten kann ein ungerichteter Graph mit n Knoten maximal haben? $\frac{n(n-1)}{2}$
- Wieviele Kanten kann ein ungerichteter schlingenfreier Graph mit n Knoten maximal haben? $n + \frac{n(n-1)}{2} = \frac{n(n+1)}{2}$

Grundbegriffe der Informatik

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu