

Algorithmen im Chip-Entwurf 1

Probleme, Werkzeuge und Graphen

Andreas Koch
FG Eingebettete Systeme
und ihre Anwendungen
TU Darmstadt

Orga 1 - Material

- Grundlage der Vorlesung
 - *Algorithms for VLSI Design Automation*
Sabih H. Gerez
 - In Informatikbibliothek vorhanden

- Wissenschaftliche Arbeiten („Papers“)

- Wissenstiefe
 - Kein perfektes Verständnis ...
 - ... aber Überblick über das Material
 - ◆ Fragen stellen!

Orga 2 - Prüfungsmodus

- Idealerweise in Projektarbeit: 5 SWS
 - Programmierung, Kolloquien, Vorträge
 - Viel Arbeit: 15K-20K LoC in Java
 - Hierfür aber max. 18 Plätze (betreuungsintensiv!)
- Für alle anderen: 2 SWS
 - Normale Prüfung zum Ende der Vorlesung
 - Je nach Andrang mündlich oder schriftlich
 - Optional: Teillösung der ersten Aufgabe zur Anrechnung auf Prüfungsnote

Orga 3 – Mündliche Prüfung

- Nur im Prüfungsmodus 2 SWS relevant
 - Länge ca. 30 Minuten
- Einbringen der ersten Programmieraufgabe
 - Nur Untermenge erforderlich
 - Mündliche Prüfung muß bestanden sein
 - Aufgabe bringt maximal 25 Punkte
 - ◆ 15 P Funktion, 5 P Effizienz, 5 P Code-Qualität
 - Notenverbesserung nach folgendem Schlüssel
 - ◆ Ab 21 Punkte: +1,0
 - ◆ Ab 17 Punkte: +0,7
 - ◆ Ab 13 Punkte: +0,3

Orga 4 – Benotung 5 SWS

- Viel Freiheit bei der Realisierung
- Keine starren Bewertungsrichtlinien
 - Analog zu Diplom-Arbeit etc.
- Grundideen
 - Brauchbar kommentierte, brauchbar dokumentierte und **funktionierende** Lösung der Aufgabenstellung: 2,0
 - ◆ Kleinere Schwächen: OK
 - ◆ Einbußen in Lösungsqualität, Rechenzeit, Speicher, ...
 - Aber Luft nach oben (Richtung 1,0), z.B. für
 - ◆ Sehr gute eigene Algorithmen und Datenstrukturen
 - ◆ Umfassende Kommentierung und Dokumentation
 - ◆ Sehr gute Lösungsqualität
 - ◆ Kurze Rechenzeiten
 - ◆ Niedriger Speicherverbrauch

Orga 5 - Prüfungsleistung

■ Benotete Prüfungsleistung

- Beginnend in 5. Semesterwoche (1. Abgabe)
- Gewertet
 - ◆ Programme
 - ◆ Funktion, Code-Qualität, (Dokumentation)
 - ◆ Kolloquien
 - ◆ Vorträge

■ Individuelle Prüfung

- Nur in Zweifelsfällen
- Bei nicht nachvollziehbarer Mitarbeit

Orga 6 - Aufbau

■ Integrierte Veranstaltung

- Zu Beginn: Nur Vorlesung (2x pro Woche)
- Dann: praktische Programmierarbeit
 - ◆ In Gruppen
 - ◆ Kolloquien
 - ◆ Vorträge
- Vorlesung nun 1/Woche, am Ende keine mehr

■ Kick-Off zu den praktischen Arbeiten

- Anfang 2. Semesterwoche
- Vorher Leitfaden lesen!

Orga 6 – Zeitplan und WWW

■ Geplanter Zeitplan

- Vorlesung
 - ◆ KW 42-44: Di+Fr, KW 45...4: Nur Di 11:40-13:20
 - ◆ Keine mehr in KW 5-7
- Projektarbeit
 - ◆ Abgaben KW 46, 50, 3, 6: Mo 23:59
 - ◆ Vorträge KW 46, 50, 3, 6: Fr 9:50-11:30
 - ◆ Kolloquien KW 45, 50, 3, 6: Do nachmittags

■ Web-Seite

- <http://www.esa.informatik.tu-darmstadt.de>
Unterpunkt „Lehre“
- Material und Ankündigungen



Fragen?

■ VLSI Entwurf

- Probleme
- Bereiche
- Tätigkeiten
- ➔ Werkzeuge

■ Hierarchie und Abstraktion

■ Algorithmische Graphentheorie

- Strukturen
- Verfahren

VLSI Entwurfsproblem

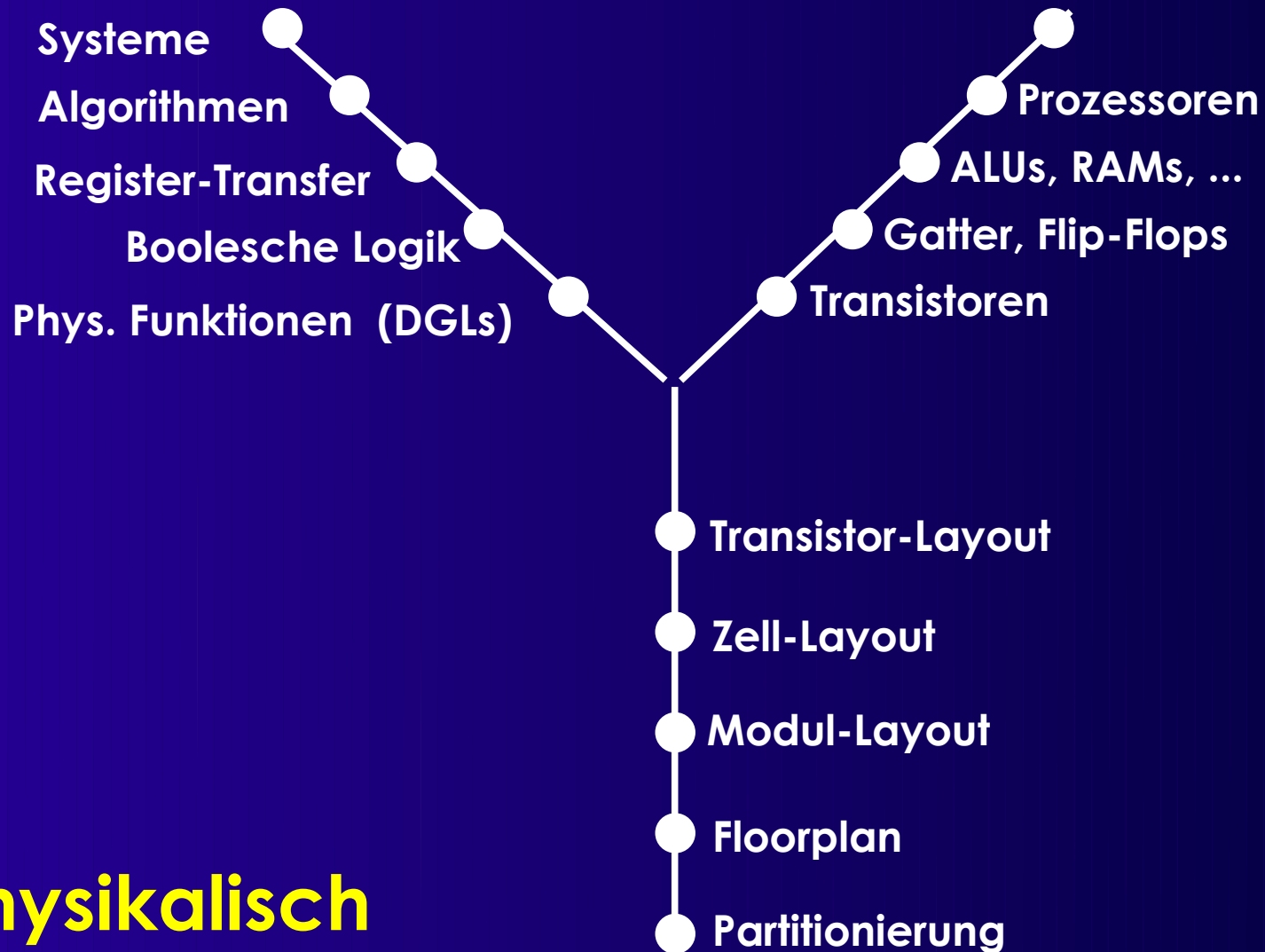
- „Implementiere eine Spezifikation in Hardware und optimiere dabei ...“
 - Fläche (min.)
 - Stromverbrauch (min.)
 - Geschwindigkeit (max. oder passend)
 - Entwurfszeit (min.)
 - Testbarkeit (max.)

- „Alles auf einmal“ ist zu komplex
 - ➔ Aufteilen und vereinfachen
 - Qualitätseinbußen

Entwurfsbereiche - Gajskis "Y"

Verhalten

Struktur



■ Synthese

- Mehr Details durch Anwendung von Regeln

■ Verifikation

- Vergleiche Ergebnis mit Spezifikation

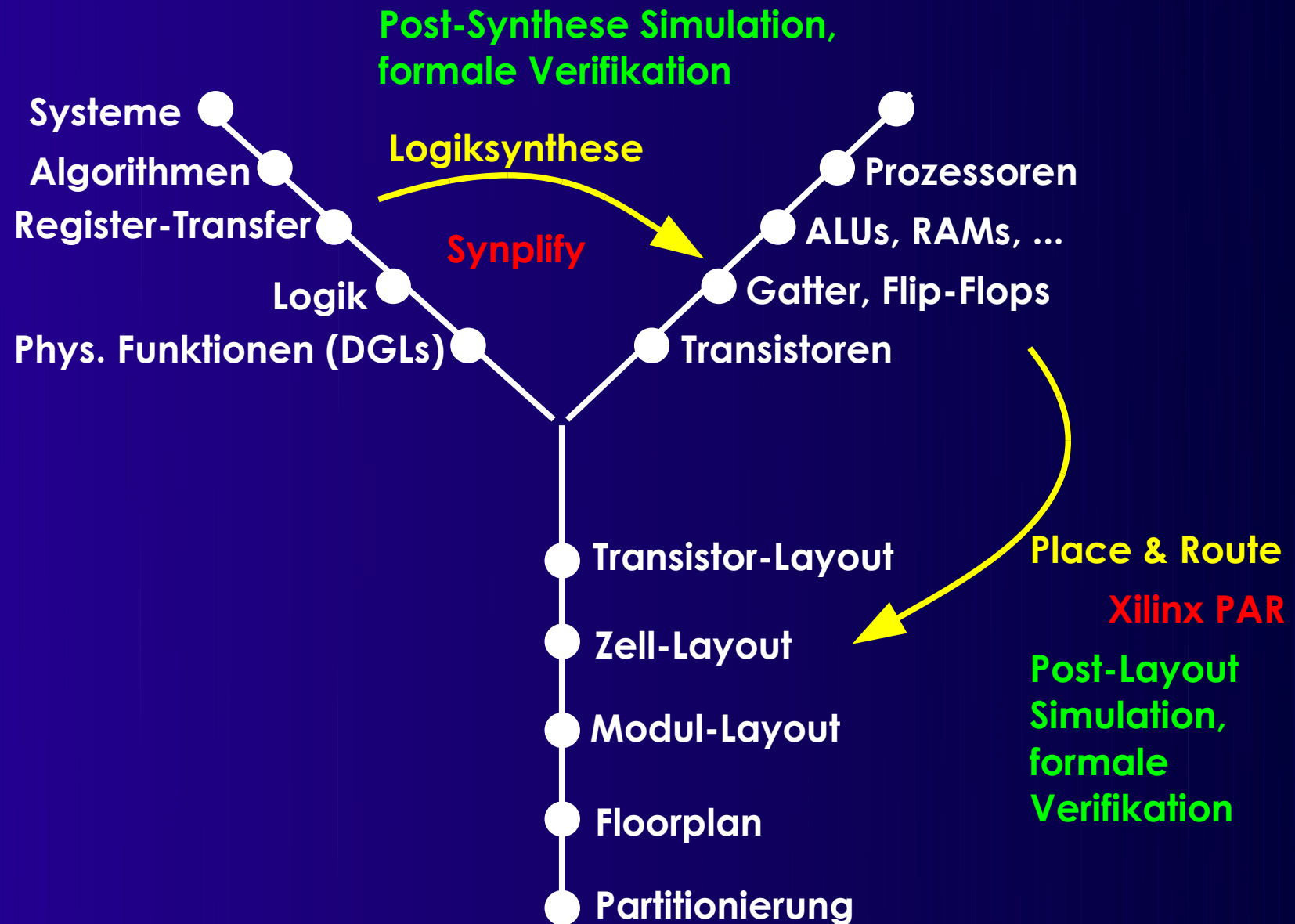
■ Analyse

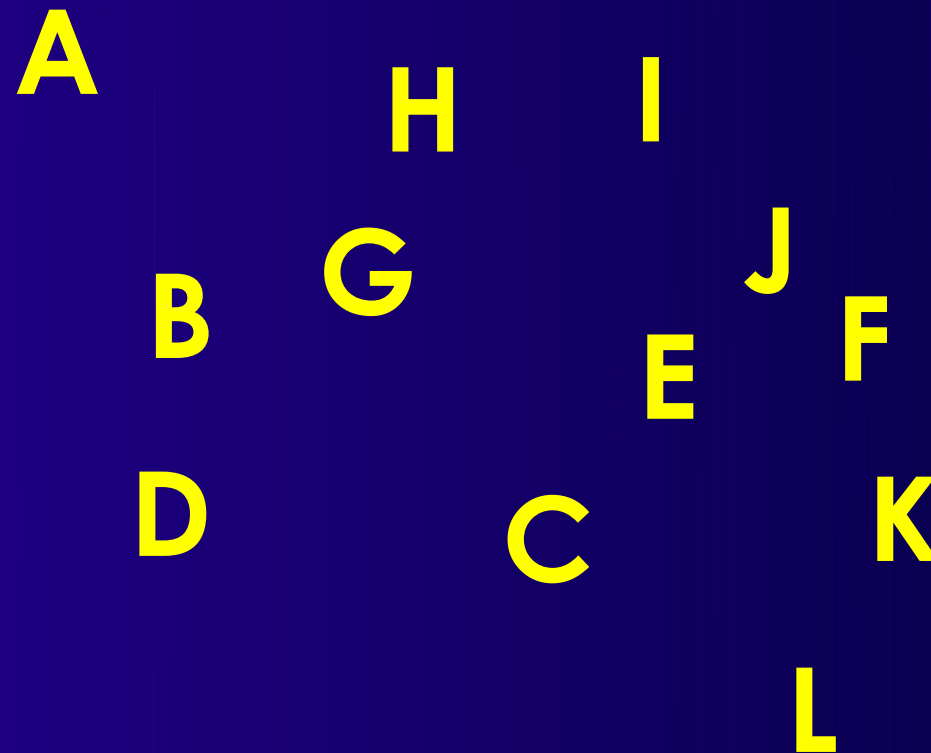
- Untersuche Eigenschaften eines Ergebnisses

■ Optimierung

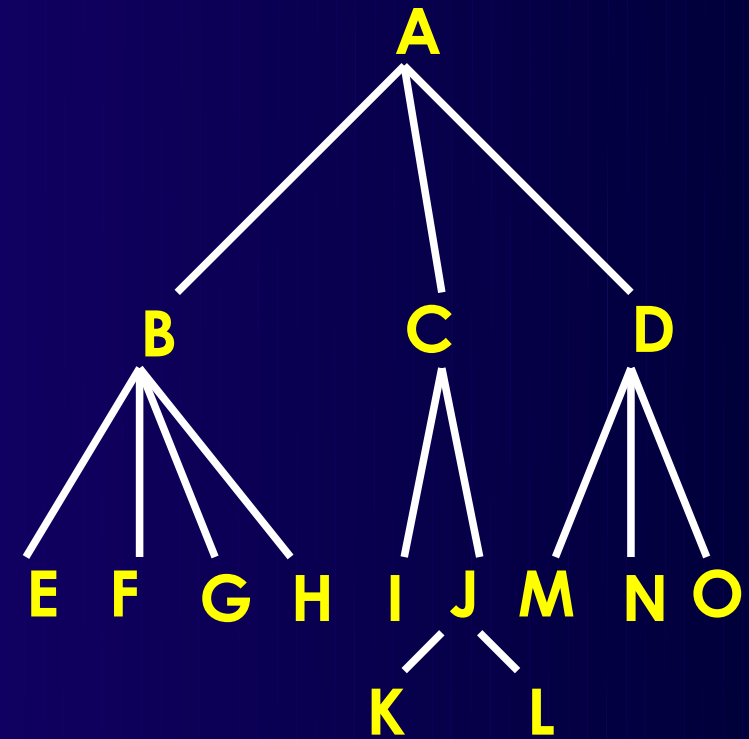
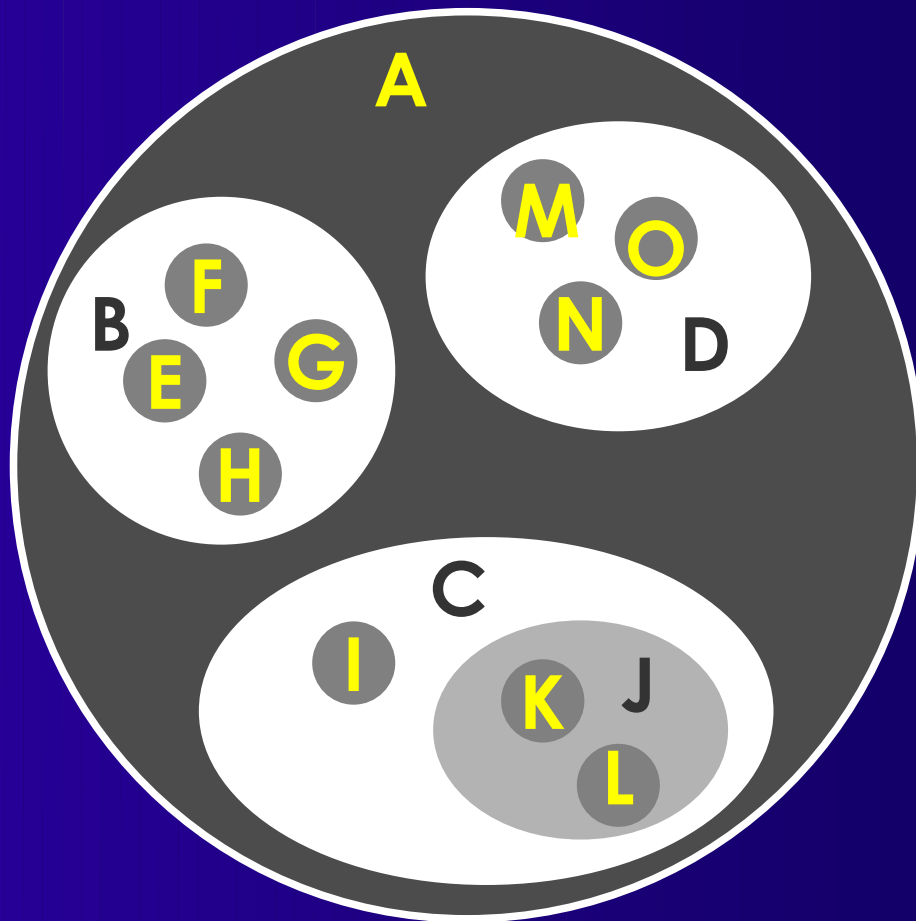
- Verbessere ein Ergebnis

■ Datenverwaltung



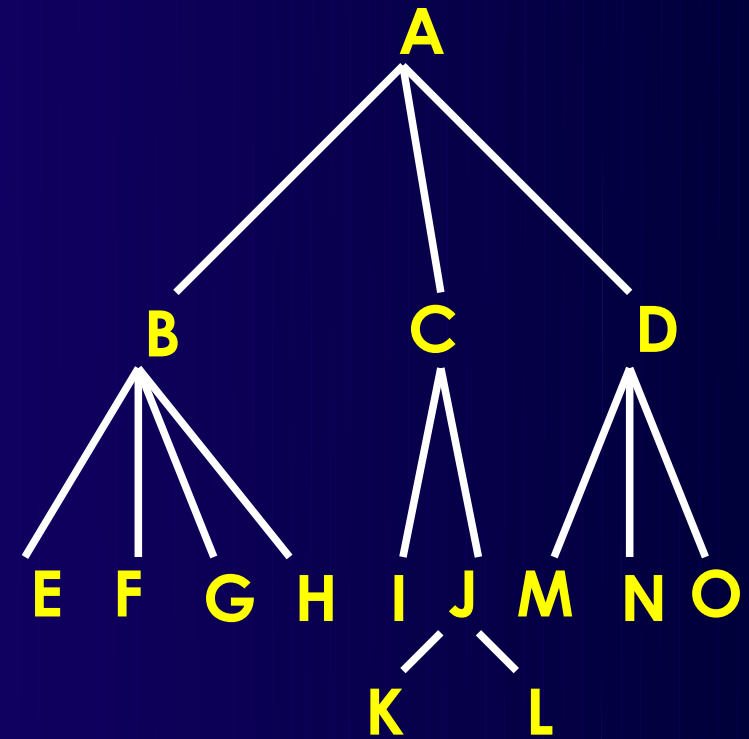
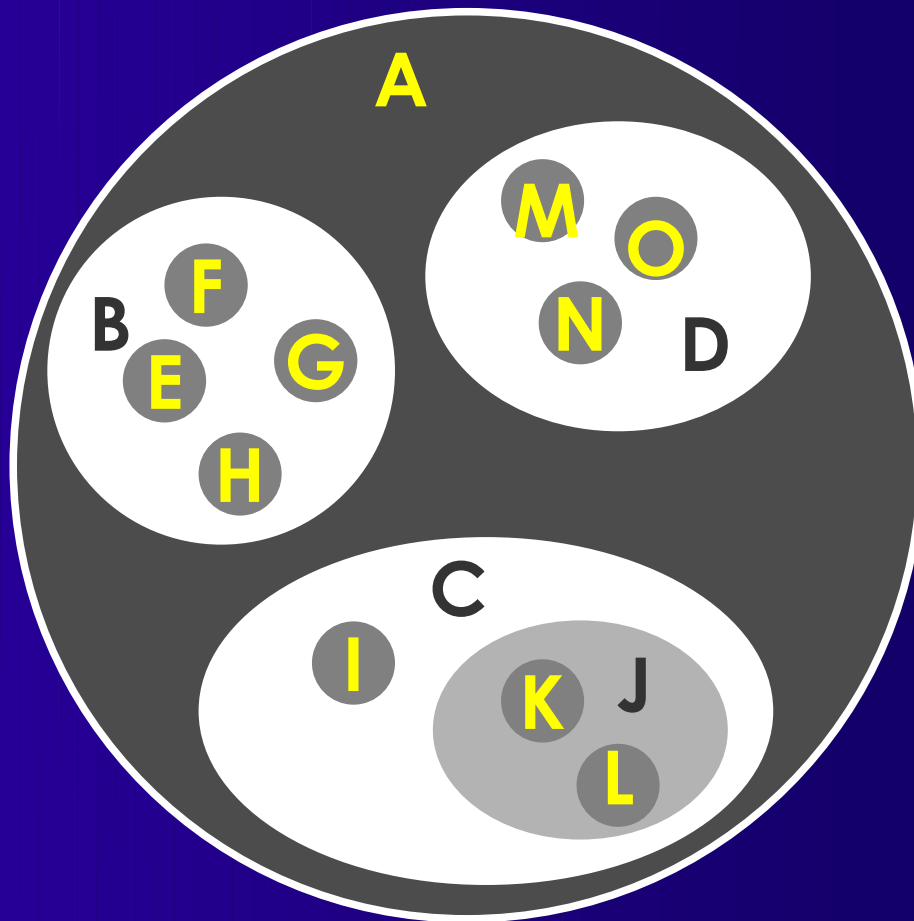


Hierarchie



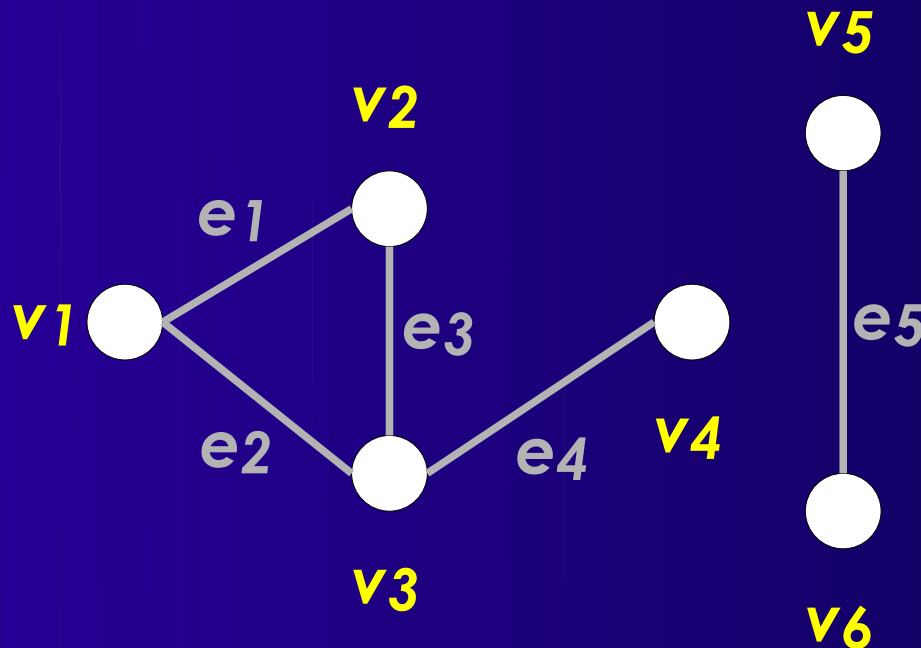
Abstraktion

Abstraktionsebene



■ Graph $G(V, E)$

- Eine Menge V von Knoten (vertex)
- Eine Menge E von Kanten (edge)
 - ◆ Kante $e = \{v_1, v_2\}$ verbindet Knoten v_1 und v_2



$$G = (V, E)$$

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$$

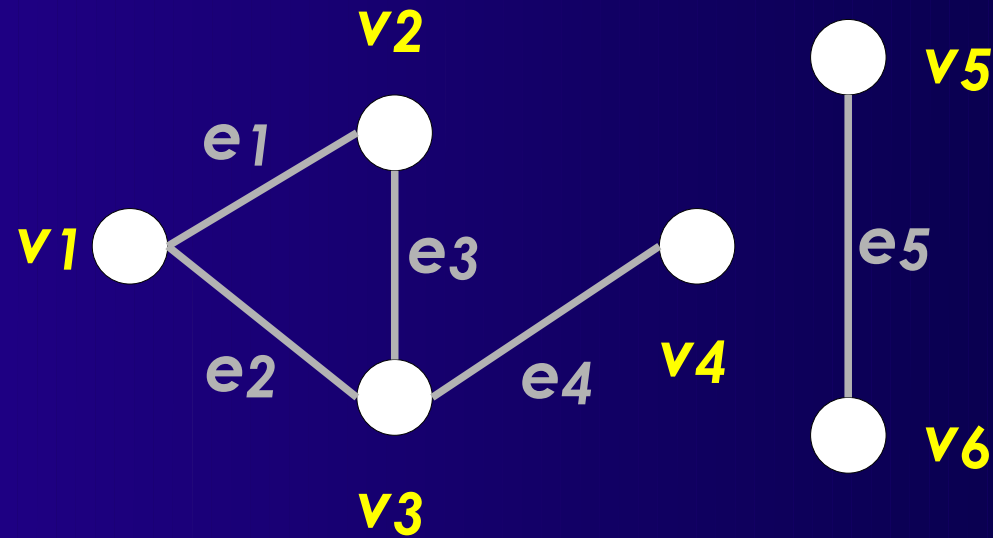
$$E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\}$$

mit

$$e_1 = \{v_1, v_2\}$$

$$e_2 = \{v_1, v_3\}, \dots$$

Inzidenz, Adjazenz und Grad



■ $e = \{u, v\} \in E$

□ e ist **inzident** u

□ e ist **inzident** v

□ u ist **adjazent** v

■ **Grad** $g(v) = |\{e \in E \mid v \in e\}|$

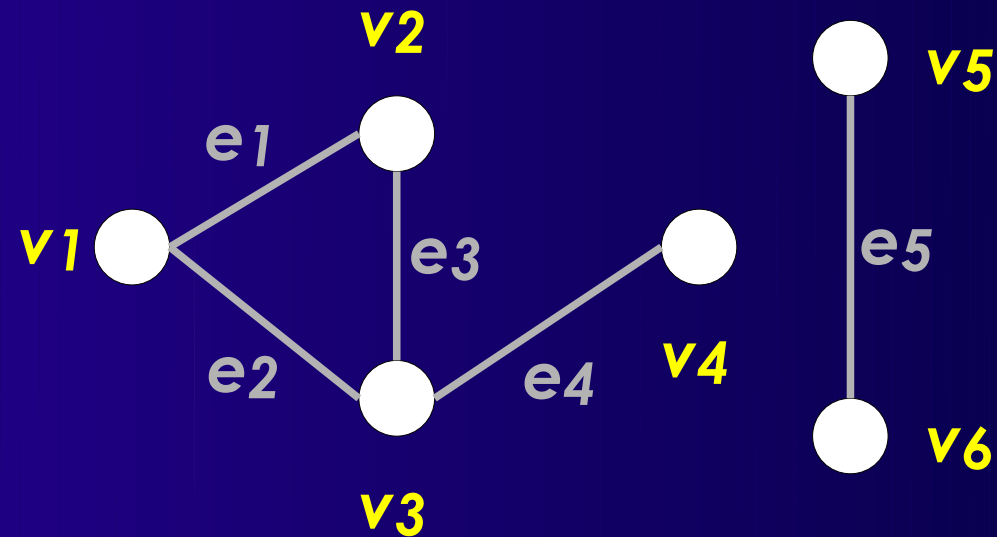
incident

incident

adjacent

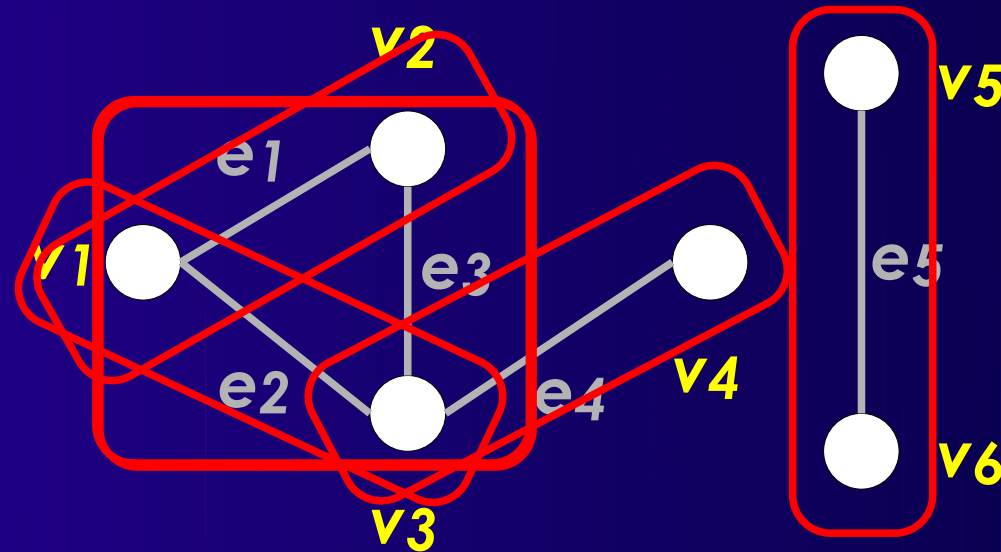
degree

Subgraphen



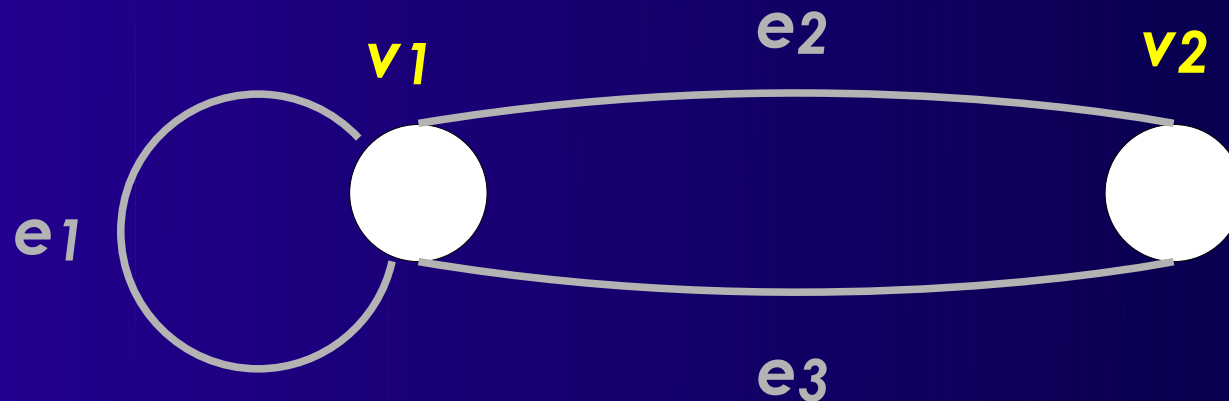
- Subgraph durch Entfernen von Knoten
- Entferne $v \in V$
 - Entferne Kanten inzident zu v

Vollständigkeit und Cliques



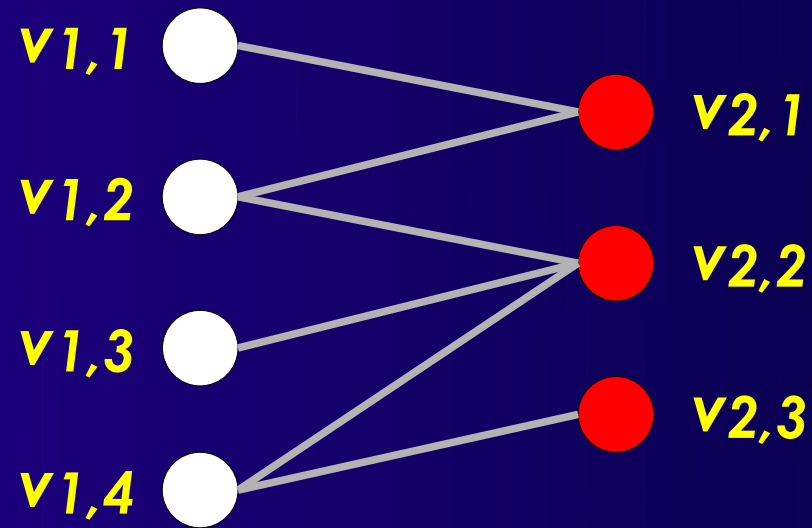
- Komplette untereinander verbundene Knoten bilden **vollständigen** Graph (complete graph)
- Maximal ausgedehnte vollständige Graphen bilden **Cliques**

Schlingen, parallele Kanten



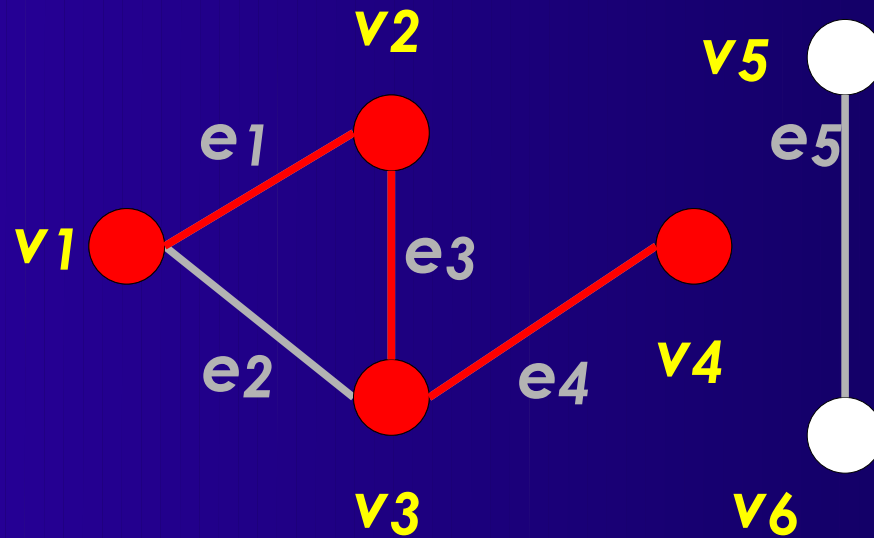
- e_1 Schlinge (selfloop)
- e_2, e_3 parallele Kanten
- einfache Graphen: weder noch (simple)
- Multigraphen: parallele Kanten OK

Bipartite Graphen



- Kanten nur zwischen Knoten aus nichtüberlappenden Mengen
- $G = (V_1, V_2, E)$ ist *bipartiter Graph*
 - $V_1 \cap V_2 = \emptyset$
 - $E = \{\{u, w\} \mid u \in V_1 \wedge w \in V_2\}$

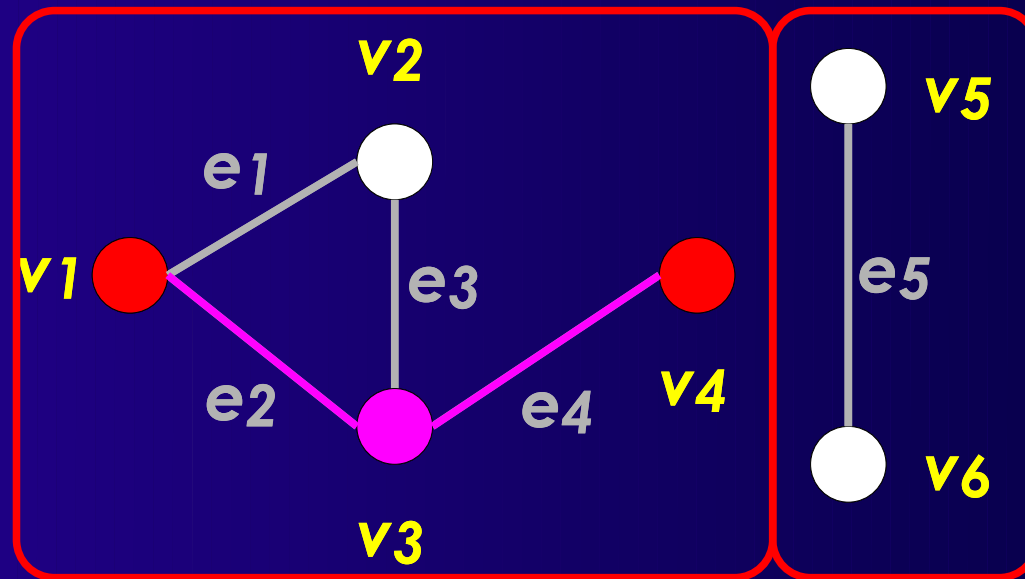
Wege und Zyklen



$(v_1, e_1, v_2, e_3, v_3, e_4, v_4)$
Länge = 3

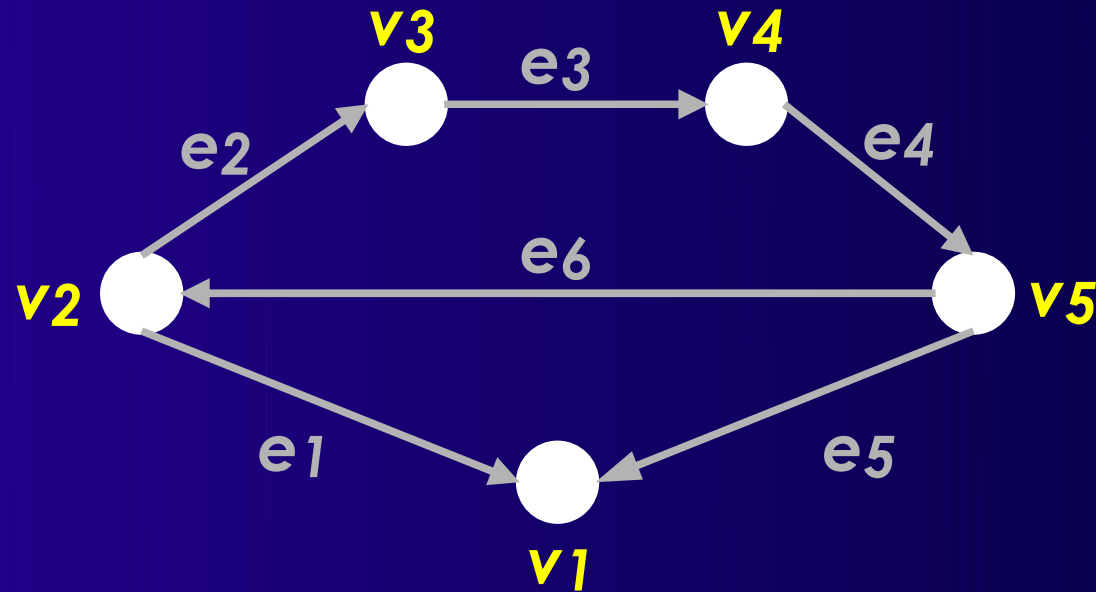
- **Weg:** Folge von Knoten und Kanten
 - Beginnend und endend mit Knoten
- **Länge:** Anzahl der Kanten
- **Zyklus:** Anfang = Ende

Zusammenhang



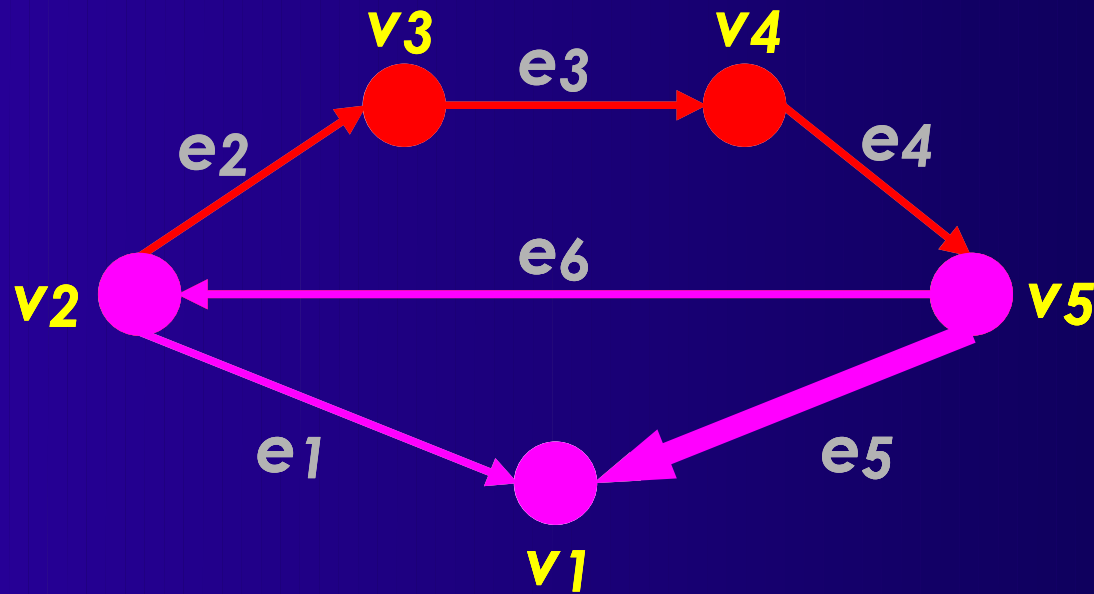
- u hängt mit v zusammen
 - Es gibt einen beide verbindenden Weg
- Zusammenhängender Graph
 - Alle Knoten hängen zusammen.
- Zusammenhängende Komponente
 - Maximale zusammenhängende Subgraphen

Gerichtete Graphen



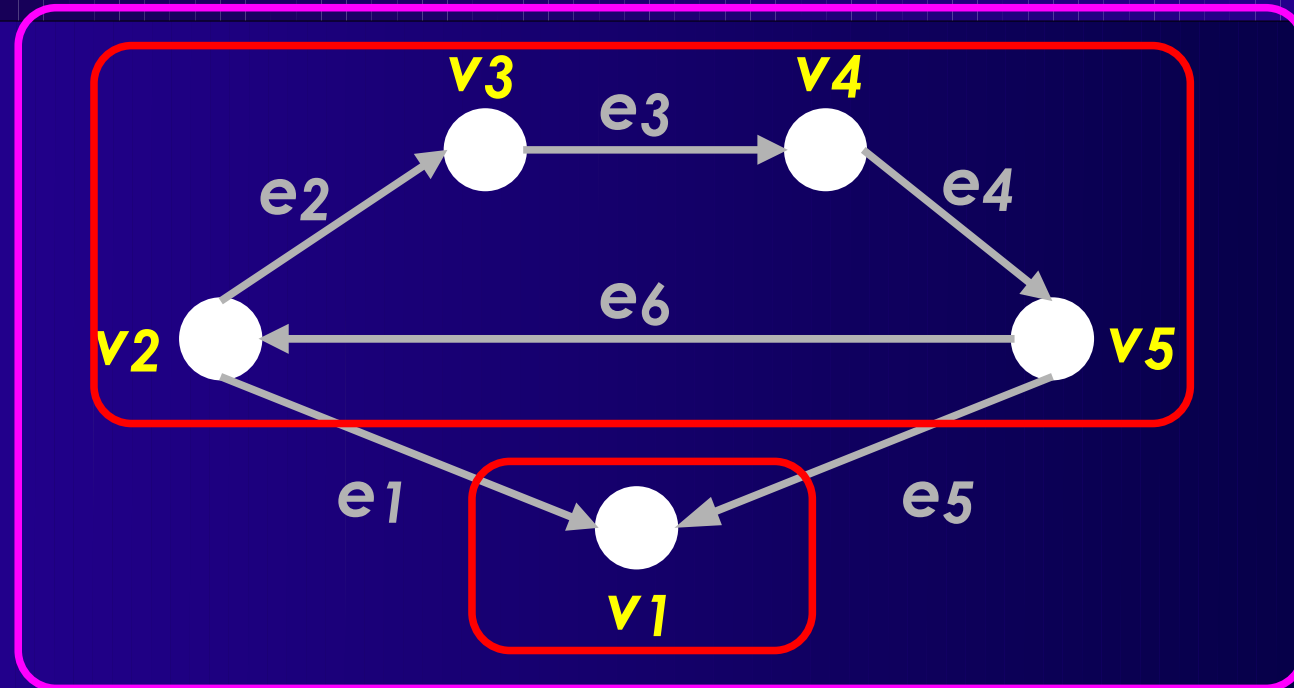
- $G(V, E)$ mit $e = (u, v) \wedge u, v \in E$
 - e inzident von u (ausgehend)
 - e inzident nach v (eingehend)
- Außengrad: Anzahl ausgehender Kanten
- Innengrad: Anzahl eingehender Kanten

Wege und Zyklen



- Gerichteter Weg
- Gerichteter Zyklus
- Weg und Zyklus gelten auch noch!

Zusammenhang



■ Starker Zusammenhang

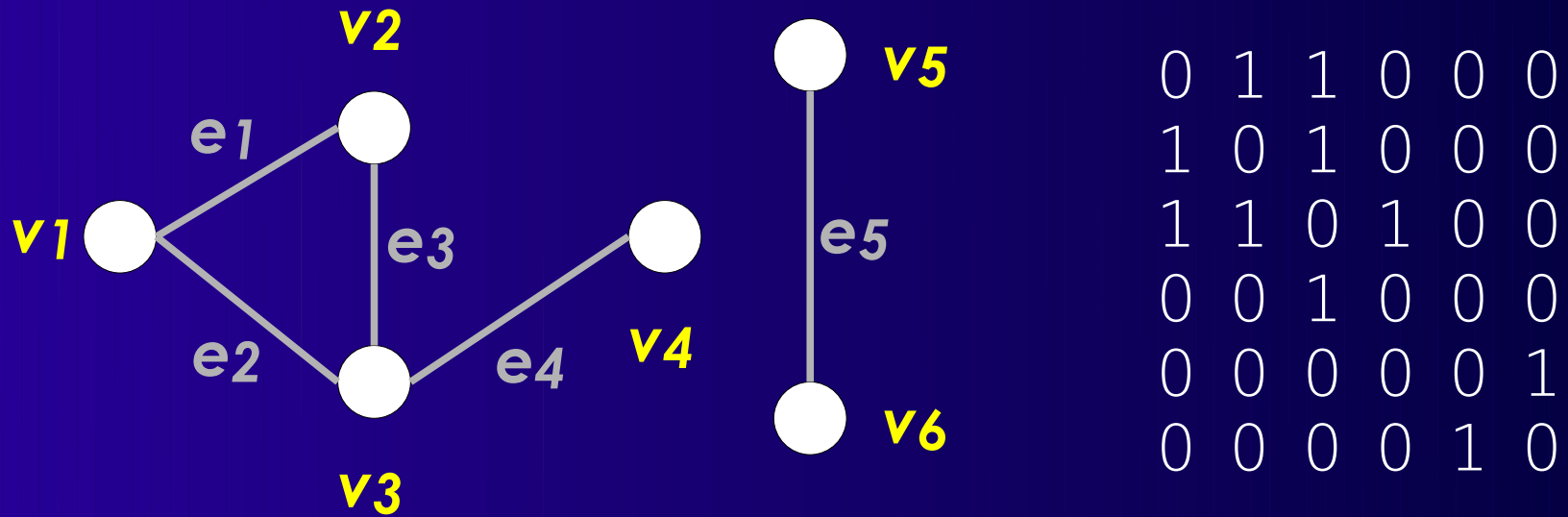
- Gerichteter Weg von u nach v & von v nach u

■ Stark zusammenhängende Komponente

- Alle enthaltenen Knoten hängen stark zusam.

■ Schwacher Zusammenhang: Weg

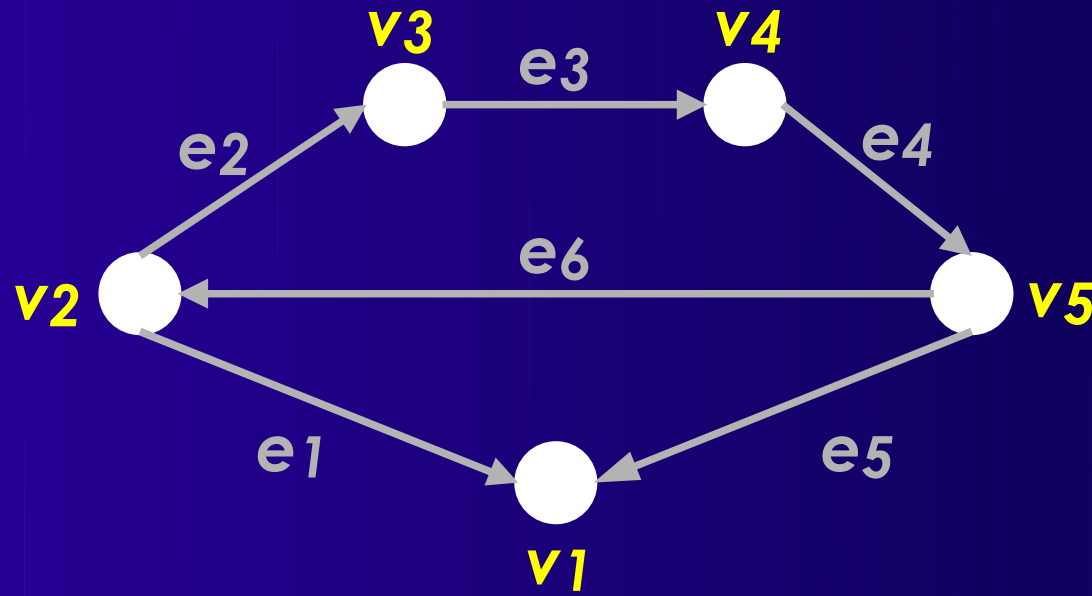
Datenstrukturen für Graphen



■ Adjazenzmatrix A_G von $G(V,E)$

- $n \times n$ Matrix mit $n = |V|$
- $A_{ij} = 1$ falls $\{v_i, v_j\} \in E$, sonst = 0
- Symmetrische Matrix

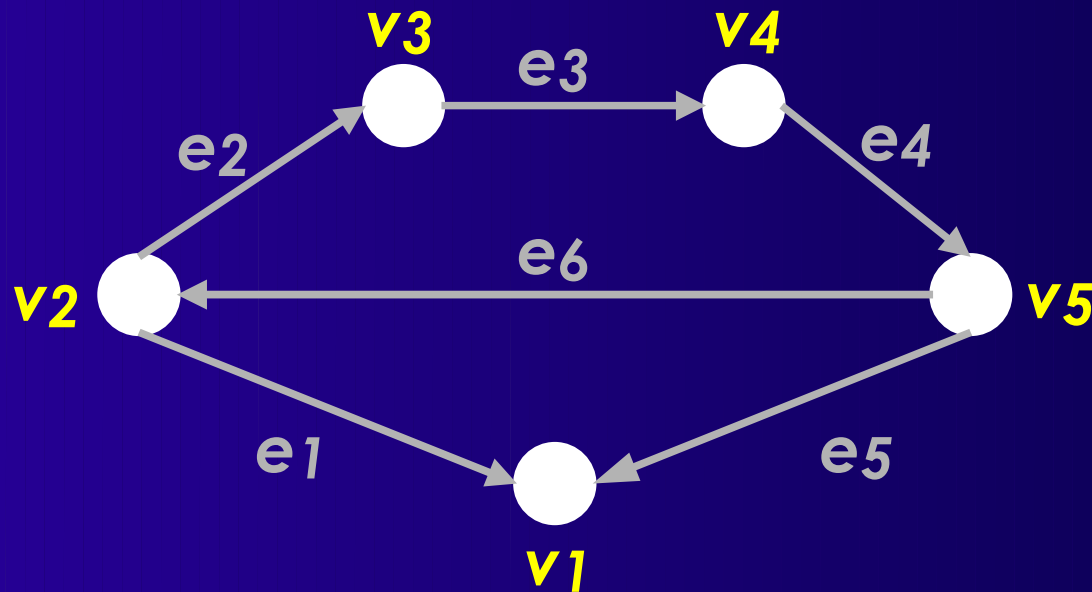
AG für gerichtete Graphen



0	0	0	0	0
1	0	1	0	0
0	0	0	1	0
0	0	0	0	1
1	1	0	0	0

- Matrix nicht mehr symmetrisch

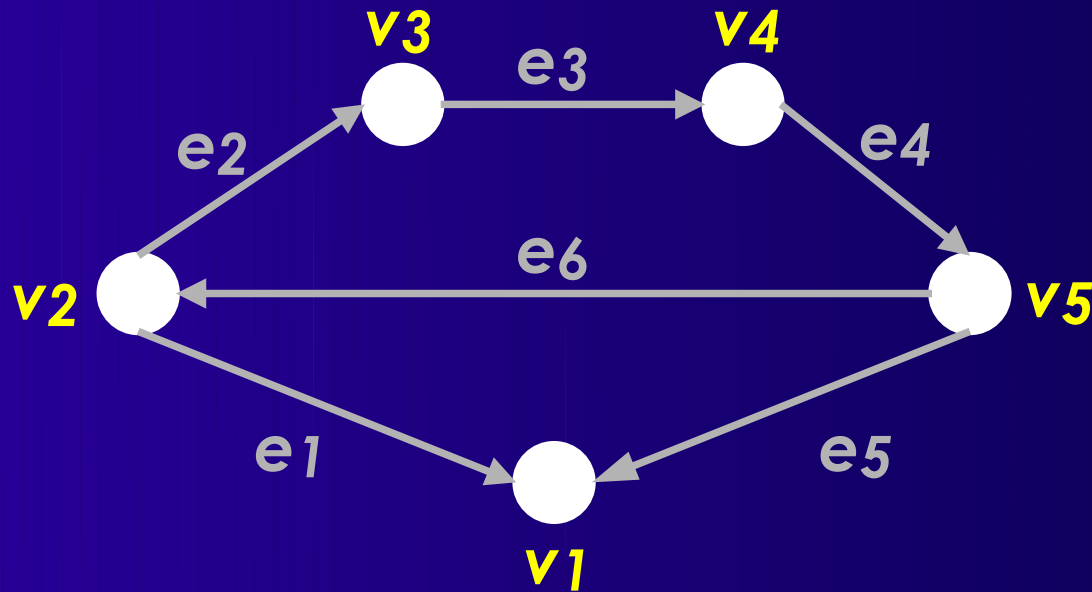
Operationen auf AG-Matrizen



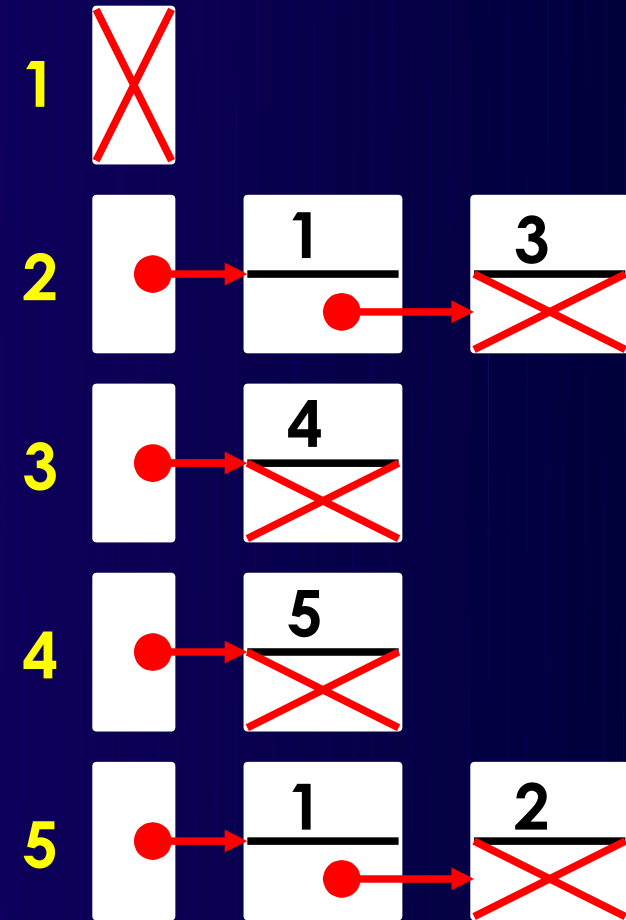
0	0	0	0	0
1	0	1	0	0
0	0	0	1	0
0	0	0	0	1
1	1	0	0	0

- Test, ob $(v_i, v_j) \in E$
 - Nachsehen in A_{ij} : $O(1)$
- Welche v sind direkt mit u_i verbunden?
 - Zeile i durchgehen: $O(n)$
 - Ineffizient bei vielen Nullen

Adjazenzlisten



- Array aus Listen
 - Knotennummer ist Index
- Listenelemente
 - Index des Zielknotens
 - Verkettung



Operationen auf Adjazenzlisten

■ Test, ob $(u,v) \in E$

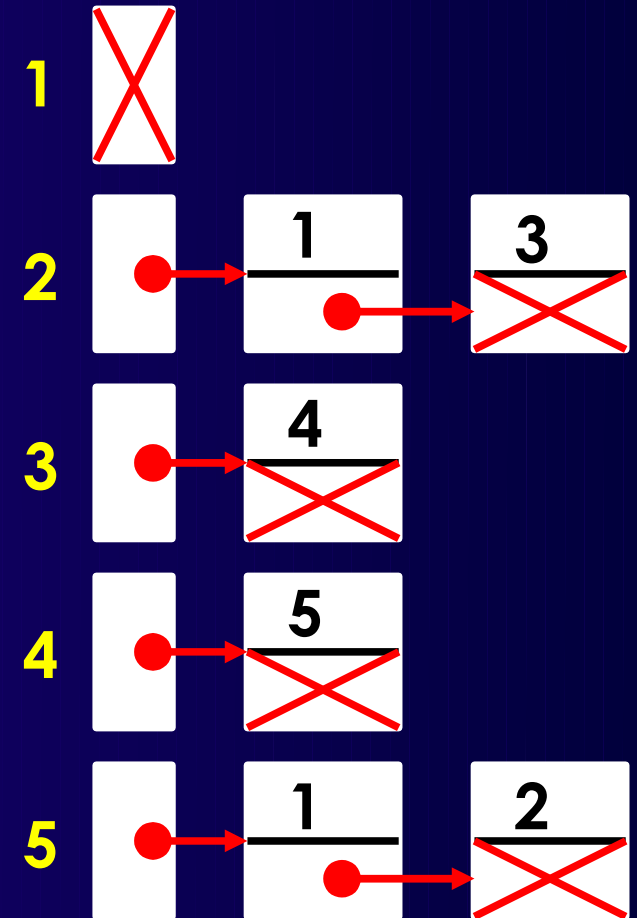
□ durchschnittlicher
Außengrad: $k(G)$

□ $O(k)$

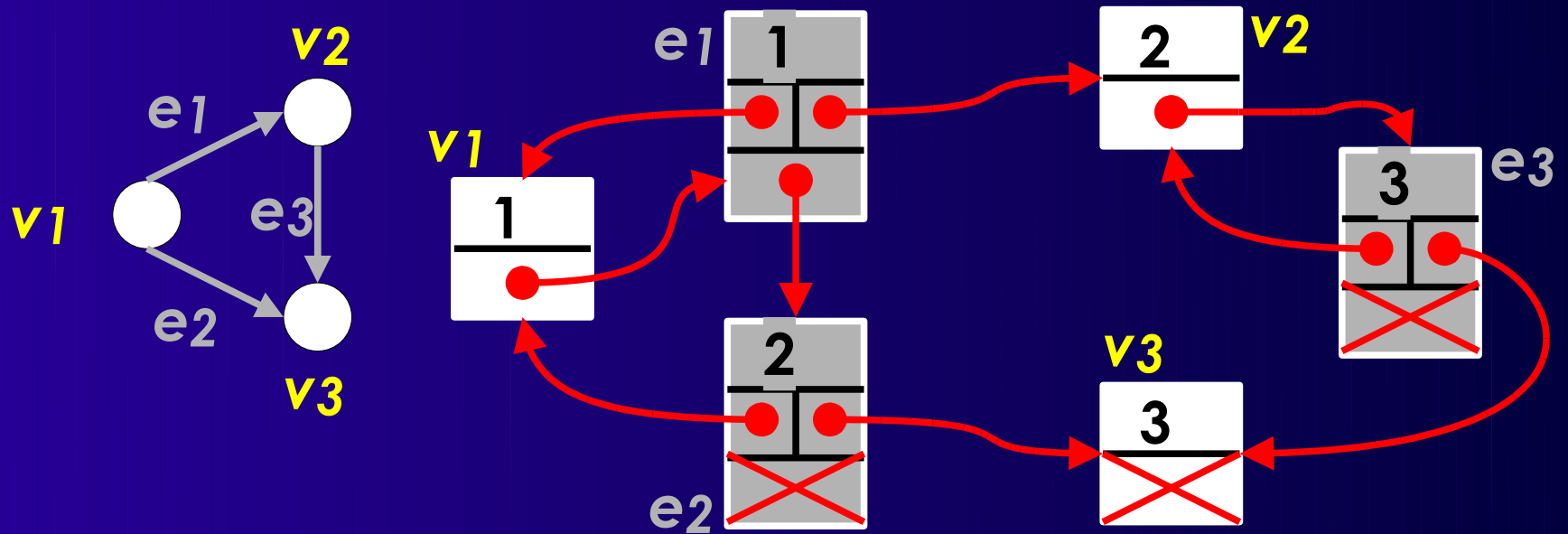
□ Unabhängig von n

■ Welche v sind direkt mit u verbunden?

□ $O(k)$



Explizite Knoten und Kanten



■ Zugriff auf Knoten und Kanten

vertex_index

3

outgoing_edges

■ Z.B. Gewichtung von

- Knoten
- Kanten

edge_index

3

from, to
next

Komplexitätstheorie

- O und Θ Notation
- Siehe Grundstudium!
- Wichtige Ordnungen
 - Exponentiell, z.B. 2^n .
 - Polynomial, z.B. n^3 .
 - Quadratisch, z.B. n^2 .
 - Superlinear, z.B. $n \log n$.
 - Linear, z.B. n .
 - Sublinear, z.B. $\log n$
 - Konstant, z.B. 1 .

Graphen durchlaufen

■ Aufgabe

- Besuche alle V und E von $G(V,E)$
- Jedes Element genau einmal!

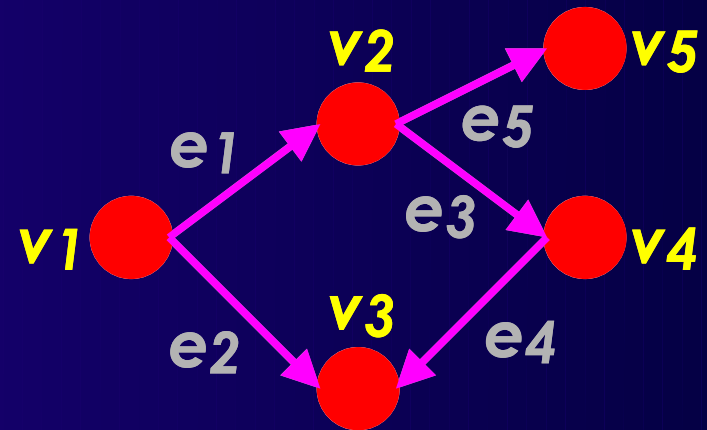
■ Unterschiedliche Reihenfolgen möglich

■ Weit verbreitet

- Tiefensuche
 - ◆ Suche von Ursprungsknoten entfernen
- Breitensuche
 - ◆ Erstmal angrenzende Knoten bearbeiten

Tiefensuche (DFS) - 1

```
dfs(vertex v) {  
  v.mark := 0;  
  v.process();  
  foreach (v,u) ∈ E {  
    (v,u).process();  
    if (u.mark) dfs(u);  
  }  
}  
  
main() {  
  foreach v ∈ V  
    v.mark := 1;  
  foreach v ∈ V  
    if (v.mark) dfs(v)  
}
```



```
dfs(v1)  
  (v1, v2)  
    dfs(v2)  
      (v2, v4)  
        dfs(v4)  
          (v4, v3)  
            dfs(v3)  
          (v2, v5)  
            dfs(v5)  
        (v1, v3)
```

Tiefensuche (DFS) - 2

■ Komplexität für DFS auf $G(V,E)$

- Jeder Knoten einmal besucht
- Jede Kante einmal besucht

→ $O(|V|+|E|)$

■ Anwendungsbeispiele

- Systematischer Graphdurchlauf
- Finden der von einem Startknoten aus erreichbaren Knoten
 - Ersetze Schleife in main() durch einfachen Aufruf

Breitensuche (BFS) - 1

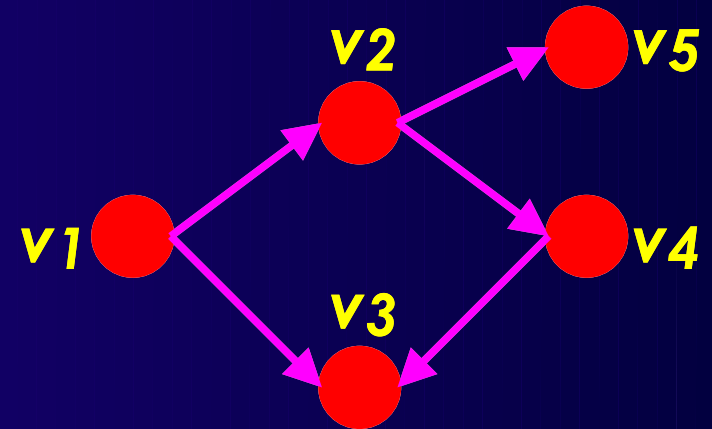
```
bfs(vertex v) {  
    FIFO Q = ();  
    vertex u, w;  
  
    Q.shift_in(v);  
    do {  
        w := Q.shift_out();  
        w.process();  
        foreach (w,u) ∈ E do {  
            if (u.mark) {  
                u.mark := 0;  
                Q.shift_in(u);  
            }  
        }  
    } while (Q ≠ ())  
}
```

```
main() {  
    foreach v ∈ V do v.mark := 1;  
    foreach v ∈ V do  
        if (v.mark) {  
            v.mark := 0;  
            bfs(v);  
        }  
}
```

Breitensuche (BFS) - 2

```
bfs(vertex v) {
  FIFO Q = ();
  vertex u, w;

  Q.shift_in(v);
  do {
    w := Q.shift_out();
    w.process();
    foreach (w,u) ∈ E do {
      if (u.mark) {
        u.mark := 0;
        Q.shift_in(u);
      }
    }
  } while (Q ≠ ())
}
```



(v1)	v1	(v1,v2)
(v2)		(v1,v3)
(v2,v3)	v2	(v2,v4)
(v3,v4)		(v2,v5)
(v3,v4,v5)	v3	
(v4,v5)	v4	(v4,v3)
(v5)	v5	

Breitensuche (BFS) - 3

■ Komplexität für BFS auf $G(V,E)$

- Jeder Knoten einmal besucht
- Jede Kante einmal besucht

→ $O(|V|+|E|)$

■ Anwendungsbeispiele

- Systematischer Graphdurchlauf
- Finden der von einem Startknoten aus erreichbaren Knoten
- Besuche Knoten in Reihenfolge der Entfernung (Pfadlänge) vom Startknoten

■ Weshalb die äußeren Schleifen?

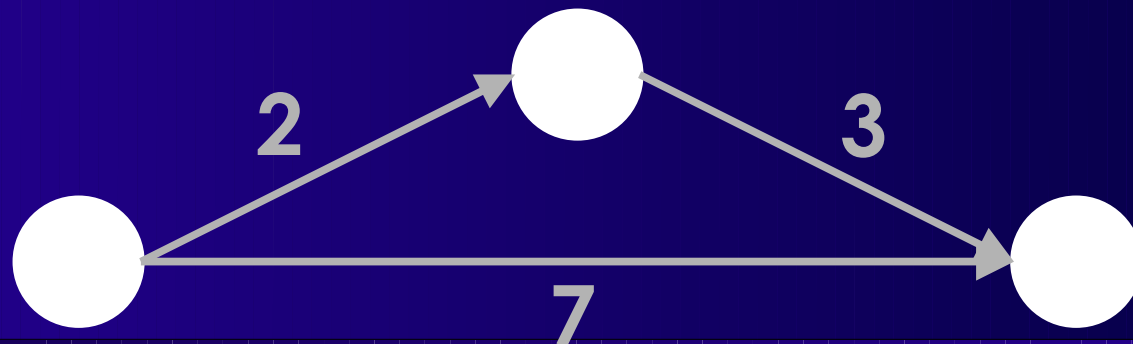
- Jeweils in main()
- Um dfs(v) bzw. bfs(v)

```
main() {  
  foreach v ∈ V  
    v.mark := 1;  
  foreach v ∈ V  
    if (v.mark)  
      dfs(v)  
}
```

```
main() {  
  foreach v ∈ V do v.mark := 1;  
  foreach v ∈ V do  
    if (v.mark) {  
      v.mark := 0;  
      bfs(v);  
    }  
}
```

Kürzester Pfad

- Bestimme den kürzesten Pfad vom Startknoten zu Zielknoten
 - Manchmal auch: zu allen anderen Knoten
- Bei ungewichteten Graphen z.B. mit BFS
 - Erweitert um Verwaltung der Pfade
- Nicht bei gewichteten Graphen!
 - Niedrige Anzahl von Kanten nicht immer kürzester (leichtester) Weg



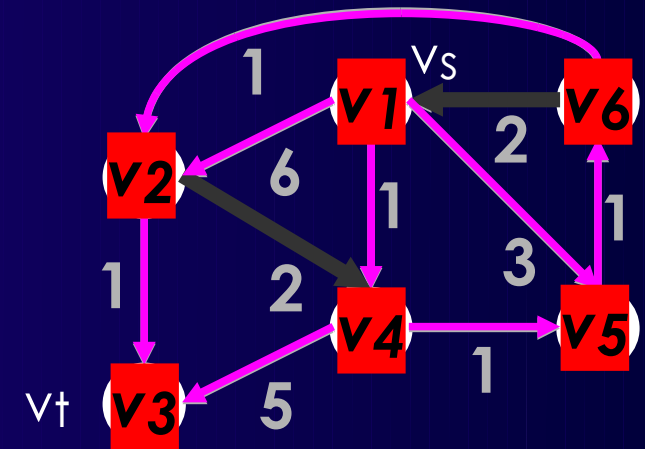
Kürzester Pfad nach Dijkstra -1

dijkstra(set<vertex> V, vertex v_s , vertex v_t)

```

{
  set<vertex> T; vertex u, v;
  V := V \ {v_s}; T := {v_s};
  v_s.dist := 0;
  foreach u ∈ V do
    if ((v_s, u) ∈ E)
      then u.dist := (v_s, u).weight;
    else u.dist := +∞;
  while (v_t ∉ T) do {
    u := V.findmin(dist);
    T := T ∪ {u};
    V := V \ {u};
    foreach (u, v) ∈ E do
      if (v.dist > u.dist + (u,v).weight)
        v.dist := u.dist + (u,v).weight;
  }
}

```



T=	v_i .dist, i=1	2	3	4	5	6
{v1}	0	6	∞	1	3	∞
{v1, v4}		6	6		2	∞
{v1, v4, v5}		6	6			3
{v1, v4, v5, v6}		4	6			
{v1, v4, v5, v6, v2}			5			
{v1, v4, v5, v6, v2, v3}						

Kürzester Pfad nach Dijkstra -2

■ Komplexität

- while ($v \notin T$): $|V|$ -mal durchlaufen
 - ◆ $v.\text{findmin}(\text{dist})$: $O(|V|)$ je Suche
 - ↳ $O(|V|^2)$
- foreach $(u,v) \in E$: $|E|$ -mal *insgesamt*
 - ◆ Einfacher Graph hat max. $|V|^2$ Kanten
 - ↳ $O(|V|^2)$
- Gesamtaufwand $O(|V|^2 + |V|^2) = O(|V|^2)$

Nächste Veranstaltung

- Vorlesung am Freitag
- Vorbereitungstipps
 - Kapitel 6 und 7.1 lesen
 - Ggf. Kapitel 4 (Komplexität) wiederholen

■ VLSI

- Entwurfsbereiche
- Tätigkeiten
- Werkzeuge

■ Hierarchie und Abstraktion

■ Graphentheorie

- Konzepte und Begriffe
- Datenstrukturen
- Algorithmen: DFS, BFS, SP