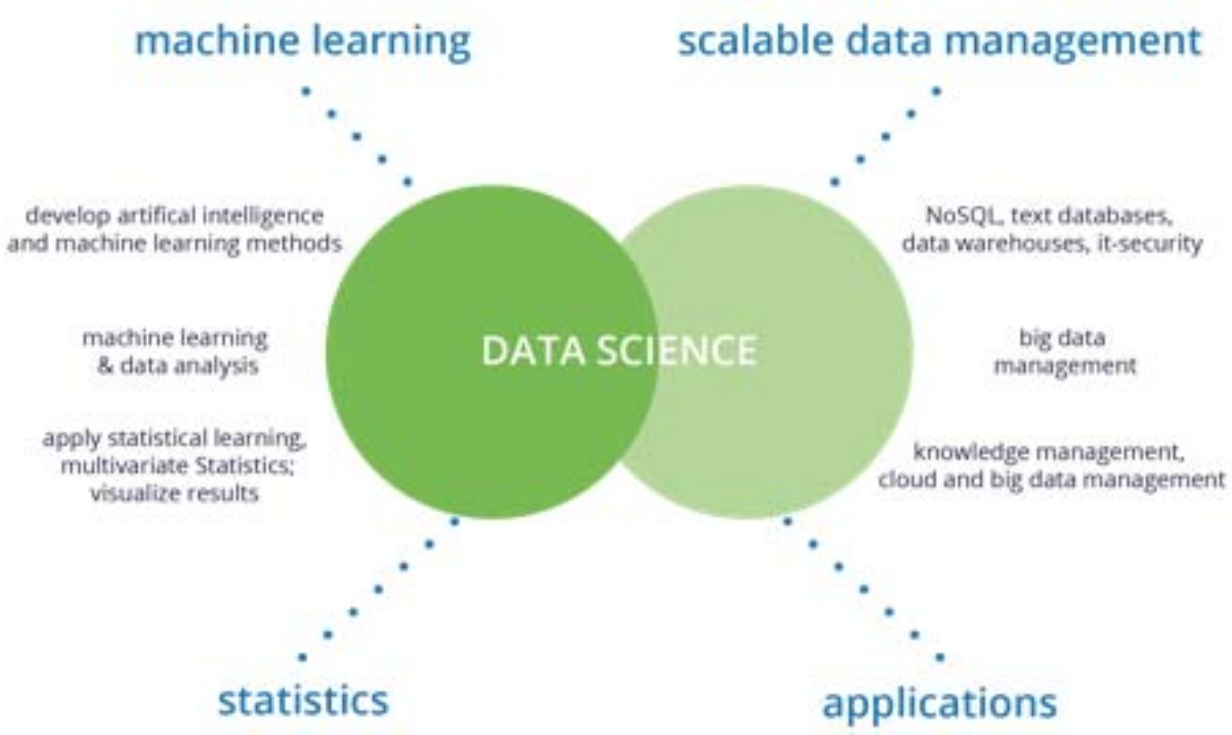
8. Big Data und NoSQL-Datenbanken

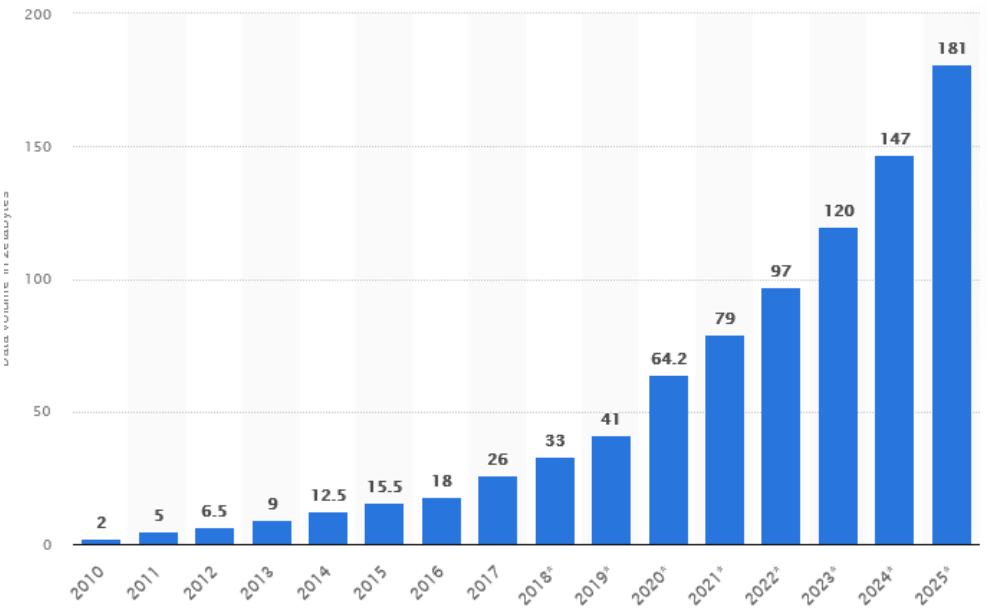
- Einleitung Big Data
  - Herausforderungen
  - Analyse-Pipeline
  - Einsatzbereiche
- Systemarchitekturen für Big Data Analytics
  - Hadoop, MapReduce, Spark/Flink
- NoSQL-Datenbanken
  - Eigenschaften
  - Document Stores (MongoDB)
  - Graph-Datenbanken (neo4J)
- parallele/verteilte Graphanalysen / Gradoop

DATA SCIENCE



Wie groß ist Big Data?

- Big wandelt sich schnell
  - Gigabytes,
  - Terabytes (10^{12})
  - Petabytes (10^{15}),
  - Exabytes (10^{18}),
  - Zettabytes (10^{21}),
  - Yottabytes (10^{24}),
  - Brontobytes (10^{27}),
  - …



geschätztes Datenaufkommen in **Zettabytes**

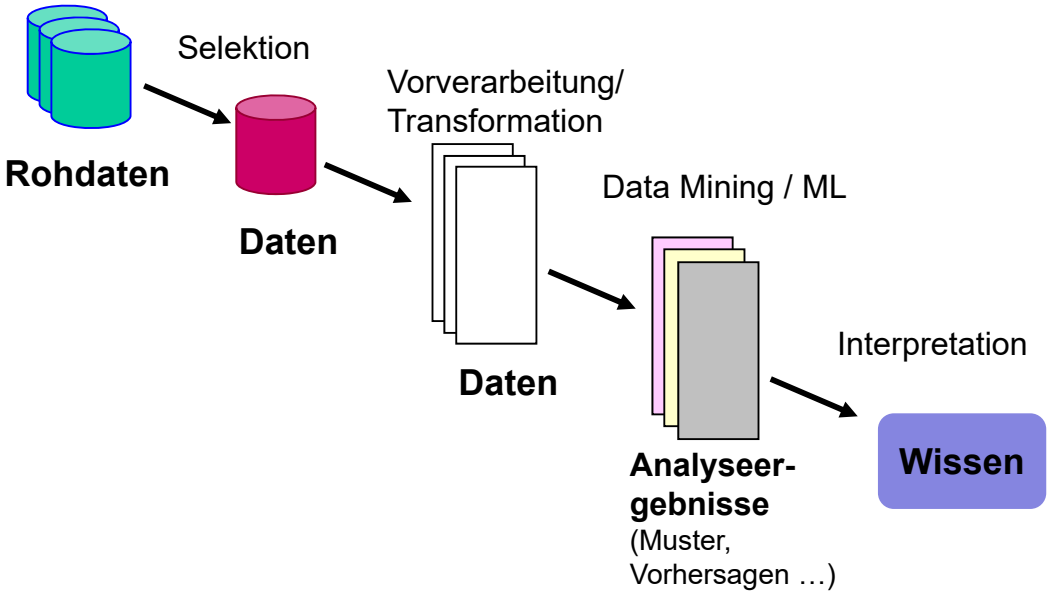
Quelle: Statista

Welche Art von Daten?

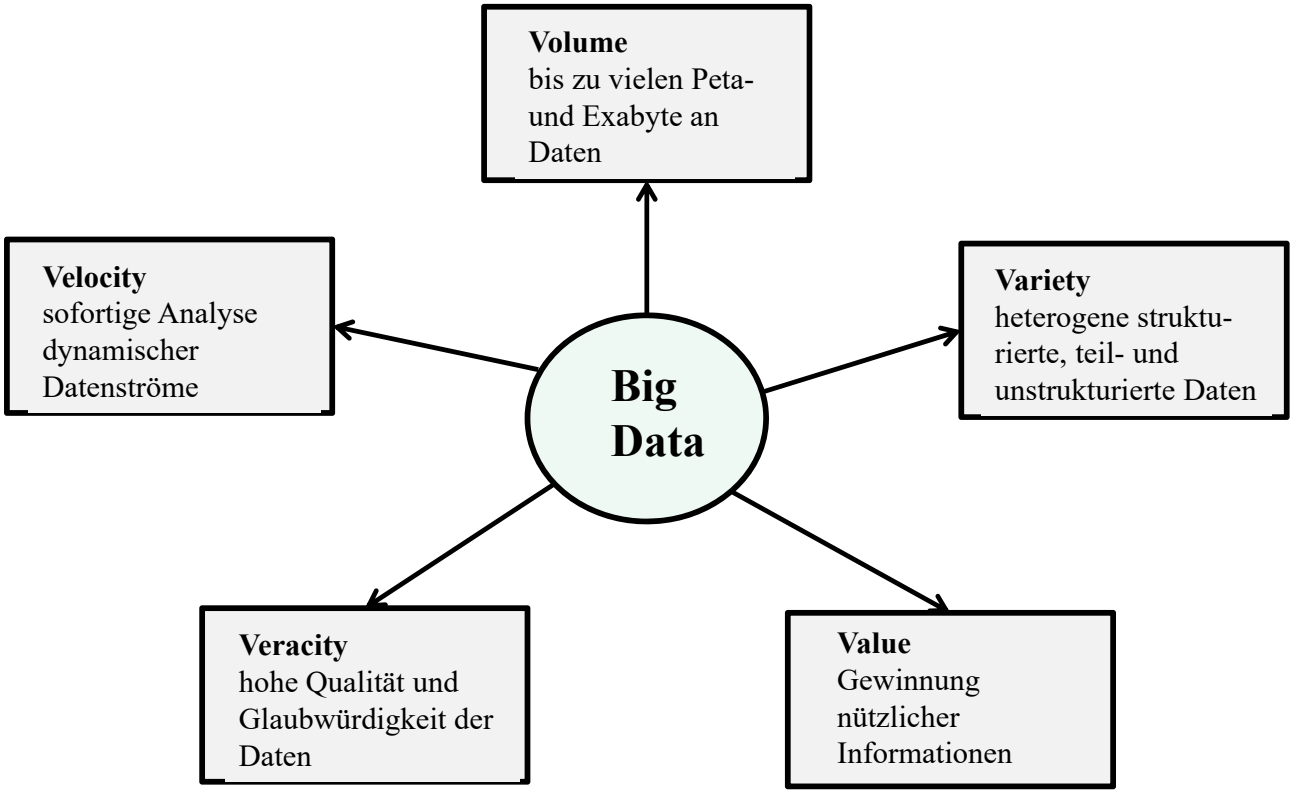
- Unternehmensdaten
  - strukturierte Daten (Datenbanken, Data Warehouses) mit Angaben zu Personal, Kunden, Bestellungen, Rechnungen …
  - Dokumente, E-Mails
- Web-Daten
  - Web-Seiten + Multimedia-Inhalte (Videos, Fotos, …)
  - Click Logs
- soziale Netzwerke / Kommunikationsplattformen (Facebook, Twitter, Linkedin, ...)
  - Nutzer, Beziehungen, Nachrichten, Multimedia-Inhalte
- Sensor-Daten / eingebettete Systeme
  - vernetzte Produktion/Fertigung (Industrie 4.0)
  - „intelligentes“ Haus, Verkehrsüberwachung, …
- umfangreiche und unterschiedliche wissenschaftliche Daten
  - z.B. in Klimaforschung, Experimentalphysik, Lebenswissenschaften/Medizin (genetische Daten, Patientendaten mit Röntgen/MRT-Aufnahmen etc.), Sozialwissenschaften (Digital Humanities)

DATENANALYSE / KNOWLEDGE DISCOVERY

- (semi-)automatische Extraktion von Wissen aus Daten
- Kombination von Verfahren zu Datenbanken, Statistik (Data Mining) und KI (maschinelles Lernen)



Big Data Challenges



Potenziale für Big-Data/ML

- Daten sind Produktionsfaktor: „data is the new oil“
  - ähnlich Betriebsmitteln und Beschäftigten
- valide Grundlage für zahlreiche Entscheidungsprozesse
  - Vorhersage/Bewertung/Kausalität von Ereignissen
- verbesserte Analysen / Vorhersagen in zahllosen Anwendungen und Domänen
  - intelligente Werbung und Empfehlungen, Analyse/Optimierung von Produktionsprozessen, Lieferketten, etc.
  - Entdecken krimineller Aktivitäten (Kreditkartenmissbrauch, Hackerangriffe …)
  - verbesserte/personalisierte Therapien …
  - Klimavorhersagen …

Plattformen für Big Data Analytics

- massiv skalierbare Cloud-Architekturen (Shared Nothing)
- Frameworks zur automatischen Parallelisierung datenintensiver Aufgaben (Hadoop, MapReduce, Apache Spark/Flink)

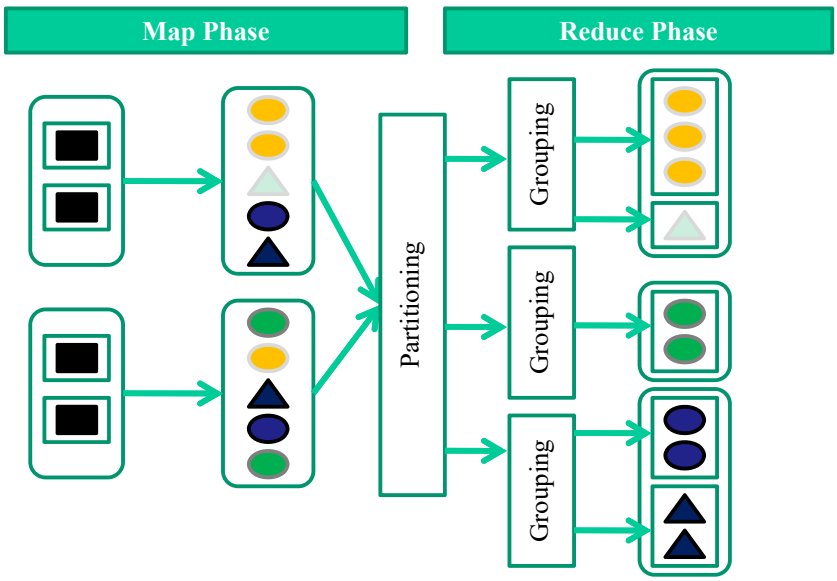
- Parallelverarbeitung auf unterschiedlichen Stufen
  - Data Center (Cluster)
  - Multi-core server
  - Spezialprozessoren: GPUs /FPGAs
- In-Memory Datenbanken / Data Warehouses
- Spezialsysteme für Streaming-Daten, Graph-Daten, …

MapReduce

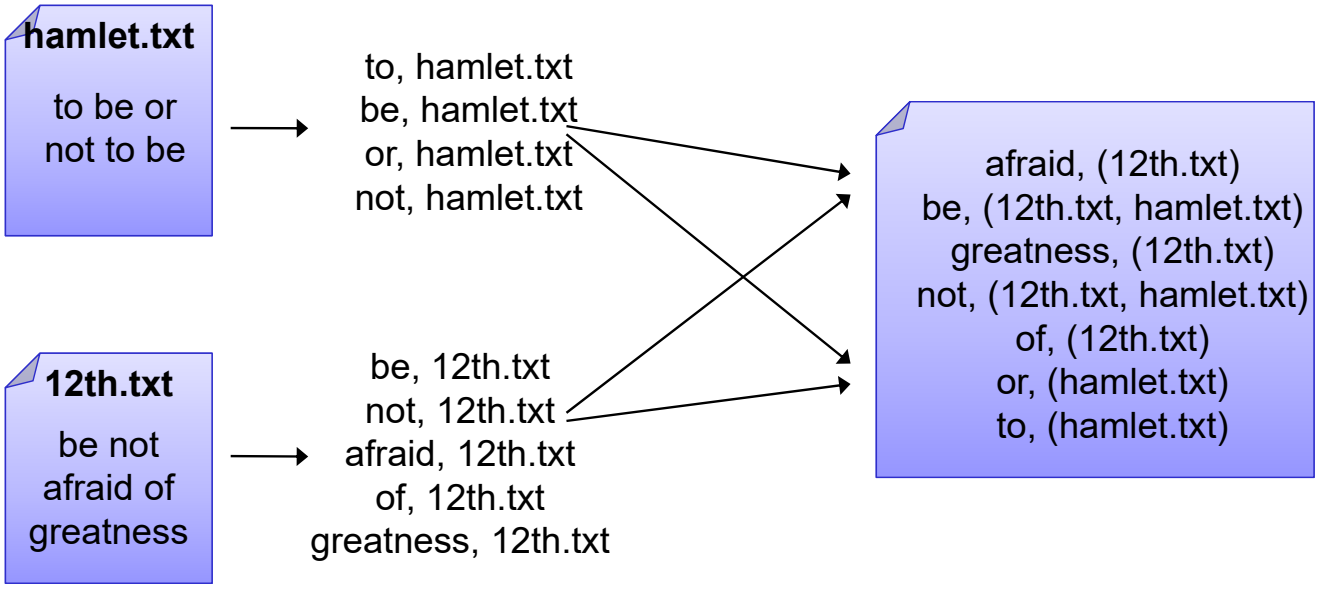
- Framework zur automatischen Parallelisierung von Auswertungen auf großen Datenmengen
  - Entwicklung bei Google
  - populäre Open-Source-Implementierung: Hadoop (seit 2006)
- Nutzung v.a. zur Verarbeitung riesiger Mengen teilstrukturierter Daten in einem verteilten Dateisystem
  - *Konstruktion Suchmaschinenindex*
  - *Clusterung von News-Artikeln*
  - *Spam-Erkennung …*
- Fokus auf Batch-Verarbeitung

MapReduce

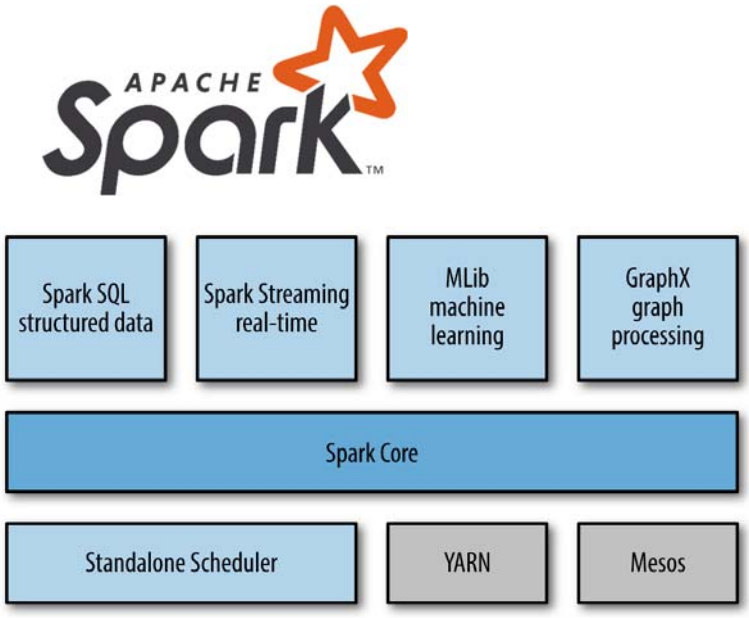
- Verwendung zweier Funktionen: **Map** und **Reduce**
- **Map**-Anwendung pro Eingabeobjekt zur Erzeugung von Key-value Paaren
  - jedes Key-Value-Paar wird einem Reduce-Task zugeordnet
- **Reduce**-Anwendung für jede Objektgruppe mit gleichem Key

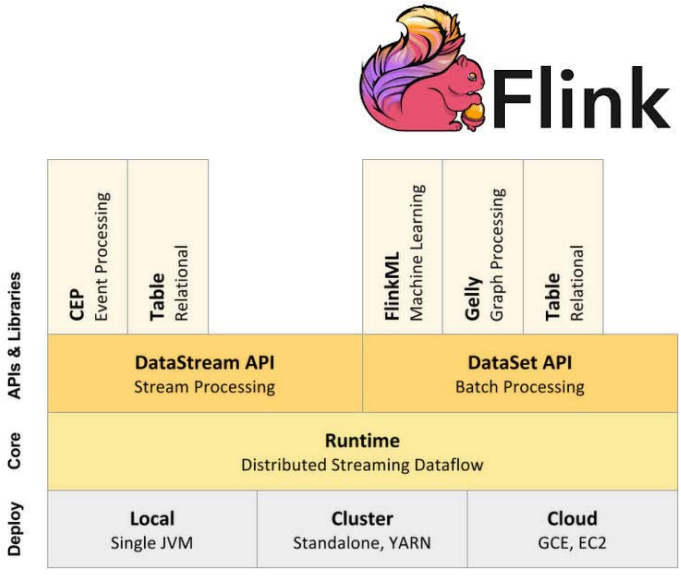


MR-Beispiel: Generierung Text-Index



Spark vs Flink





8. Big Data und NoSQL-Datenbanken

- Einleitung Big Data
  - Herausforderungen
  - Analyse-Pipeline
  - Einsatzbereiche
- Systemarchitekturen für Big Data Analytics
  - Hadoop, MapReduce, Spark/Flink
- NoSQL-Datenbanken
  - Eigenschaften
  - Document Stores (MongoDB)
  - Graph-Datenbanken (neo4J)
- parallele/verteilte Graphanalysen / Gradoop

NoSQL-Datenbanken

Relationale Datenbanken: Pros and Cons

- universelle Verbreitung und auf absehbare Zeit ungefährdet für die meisten DB-Anwendungen
  - SQL: standardisierte, mächtige (deklarative) Query-Sprache
  - ACID
  - reife Technologie
  - automatische Parallelisierung …
- schema-getrieben ("schema first")
  - weniger geeignet für semi-strukturierte Daten
  - zu starr für irreguläre Daten, häufige Änderungen
- relativ hohe Kosten, v.a. für Parallele DBS (kein Open-Source System)
- Skalierbarkeitsprobleme für Big Data (Web Scale)
  - Milliarden von Webseiten
  - Milliarden von Nutzern von Websites und sozialen Netzen
- ACID / strenge Konsistenz nicht immer erforderlich

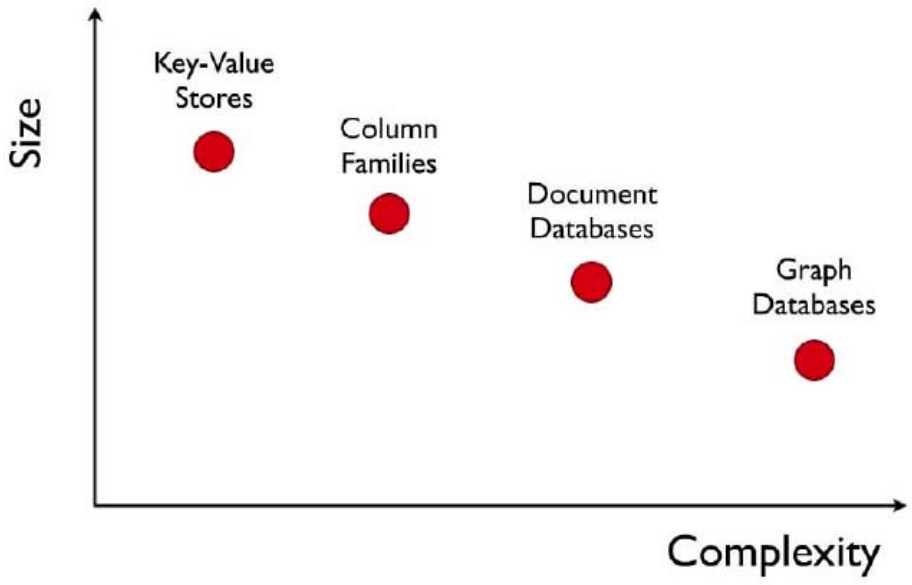
NoSQL-Datenbanken

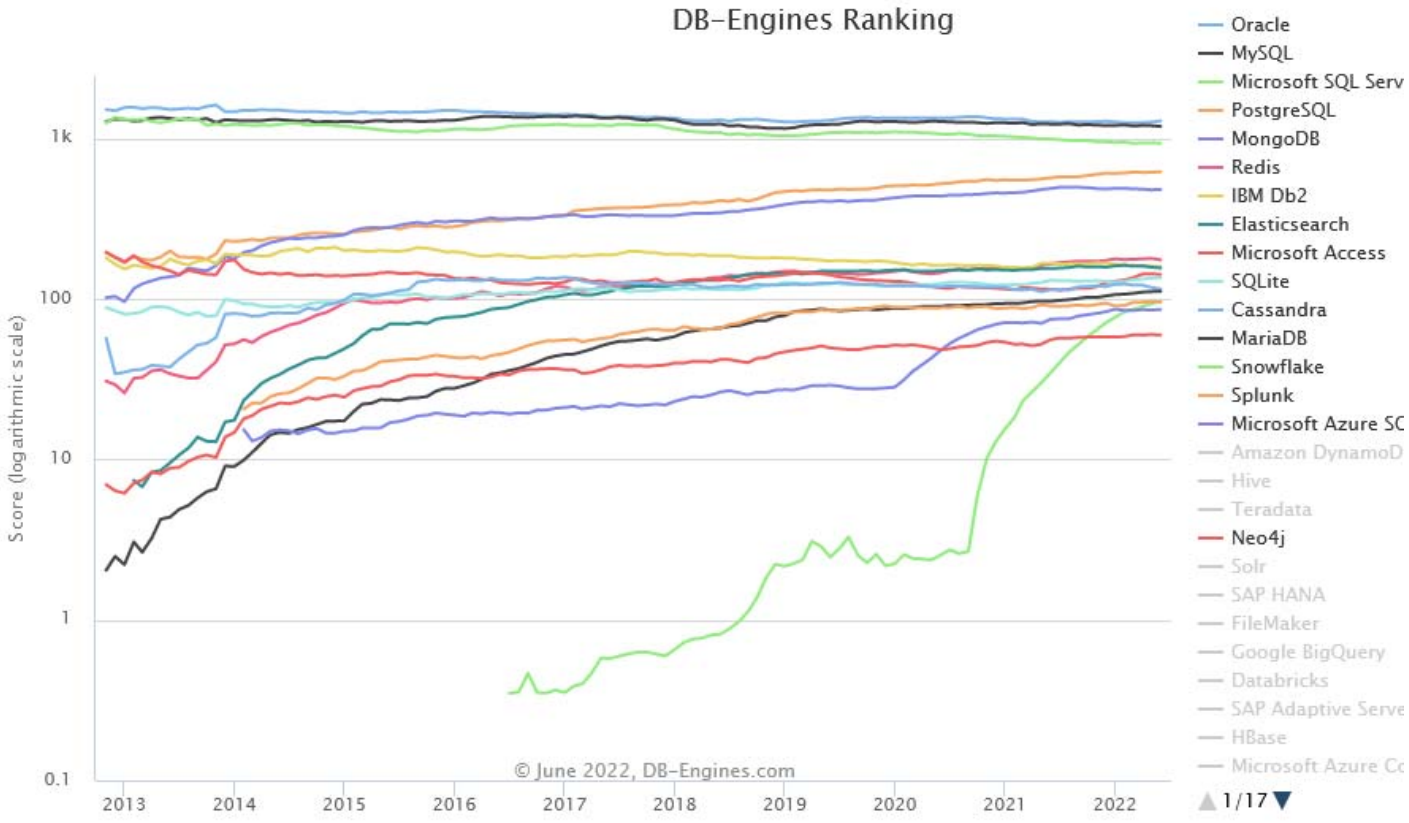
- Entwicklung seit ca. 2009
  - ursprünglicher Fokus: moderne "web-scale" Datenbanken
- Merkmale
  - nicht-relational
  - verteilt,
  - open-source und
  - horizontal (auf große Datenmengen) skalierbar sind
- weitere Charakteristika:
  - schema-frei
  - Datenreplikation
  - einfache API
  - statt ACID nur BASE (**B**asic **A**vailability, **S**oft state, **E**ventually consistent)
- Koexistenz mit SQL
  - "NoSql" wird als "Not only Sql" interpretiert

Arten von NoSQL-Systemen

- Key Value Stores
  - Amazon Dynamo, Voldemort, Membase, Redis …
  - Speicherung eines Werts (z.B. BLOB) pro nutzer-definiertem Schlüssel bzw. Speicherung von Attribut/Wert-Paaren
  - nur einfache key-basierte Lookup/Änderungs-Zugriffe (get, put)
- erweiterte Record-Stores / Wide Column Store
  - Google BigTable / Hbase, Cassandra, Accumulo …
  - tabellenbasierte Speicherung mit flexibler Erweiterung um neue Attribute
- Dokument-Datenbanken
  - CouchDB, MongoDB …
  - Speicherung semistrukturierter Daten als Dokument (z.B. JSON)
- Graph-Datenbanken
  - Neo4J, OrientDB …
  - Speicherung / Auswertung großer Graph-Strukturen

Grobeinordnung NoSQL-Systeme

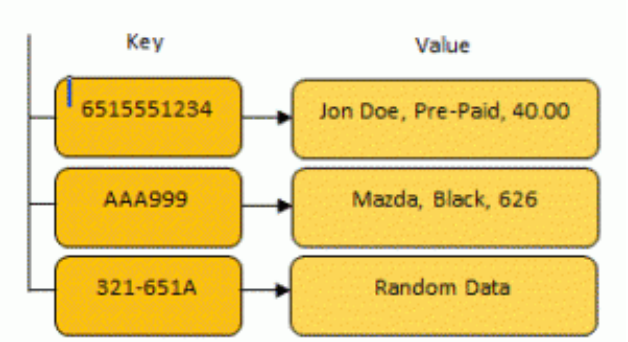




https://db-engines.com/en/ranking_trend

Key-Value Stores

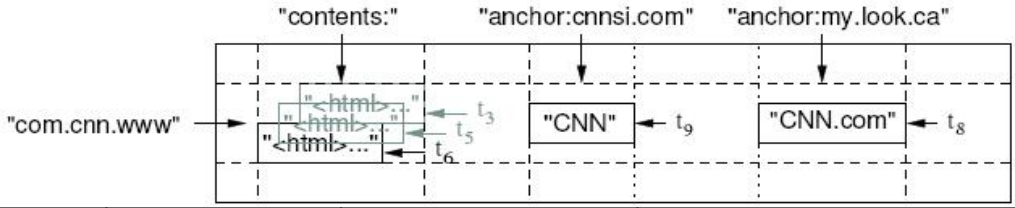
- Speicherung von Schlüssel-Werte-Paaren
  - im einfachsten Fall bleiben Werte systemseitig uninterpretiert (BLOBs)
  - flexibel, kein Schema
  - günstig für wenig strukturierte Inhalte bzw. stark variable Inhalte, z.B. Twitter-Nachrichten, Webseiten etc.
  - keine Verwaltung von Beziehungen



- schnelle Lese/Schreibzugriffe über Schlüssel
  - put (key, value)
  - get (key)
- keine komplexen Queries (z.B. Bereichsabfragen)

Erweiterbare Record Stores

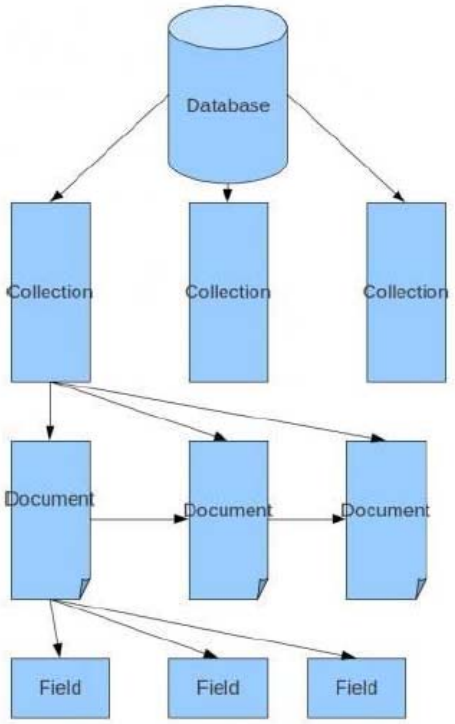
- spaltenorientierte Key-Value Stores mit Erweiterbarkeit über Spaltenfamilien
- Vorbild: Google BigTable
  - Clones: HBase, Cassandra, …
- Ziele (BigTable):
  - Milliarden von Zeilen, Millionen von Spalten, Versionierung (z.B. für Web-Seiten)
  - einfache Erweiterbarkeit um Spalten (innerhalb vordefinierter *Spaltenfamilien*)
  - mehrdimensionale Keys: Zeilen- und Spalten-Schlüssel, Versionsnr



Row Key	Time Stamp	Column ***contents***	Column Family ***anchor***	
"com.cnn.www"	T9		anchor:cnnsi.com	CNN
	T8		anchor:my.look.ca	CNN.COM
	T6	"<html>.. "		
	T5	"<html>.. "		

MongoDB

- Dokumenten-Store mit bereits hoher Verbreitung
  - open source-Version verfügbar
  - JSON-Dokumente, gespeichert als BSON (Binary JSON)
- DB besteht aus Kollektionen von Dokumenten
- einfache Anfragesprache
  - Indexierung von Attributen möglich
  - Map/Reduce-Unterstützung
- Skalierbarkeit und Fehlertoleranz
  - Skalierbarkeit durch horizontale Verteilung der Dokumentkollektionen unter vielen Knoten ("Sharding")
  - automatische Replikation mit Konsistenzwahrung
- kein ACID, z.B. bzgl Synchronisation
  - Änderungen nur bzgl einzelner Dokumente atomar



Beispiel: relational vs. dokumentenorientiert

Relational

STUDENTS

sno	name
1	Peter
2	Tom

POSTS

postID	topic	pdate
p1	NoSQL	01-09-2021
p2	RelationalDB	02-09-2021

COMMENTS

commentID	postID	sno	content	cdate
c1	p1	1	Excellent	02-09-2021
c2	p1	2	I do not understand.	03-09-2021
c3	p1	1	This is a good idea!	04-09-2021

MongoDB (JSON)

```
{topic: 'NoSQL',
pdate: 01-09-2021,
 comments :{{name: 'Peter',
             content: 'Excellent',
              cdate: 02-09-2021},
             {name: 'Tom',
              content: 'I do not understand .',
              cdate: 03-09-2021},
             {name : 'Peter',
              content: 'This is a good idea!',
              cdate: 04-09-2021}}
}
```

- geschachtelte Komponenten (ähnlich XML)
  - keine Beziehungen zwischen Dokumenten (-> keine Joins)
  - Redundanz bei n:m-Beziehungen
  - schemaflexibel

MongoDB: Operationen

RDB		MongoDB
SELECT * FROM students;	↔	db.students.find();
INSERT INTO students ...;	↔	db.students.insert(...);
UPDATE students ...;	↔	db.students.update(...);
DELETE FROM students ...;	↔	db.students.remove(...);
...	↔	...

- Beispiele:

```
> db.students.insert({sno: 1, name: 'Peter'});
> db.posts.insert({topic: 'NoSQL', pdate: ...});
student_a={sno:731, name:'Irving Bonce', address:
                {street:'38 Glenpark Ave',
                 city:'Dunedin',
                 phone:4535467}};
> db.students.save(student_a);
```

```
> db.students.find();
{_id:1, sno:731, name:'Irving Bonce', address:
        {street:'38 Glenpark Ave',
         city:'Dunedin',
         phone:4535467}}
```

MongoDB: Operationen (2)

```
# find the student whose name is "Stephen Hong"
> db.students.find({name: 'Stephen Hong'});

# find all students whose last name is 'Hong'
> db.students.find({name: /Hong$/});

# find all students who live in Canberra
> db.students.find({address.city:'Canberra'});

# count the number of students
> db.students.count();

# find all students who enrolled courses either "SP03" or "SP04"
> db.students.find({courses:{$in:['SP03','SP04']}},
                   {sno: 1, name: 1});

# find all students whose ages are below 20
> db.students.find({age:{$lt: 20}});
```

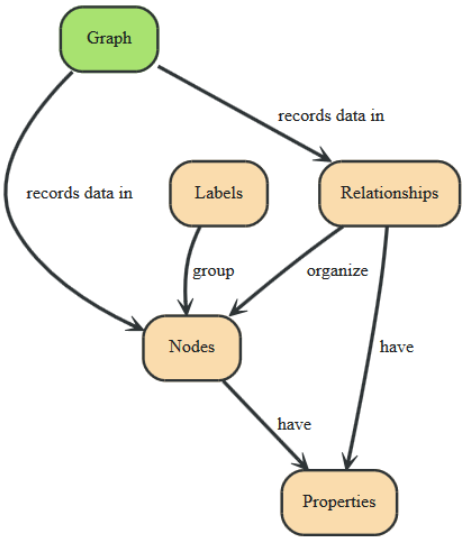
Graph-Datenbanken

- bessere Unterstützung stark vernetzter Daten als mit Relationenmodell
  - soziale Netzwerke
  - Protein-Netzwerke
  - stark vernetzte Webdaten / Unternehmensdaten / …
- Graph-Verwaltung im Relationenmodell oft nicht ausreichend schnell
  - viele Tabellen, viele Joins
  - langsame Traversierung von Kanten
  - langsame Umsetzung von Graph-Algorithmen
- Graph-Datenbanken
  - Graph-Datenmodell mit Gleichbehandlung von Entities und Relationships
  - Graph-Anfragesprachen
  - optimierte Graph-Operationen (z.B. finde „friends of friends“)

Neo4J

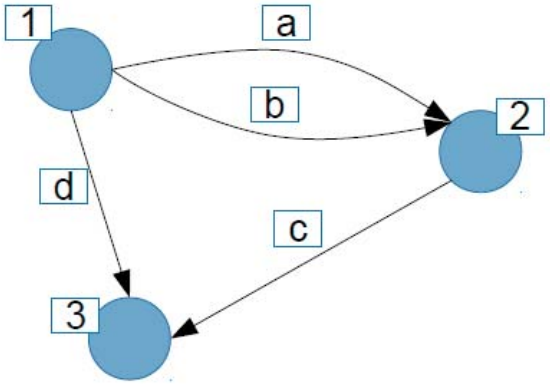
- native Graph-Datenbank von Neo Technology
  - Community Edition (open-source) + kommerzielle Varianten
  - in Java realisiert , Unterstützung weiterer Sprachen (Ruby, Python)
  - ACID-Unterstützung
  - Skalierbarkeit durch Datenreplikation

- zentrale Datenstruktur: Property-Graphen
  - Knoten/Kanten haben Label (Id bzw. Typ))
  - Knoten und Kanten können Properties haben
  - Property: Key-Value-Paar (Key ist vom Typ String)
  - gerichtete Kanten



Property-Graphen

- mehrere, gerichtete Kanten zwischen zwei Knoten möglich (gerichteter „Multigraph“)
  - Labels für Knoten/Kanten
  - Properties für Knoten/Kanten



- konstanter Aufwand zur Traversierung zu Nachbarknoten (statt Join im RM)

Query-Sprache Cypher

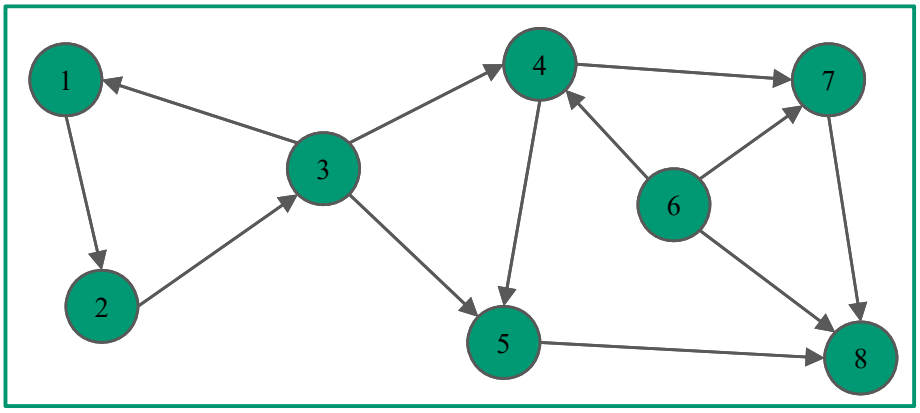
- Merkmale
  - Pattern Matching
  - OLTP-artige Lese/Änderungsoperationen
  - schnelle Traversierungen
  - ACID-basierte Updates
- Klauseln:
  - **START**: Starting points in the graph.
  - **MATCH**: The graph pattern to match.
  - **WHERE**: Filtering criteria.
  - **RETURN**: What to return.
  - **CREATE**: Creates nodes and relationships.
  - **DELETE**: Removes nodes, relationships and properties.
  - **SET**: Set values to properties.
  - **FOREACH**: Performs updating actions once per element in a list.
  - **WITH**: Divides a query into multiple, distinct parts.

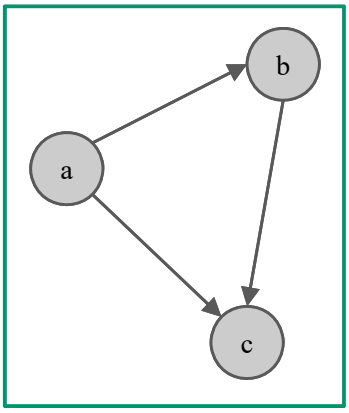
Neo4j: Cypher (2)

```
MATCH    (a)-->(b)-->(c),
         (a)-->(c)
RETURN   a,b,c
```

```
MATCH    (a)-->(b)-->(c)<--(a)
RETURN   a,b,c
```

a	b	c
3	4	5
6	4	7
6	7	8

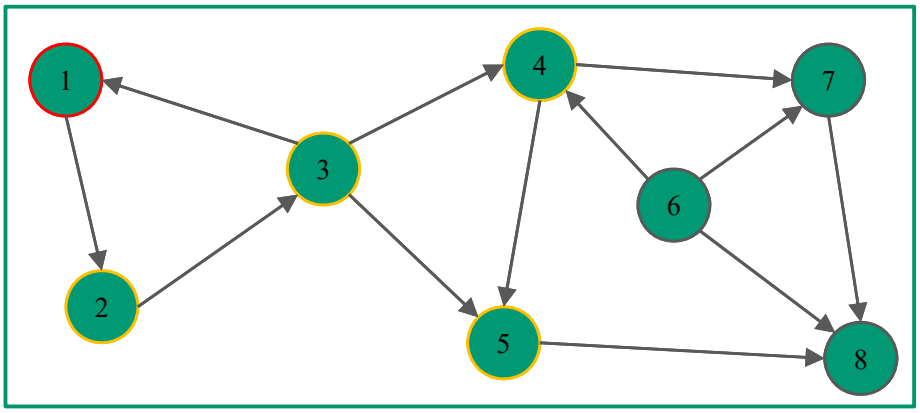


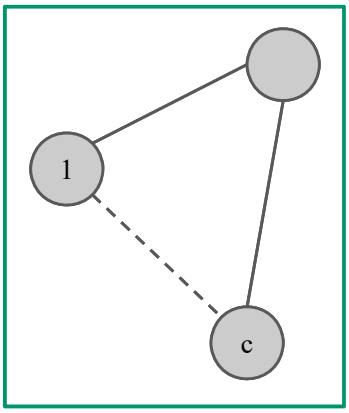


Neo4j: Cypher (3)

```
MATCH    (a)--()--(c)
WHERE    a.id = 1
RETURN   c.id AS c
```

c
3
4
5
2

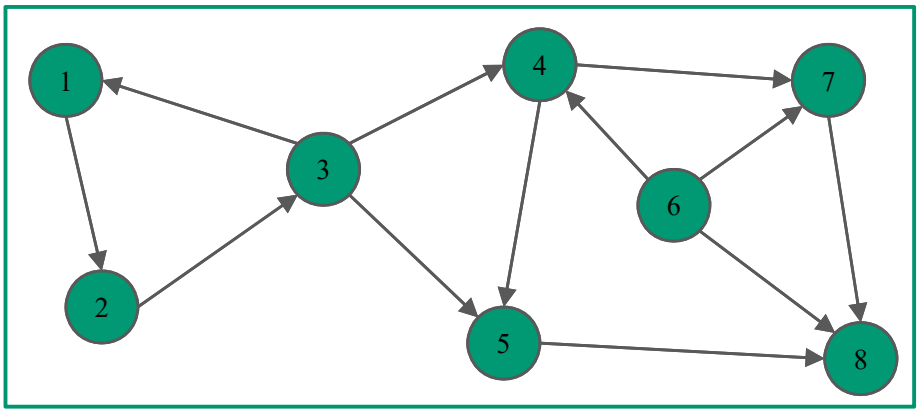


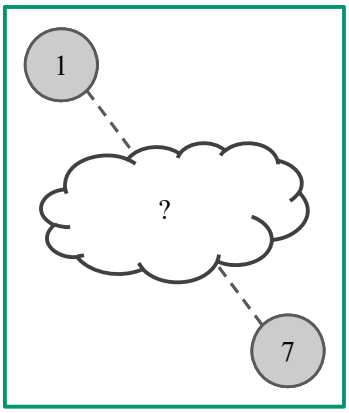


Neo4j: Cypher (4)

```
MATCH    p=(a)-[*1..4]-(b)
WHERE    a.id = 1 AND b.id = 7
RETURN   nodes(p), length(p)
```

nodes(p)	length(p)
(1,2,3,4,7)	4
(1,3,4,7)	3
(1,3,4,6,7)	4
(1,3,5,8,7)	4
(1,3,5,4,7)	4

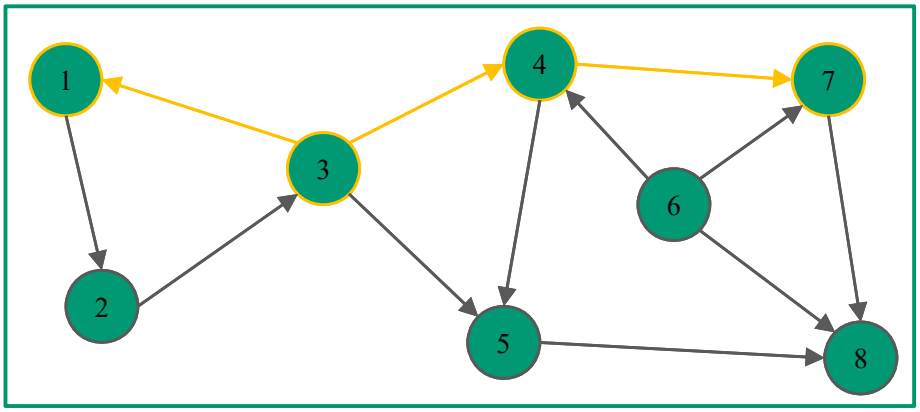


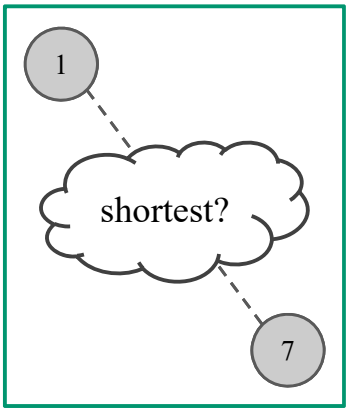


Neo4j: Cypher (5)

```
MATCH    p=shortestPath((a)-[*..4]-(b))
WHERE    a.id = 1 AND b.id = 7
RETURN   nodes(p)
```

nodes(p)
(1,3,4,7)



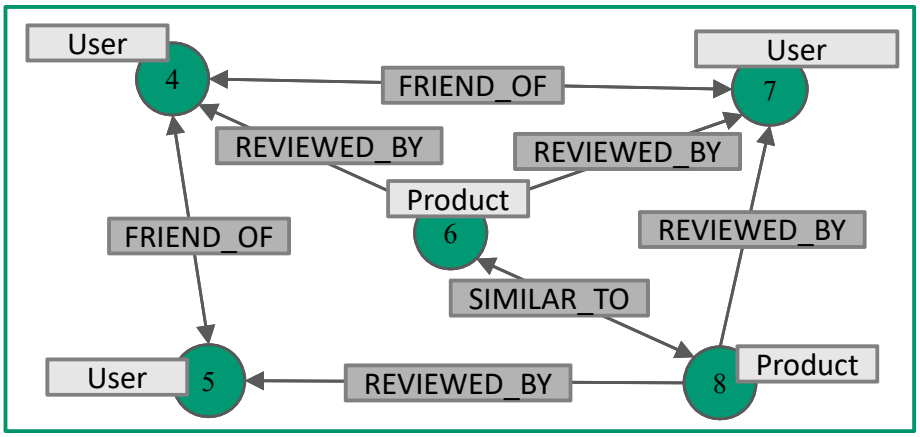


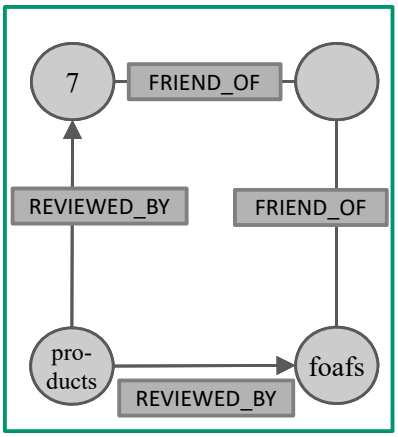
Neo4j: Cypher (6)

Freundesfreunde von Nutzern, die das selbe Produkt wie ein Nutzer bewertet haben

```
MATCH    (u:User)-[:FRIEND_OF*2..2]-foafs,
         foafs<-[:REVIEWED_BY]-products,
         products-[:REVIEWED_BY]->(u)
WHERE    u.id = 7
AND      NOT u-[:FRIEND_OF]-foafs
RETURN   foafs, products
```

foafs	products
5	8





Analyse sehr großer Graphen (Big Graph Data)*

- oft riesige Graphdatenmengen (soziale Netze, Web, wissenschaftliche Netze)
  - Milliarden von Knoten und Kanten
  - aufwändige Mining-Verfahren (frequent patterns, Cluster-Verfahren, Vorhersagen)
- Graph-DBS fokussieren auf einfachere Auswertungen (OLTP, Queries)
  - (relativ) ausdrucksstarkes Graphdatenmodell: Property-Graphen
  - Skalierbarkeitsprobleme
  - nur begrenztes Graph Mining
- *Graph Processing Frameworks* (Apache Giraph, Spark GraphX, Flink Gelly, …)
  - parallele/skalierbare Verarbeitung von sehr großen In-Memory-Graphen
  - nur generische Graphen, keine Query-Sprache
- neuer Forschungsansatz Gradoop (UL, ScaDS.AI)
  - effiziente, verteilte Verwaltung und Analyse großer Mengen von Graphdaten
  - erweitertes Property-Graph Datenmodell (EPGM) mit mächtigen Operatoren
  - hoch-skalierbar basierend auf Hadoop / Flink
  - open-source (www.gradoop.org)

- Rost, C; Gomez, K; Taeschner, M; Fritzsche, P; Schons, L; Christ, L; Adameit, T; Junghanns, M; Rahm, E: *Distributed temporal graph analytics with GRADOOP*. VLDB Journal 2022

Zusammenfassung

- Big Data Herausforderungen
  - Volume, Variety, Velocity, Veracity, Privacy
  - skalierbare Analysen / Machine Learning
- skalierbare Cluster-Architekturen auf Basis von Hadoop mit Framework wie Apache Spark / Flink
- NoSQL
  - Auslöser: webskalierbares Datenmanagement
  - semistrukturierte schemafreie Daten
  - Verzicht auf SQL/ACID
- unterschiedliche Systemarten
  - Key/Value-Stores, erweiterte Record-Stores (Spaltenfamilien)
  - Dokumenten Stores
  - Graph-Datenbanken
- Hauptproblem für NoSQL: fehlende Standards
- skalierbare Graphanalysen: Queries und Mining auf verteilten Plattformen