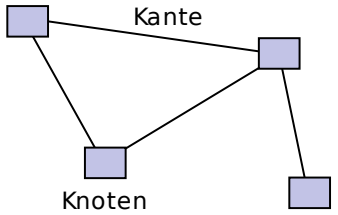
Überblick

Graph-Algorithmen mit MapReduce
- Kurzeinführung Graphentheorie
- Algorithmus zum Finden von Cliquen

MapReduce Erweiterungen
- Zusammenführen von Daten
- Sortierung, Gruppierung und Partitionierung
- Combiner
- Zähler

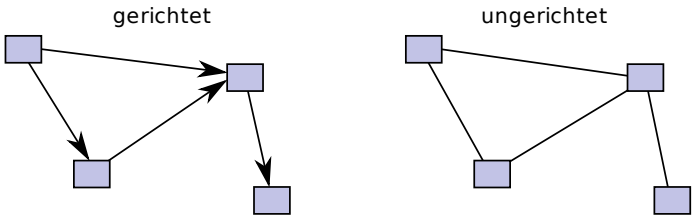
Einführung Graphentheorie

- Graphen bestehen aus
  - **Knoten** (englisch: Node, Vertex, Mehrzahl Vertices)
  - **Kanten** (englisch: Edge), die Knoten **verbinden**
  - **Grad** eines Knoten ist die Zahl der dort zusammenlaufenden Kanten



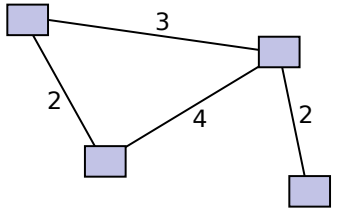
Einführung Graphentheorie

- Kanten können **gerichtet** oder **ungerichtet** sein
- Dementsprechend: Gerichter/ungerichteter Graph
- Gerichtete Kante verbindet **Start**-und **End**knoten



Einführung Graphentheorie

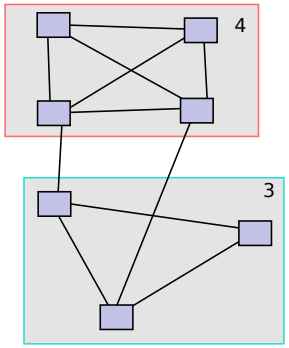
- Knoten sowie Kanten können **gewichtet** sein:
  Zusätzliche Wertung an jeweiliges Objekt als Attribut angefügt



- Beispiel:
  Knoten sind verschiedene Städte
  Kanten stellen Wege zwischen Städten dar
  Gewichtung entspricht Weglänge

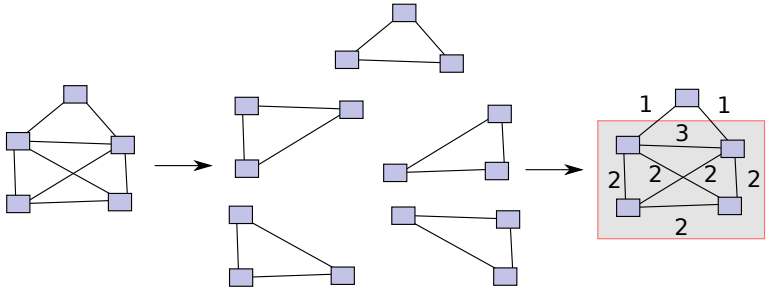
Algorithmus zum Finden von Cliquen

- **Clique**: Teilmenge von Knoten eines ungerichteten Graphen, die alle untereinander durch Kanten verbunden sind.
- Algorithmus zum Finden von Cliquen auf Basis des Artikels *Graph Twiddling in a MapReduce World*[Cohen09]
- Beispiel:



Algorithmus zum Finden von Cliquen

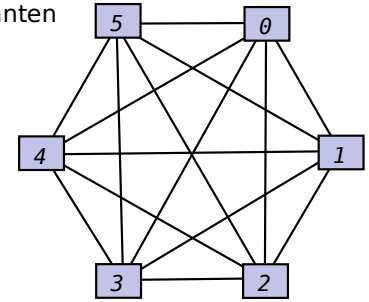
- Aufgabe: Finden von Cliquen einer bestimmten Mindestgröße
- Lösungsansatz basiert auf Finden von **Trägern**:
  - Finden von nichttrivialer Cliquen minimaler Größe: Dreiecke
  - Vollständiger Graph mit n Knoten enthält $\frac{n\cdot(n-1)\cdot(n-2)}{6}$ unterschiedliche Dreiecke
  - Jede Kante kommt in Dreiecken **mindestens** $n-2$ mal vor
  - Weniger häufig auftretende Kanten können nicht Teil eines vollständigen Teilgraphen (Clique) sein.



Dreiecke im vollständigen Graph

- Vollständiger Graph mit n Knoten enthält:
  - $\frac{n(n-1)}{2}$ Kanten

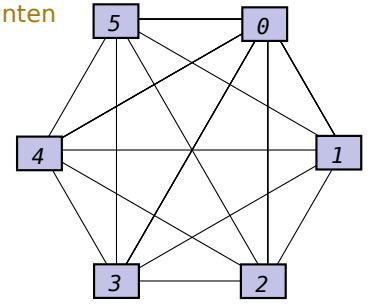
5+4+3+2+1
=15 Kanten



Dreiecke im vollständigen Graph

- Vollständiger Graph mit n Knoten enthält:
  - $\frac{n(n-1)}{2}$ Kanten
  - $\frac{n(n-1)(n-2)}{6}$ Dreiecke
- Dreieck besteht aus 3 Kanten: $(n-2)$ Überlagerungen

5+4+3+2+1
=15 Kanten



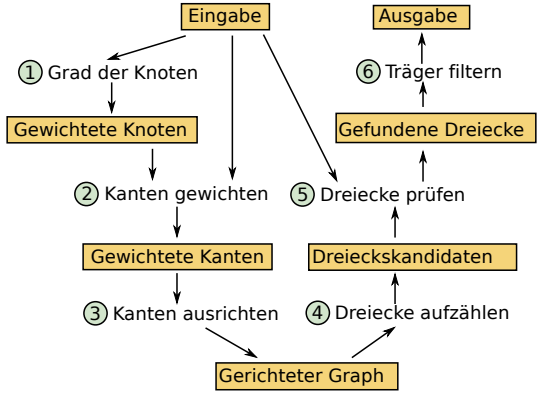
4+3+2+1
3+2+1
2+1
1
=20 Dreiecke

20×3
=60 Kanten

60 Kanten / 15 Kanten =4

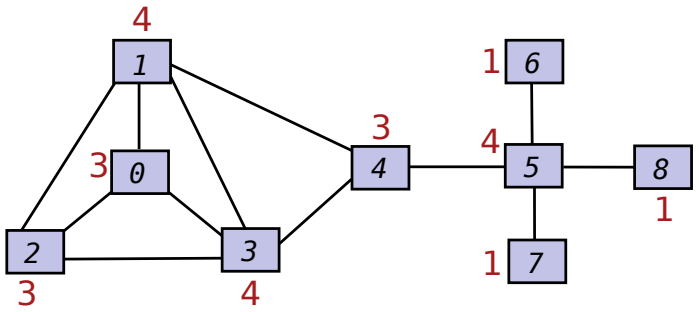
Implementierung mittels MapReduce

- Implementierung in einzelnem MapReduce-Schritt nicht möglich
- Zerlegung in mehrere hintereinender ausgeführte Schritte
- Ausnutzen der **Sortierphase** zum Zusammenführen interessanter Daten
- Ablauf:



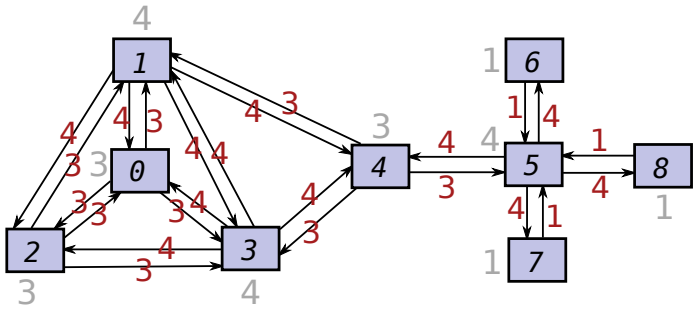
Schritt 1: Grad der Knoten bestimmen

- Abzählen der Kanten, die mit jedem Knoten verbunden sind ($\rightarrow$ Grad)
- Gewichtung der Knoten nach Grad



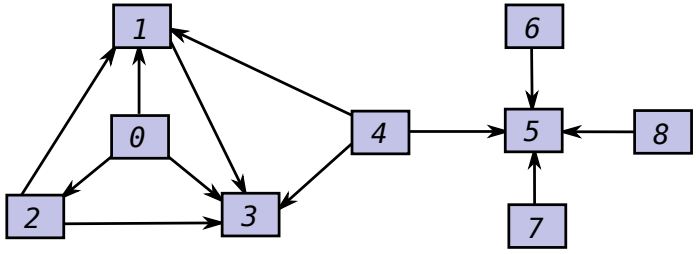
Schritt 2: Kanten gewichten

- Verwandlung in gerichteten Graph, mit Kanten in beide Richtungen
- Gewichtung der gerichteten Kanten nach Startknoten



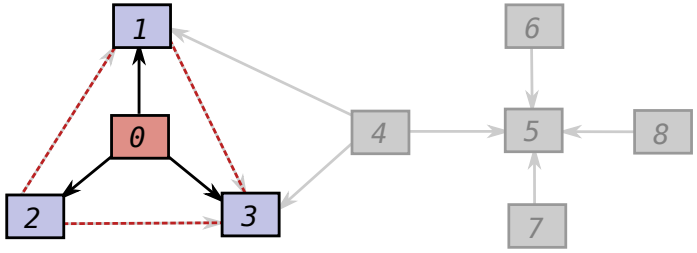
Schritt 3: Kanten ausrichten

- Entfernen von Kanten mit größerer Gewichtung ergibt gerichteten Graph
- Bei gleicher Gewichtung gewinnt Kante mit niedrigerem Startknoten
- Ausrichtung bestimmt Basis für Dreieckskandidaten



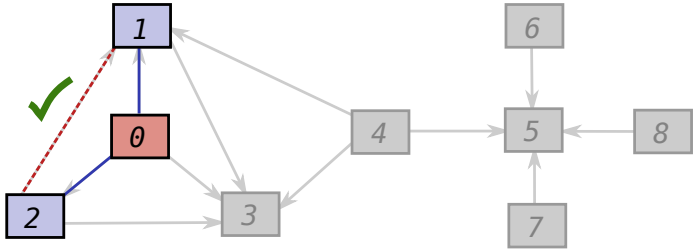
Schritt 4: Dreieckskandidaten aufzählen

- Aufzählen aller ausgehenden Verbindungen je Knoten
- Verbindung von Endpunkten ergibt mögliche Dreiecke



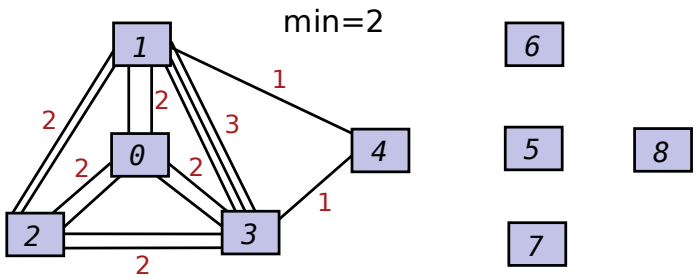
Schritt 5: Dreiecke prüfen

- Prüfen ob Dreieckskandidaten in Graphen existieren
- Nachweis durch Finden der in Schritt 4 ergänzten Kante im Graph
- Ausgabe aller bestätigten Dreiecke



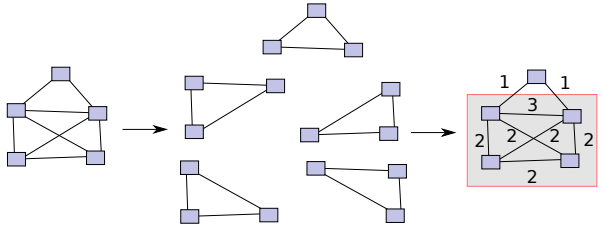
Schritt 6: Träger filtern

- Zählen der Kantenüberlagerungen in der Menge der validierten Dreiecke
- Herausfiltern aller Kanten mit zu wenigen Überlagerungen
- Beispiel: $n >= 2$ entspricht Cliquen mit mindestens 4 Knoten



Träger und Cliquen

- Algorithmus isoliert nur **Träger**: $n - 2$ Überlagerungen zwar notwendig, aber nicht hinreichend
- Nicht an der Clique beteiligte Kanten erhöhen Zahl der Überlagerungen an den Rändern
- Filtern von Kanten mit zu wenigen Überlagerungen reduziert Anzahl der Dreiecke im Graph
- **Mehrfache Iteration notwendig**, bis keine Kanten mehr wegfallen
- Beispiel: Bei suche nach Cliquen mit mindestens 5 Knoten (= 3 Überlappungen) Graph nicht leer

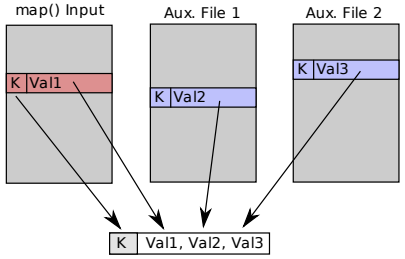


Zusammenführen mit MapReduce

- Bei der Analyse von Daten häufig auftretendes Problem: Zusammenführen von Informationen nach bestimmtem Schlüssel
- Datenbanken: **Join**-Operation (`SELECT * FROM x INNER JOIN y USING (c)`)
- Möglichkeiten zur Implementierung:
  - Map-side Join
  - Reduce-side Join
- Zur Umsetzung beider Varianten notwendig:
  - Einlesen mehrerer unterschiedlicher Eingabedateien
  - Evtl. unterschiedliche Mapper je Datentyp

Map-side Join

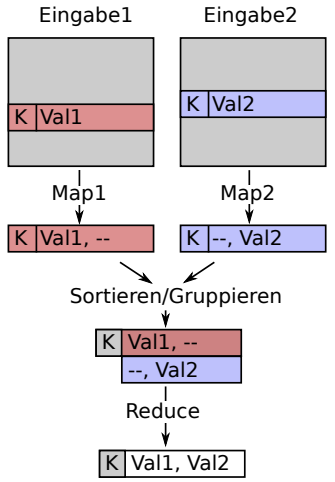
- Zusammenfassen von Daten während des Map-Vorgangs
- **Mapper** hält alle notwendigen Eingabedateien offen
- Durch Framework zugewiesener Datenbereich gibt zu suchende Schlüssel an
  - Suche des jeweiligen Schlüssels in anderen Dateien
- Voraussetzung für effiziente Ausführung: Daten bereits nach Schlüssel **vorsortiert** ($\rightarrow$ siehe z.B. **Merge**-Algorithmus)
- Mapper gibt fertig zusammengeführte Daten aus



Reduce-side Join

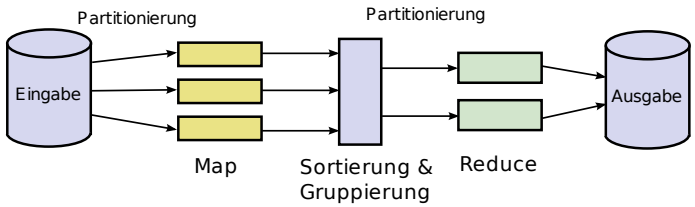
- Nutzen des Sortiervorgangs zum zusammenfügen passender Schlüssel
- Sortierung werden Daten von **unterschiedlichen Mappern** zugeführt
- Mapper bilden unterschiedliche Eingabedaten auf gleichen Ausgabetyp für Sortierung und Reduce-Phase ab
- Sortierung/Gruppierung führt gleiche Schlüssel und damit zusammengehörige Daten zu einer Gruppe zusammen
- **Reducer** erzeugt zusammengesetzten Datensatz

Reduce-side Join



Sortierung, Gruppierung und Partitionierung

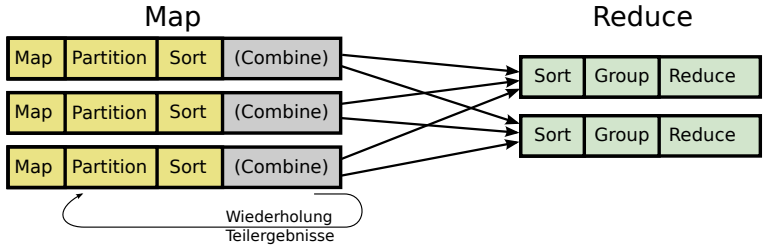
- MapReduce-Grundkonzept:



- Sortierung nicht parallelisierbar
- → Datenabhängige Partitionierung erlaubt paralleles Sortieren
- Datenübergabe zwischen Mapper und Reducer aufwändig
- → Reduktion der zu übertragenden Datenmenge mittels „Combiner“

Sortierung, Gruppierung und Partitionierung

- **Sortierung**: Reihenfolge der Schlüssel/Wert-Paare
- **Gruppierung**: Schlüssel, die beim Reduce zusammengefasst werden
- **Partitionierung**: Zuordnung der Schlüssel zu Reduce-Instanzen mittels Hash-Funktion
- Implementierung in Hadoop:



Sortierung, Gruppierung und Partitionierung

- Schnittstelle in Hadoop:
  - Sortierung/Gruppierung: `org.apache.hadoop.io.RawComparator`, **Achtung:** arbeitet auf (binären) Rohdaten
  - Partitionierung: `org.apache.hadoop.mapreduce.Partitionier`
- Bei Implementierung zu beachtende Eigenschaften:
  - Sortierung gibt **strengere** oder gleichwertige Ordnung gegenüber Gruppierung vor
  - Hash-Funktion im Partitionierer generiert für alle Schlüssel einer Gruppe **gleichen** Hash-Wert

RawComparator-Implementierung

- Klasse `WritableComparator` ermöglich Vergleich von Objekten, die die `WritableComparable` Schnittstelle implementieren
- Deserialisierung der Binärdaten und Zuführen zu `compare()`
- Ohne Überschreiben der `compare()`-Methode wird `compareTo()` der übergebenen Objekte verwendet
- Beispiel:

```
public class Sorting extends WritableComparator {
  public Sorting() {
    super(Edge.class, true);
  }

  // Standardimplementierung
  public int compare(WritableComparable a,
                     WritableComparable b) {
    return a.compareTo(b);
  }
}
```

Partitioner-Implementierung

- Standard-Implementierung `HashPartitioner` verwendet `hashCode()`-Methode von `Object` zur Partitionierung
- **Allerdings**: Standard-Implementierung von `hashCode()` nicht ausreichend, muss bei Implementierung von `Writable`-Schnittstelle überschrieben werden
- Beispiel: Kanten nach linkem Knoten gruppieren

```
public class Partition
    extends Partitioner<Edge, Writable> {

  @Override
  public int getPartition(Edge k, Writable v, int max) {
    return (k.getLeft().hashCode() & Integer.MAX_VALUE) % max;
  }
}
```

Combiner zur Beschleunigung

- Je nach Aufgabenstellung bereits teilweise Ausführung von Reduce-Schritt auch am Ende des Mappers möglich
- **Voraussetzungen**:
  - Reduce-Schritt darf nicht von **Vollständigkeit** einer Gruppe abhängen
  - Reducer muss **weniger** Ausgabedaten produzieren als Eingabedaten gelesen werden

  → Reduktion der zu sortierenden Datenmenge
- Implementierung in Hadoop mittels **Combiner**

Combiner zur Beschleunigung

- Schnittstelle des Combiners entsprecht der des Reducers
- **Beispiel**: Wörter zählen

```
public class Combiner extends Reducer<Text, IntWritable,
                                       Text, IntWritable> {

  public void reduce(Text k, Iterable<IntWritable> v,
                     Context ctx)
              throws IOException, InterruptedException {
    int count = 0;

    for (IntWritable c: v) {
      count += c.get();
    }
    context.write(k, new IntWritable(count));
  }
}
```

- Hier: Reducer identisch mit Combiner

Hadoop Counter

- Hadoop ermöglicht Zählen von Ereignissen mittels `org.apache.hadoop.mapreduce.Counters`
- Von Hadoop selbst verwendet zum Anfertigen veschiedener Statistiken (z.B. Anzahl gelesener/geschriebener Bytes)
- Funktioniert auch bei verteilter Ausführung knotenübergreifend
- Erlauben nur erhöhen des Zählerstandes
- Identifizierug mittels `Enum`s
  - `Enum`-Klasse bildet Zähler**gruppe**
  - `Enum`-Einträge bildet einzelne **Zähler** der Gruppe

Hadoop Counter

- **Beispiel**:

```
public class MyClass {
  public static enum MyGroup{
    VERTEX_COUNT, EDGE_COUNT
  }

  public void map(Key k, Value v, Context ctx) {
    Counter vc = ctx.getCounter(MyGroup.VERTEX_COUNT);
    Counter ec = ctx.getCounter(MyGroup.EDGE_COUNT);
    vc.increment(2);
    ec.increment(1);
  }

  public void printVertexCount(Job job) {
    Counters cts = job.getCounters();
    Counter ct = cts.findCounter(MyGroup.VERTEX_COUNT);
    System.out.println("Vertices: " + ct.getValue());
  }
}
```

Literatur

- [Cohen09]: Jonathan Cohen. Graph Twiddling in a MapReduce World. In *Computing in Science & Engineering Volume 11 Issue 4*, S. 29-41, ISSN 1521-9615, IEEE Computer Society, 2009
  `http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5076317`
  (Kopie: `/proj/i4mw/pub/aufgabe4/Cohen-Graph_Twiddling.pdf`)

- Apache Hadoop Dokumentation
  `http://hadoop.apache.org/common/docs/r0.20.2/index.html`

- Apache Hadoop API Javadoc
  `http://hadoop.apache.org/common/docs/r0.20.2/api/index.html`