

# Cloud Computing

## *Kapitel 9: Big Data*

**Christoph Thelen**

christoph.thelen@qaware.de

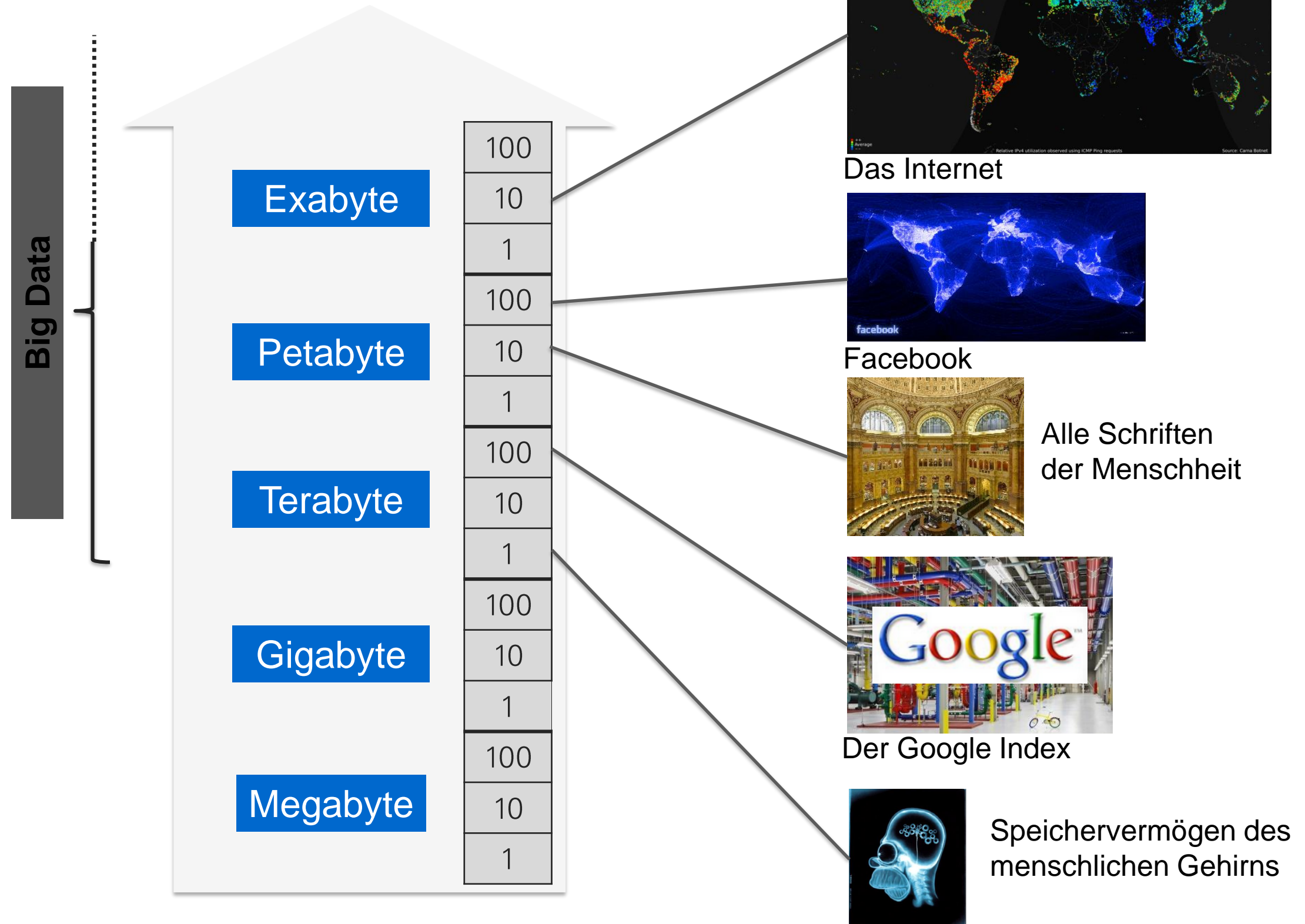
TH Bingen, 12.12.2017

# Big Data

## Big Data

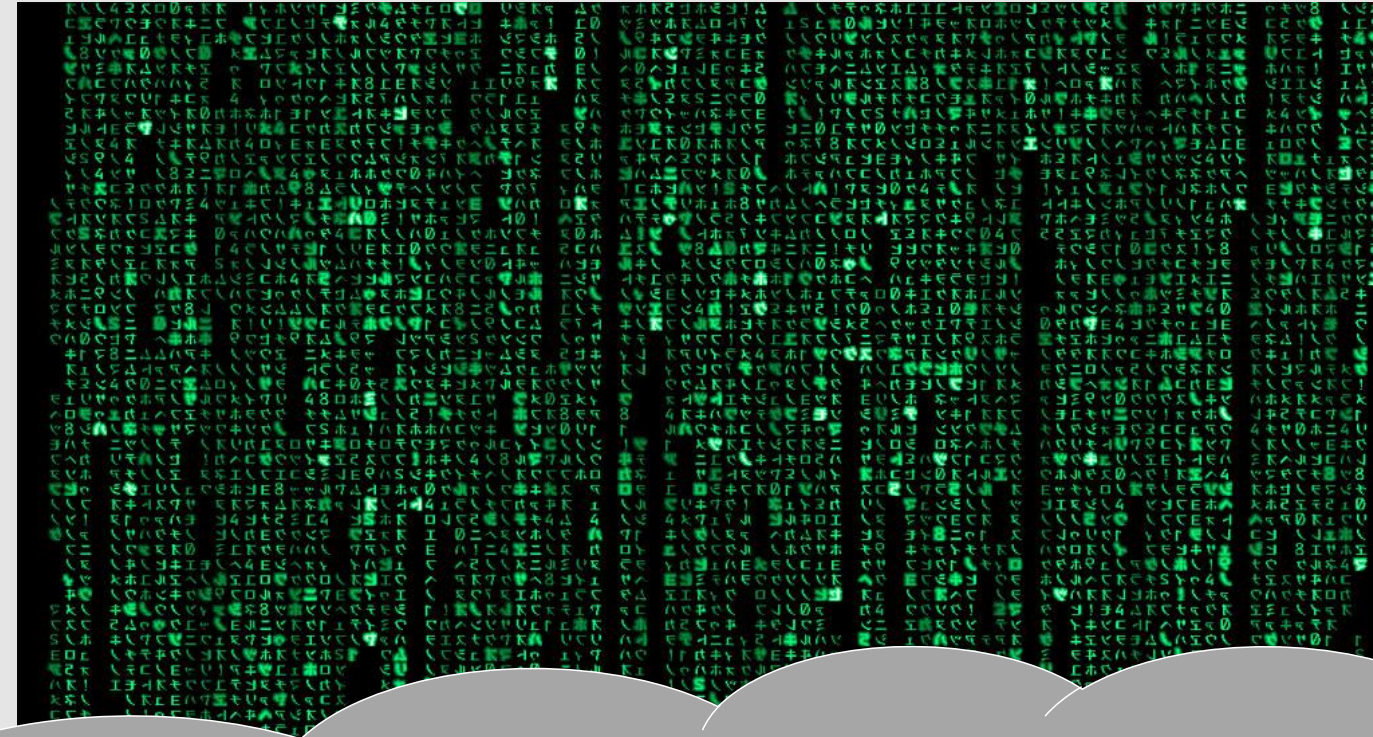
Verarbeitung großer Datenmengen durch:

- verteilte und hochgradig parallelisierte Verarbeitung. (diese Vorlesung)
- verteilte und effizient organisierte Datenablagen. (nächste Vorlesung)





# Wie verwalte und erschließe ich große Datenmengen?



**Die Cloud Computing Antwort:**  
Ich verteile sie auf viele Rechner  
in der Cloud und schaffe eine  
übergreifende  
Zugriffsschnittstelle.



# Große Datenmengen können effizient nur von parallelen Algorithmen verarbeitet werden.

**Ein Algorithmus ist genau dann parallelisierbar, wenn er in einzelne Teile zerlegt werden kann, die keine Seiteneffekte zueinander haben.**

- Funktioniert gut: Quicksort. Aufwand:  $O(n \log n) \rightarrow O(\log n)$

```
private void QuicksortParallel<T>(T[] arr, int left, int right)
where T : IComparable<T>
{
    if (right > left)
    {
        int pivot = Partition(arr, left, right);
        Parallel.Do(
            () => QuicksortParallel(arr, left, pivot - 1),
            () => QuicksortParallel(arr, pivot + 1, right));
    }
}
```

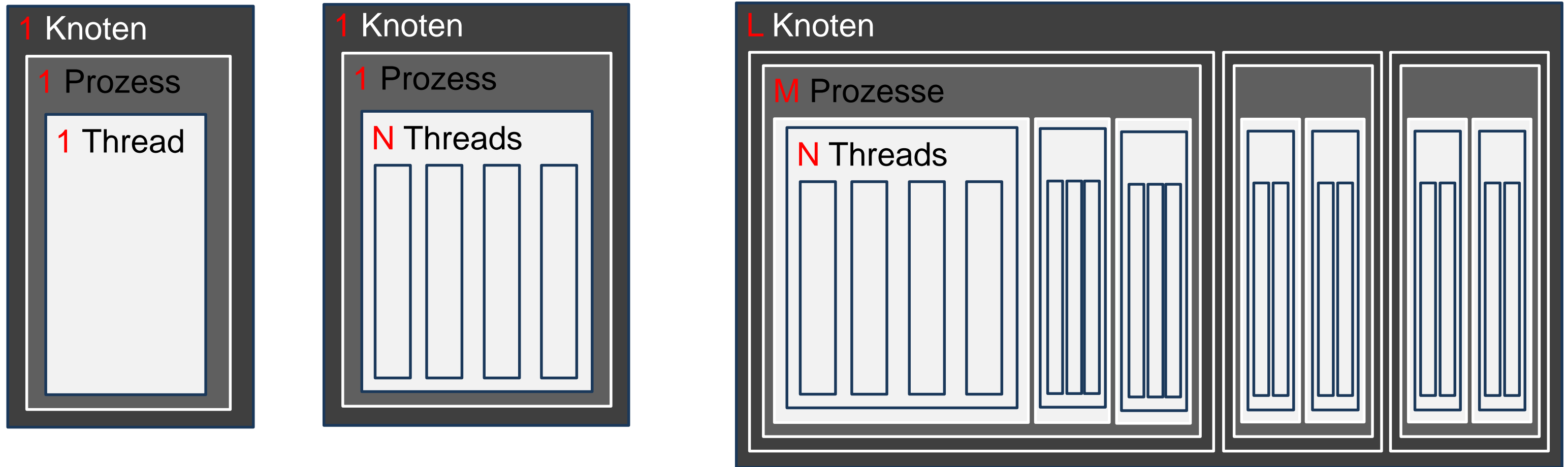
- Funktioniert nicht: Berechnung der Fibonacci-Folge ( $F_{k+2} = F_k + F_{k+1}$ ). Berechnung ist nicht parallelisierbar.

**Ein paralleler Algorithmus (Job) ist aufgeteilt in sequenzielle Berechnungsschritte (Tasks), die parallel zueinander abgearbeitet werden können.** Der Entwurf von parallelen Algorithmen folgt oft dem Teile-und-Herrsche Prinzip.

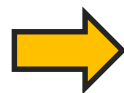
# Parallele Programmierung basiert oft auf funktionaler Programmierung.

- Ein funktionales Programm besteht (ausschließlich) aus Funktionen.
- Eine Funktion ist die Abbildung von Eingabedaten auf Ausgabedaten:  
 $f(E) \rightarrow A$   
Eine Funktion ändert die Eingabedaten dabei nicht.
- Funktionen sind idempotent:
  - Sie erzeugen neben den Ausgabedaten keine weiteren Seiteneffekte.
    - ➔ Funktionen sind somit ideal parallelisierbar und zur Beschreibung von Tasks geeignet.
  - Sie erzeugen für die gleichen Eingabedaten auch stets die gleichen Ausgabedaten.
    - ➔ Funktionen können im Fehlerfall stets neu ausgeführt werden. Parallele Verarbeitung ist aus technischen Gründen oft fehleranfällig. Damit kann eine Fehlertoleranz sichergestellt werden.

# Parallele Programmierung kann sowohl im Kleinen als auch im Großen betrieben werden.



**Keine Parallelität**



**Parallelität im Kleinen**

Vorteile im Vergleich:

- Höherer Durchsatz
- Bessere Auslastung der Hardware
- Vertikale Skalierung möglich



**Parallelität im Großen**

Vorteile im Vergleich:

- Höherer Durchsatz
- Horizontale Skalierung möglich (Scale Out).
- Keine hardwarebedingte Limitierung des Datenvolumens (→ Big Data ready).

# Big Data erfordert Parallelität im Großen. Die vier Paradigmen der Parallelität im Großen:



Folgt aus Datenmenge  
im Vergleich zur  
Programmgröße

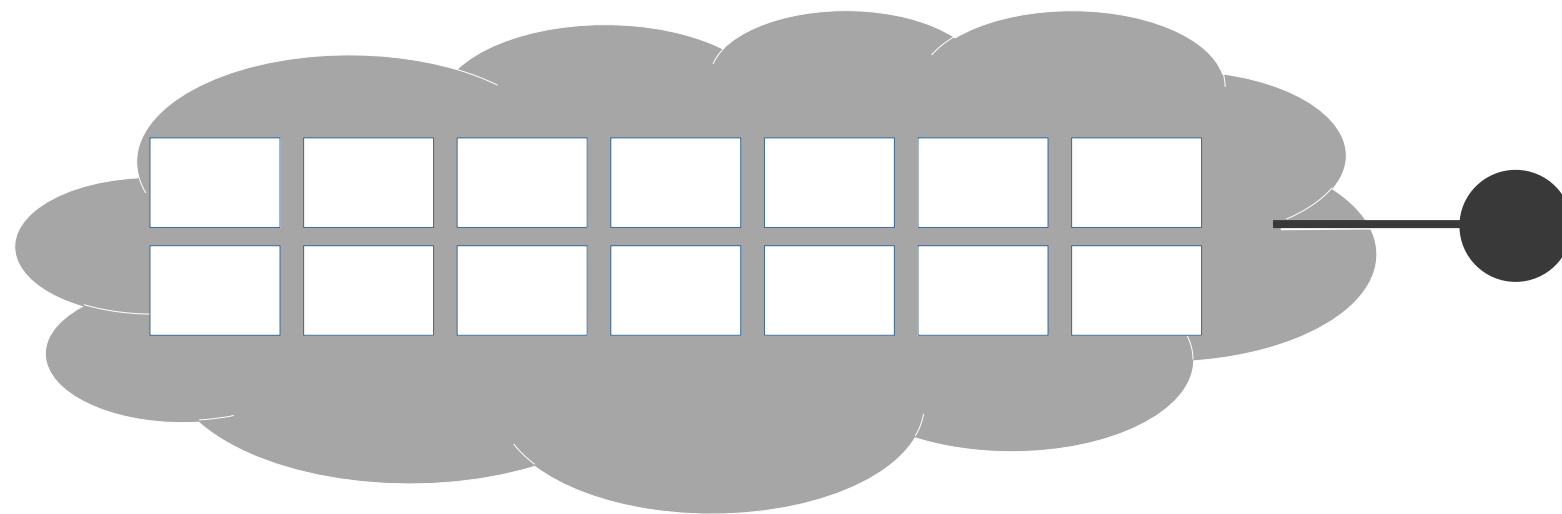
Das Grundprinzip von  
paralleler Verarbeitung.

Folgt aus Praxisanforderung:  
Viele Knoten  
bedeutet  
viele Ausfallmöglichkeiten

Folgt aus potenziell großer  
Datenmenge und  
Verarbeitungs-  
geschwindigkeit

1. Die Logik folgt den Daten.
2. Falls Datentransfer notwendig, dann so schnell wie möglich: In-Memory vor lokaler Festplatte vor Remote-Transfer.
3. Parallelisierung über *Tasks* (seiteneffektfreie Funktionen) und *Jobs* (Ausführungsvorschrift für Tasks) sowie entsprechend partitionierter Daten (*Shards*).
4. Design for Failure: Ausführungsfehler als Standardfall ansehen und verzeihend und kompensierend sein.

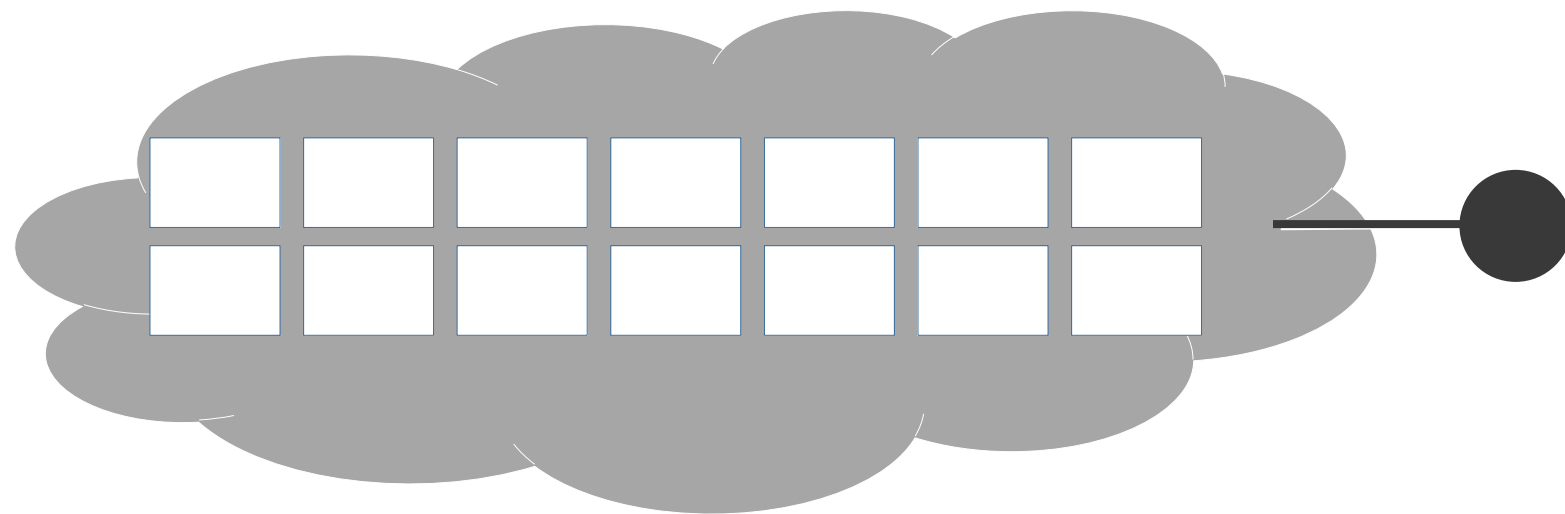
# Welche Lösungen gibt es dafür im Cloud Computing?



- **Big Data Engines (low level)**
  - MapReduce
  - RDD (Resilient Distributed Dataset)
- **Big Data Datenbanken (high level)**
  - NoSQL Datenbanken
  - NewSQL Datenbanken (NoSQL + SQL)
- Verteilte Dateisysteme
- In-Memory Data Grids / Elastic Memory



# Welche Lösungen gibt es dafür im Cloud Computing?



- **Big Data Engines (low level)**
  - **MapReduce**
  - **RDD (Resilient Distributed Dataset)**
- **Big Data Datenbanken (high level)**
  - NoSQL Datenbanken
  - NewSQL Datenbanken (NoSQL + SQL)
- Verteilte Dateisysteme
- In-Memory Data Grids / Elastic Memory

# Die *map* und *reduce* Funktion.

- Die `map` Funktion: Transformation einer Menge von Datensätzen in eine Zwischendarstellung. Erzeugt aus einem Schlüssel und einem Wert eine Liste an Schlüssel-Wert-Paaren.

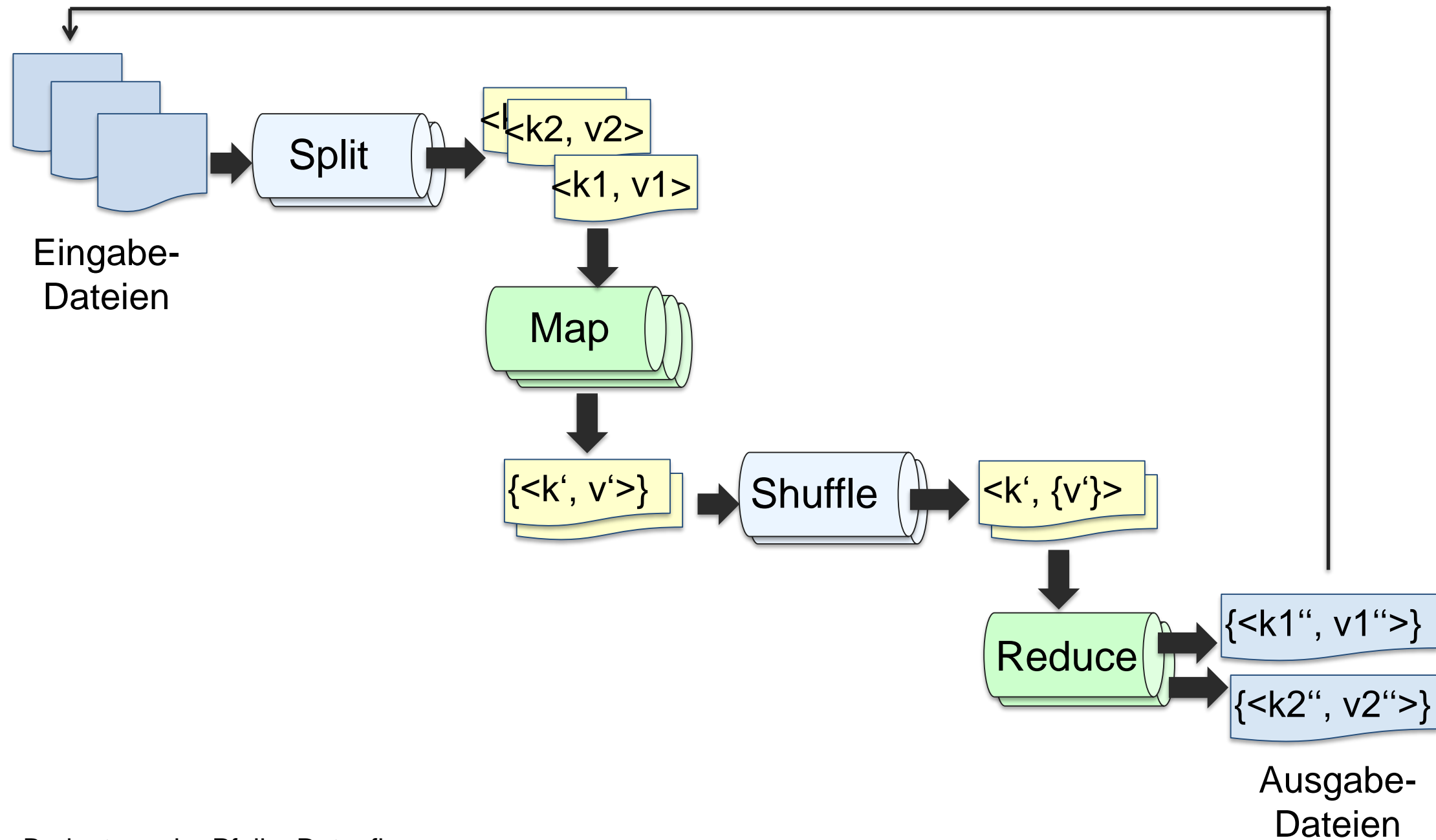
Signatur: `map(k, v) → list(<k`, v`>)`

- Die `reduce` Funktion: Reduktion der Zwischendarstellung auf das Endergebnis. Verarbeitet alle Werte mit gleichem Schlüssel zu einer Liste an Schlüssel-Wert-Paaren.

Signatur: `reduce(k`, list(v`)) → list(<k``, v``>)`

- Dabei soll gelten: `|list(<k``, v``>)| << |list(<k`, v`>)|`

Programme werden in (mehrere) Map-Reduce-Zyklen aufgeteilt. Das Framework übernimmt die Parallelisierung.



Bedeutung der Pfeile: Datenfluss

# Die Map-Phase

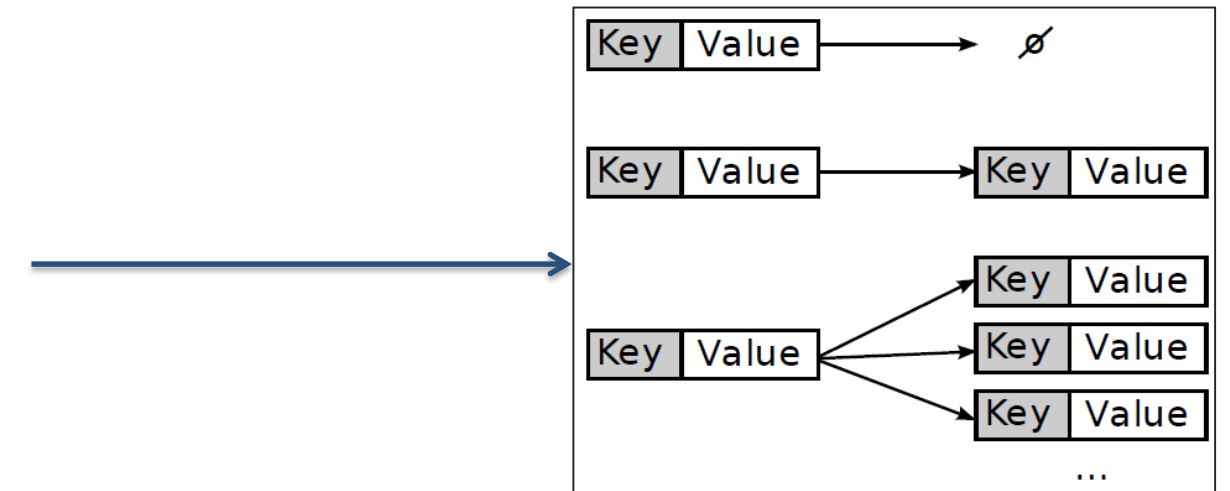
Split

Map

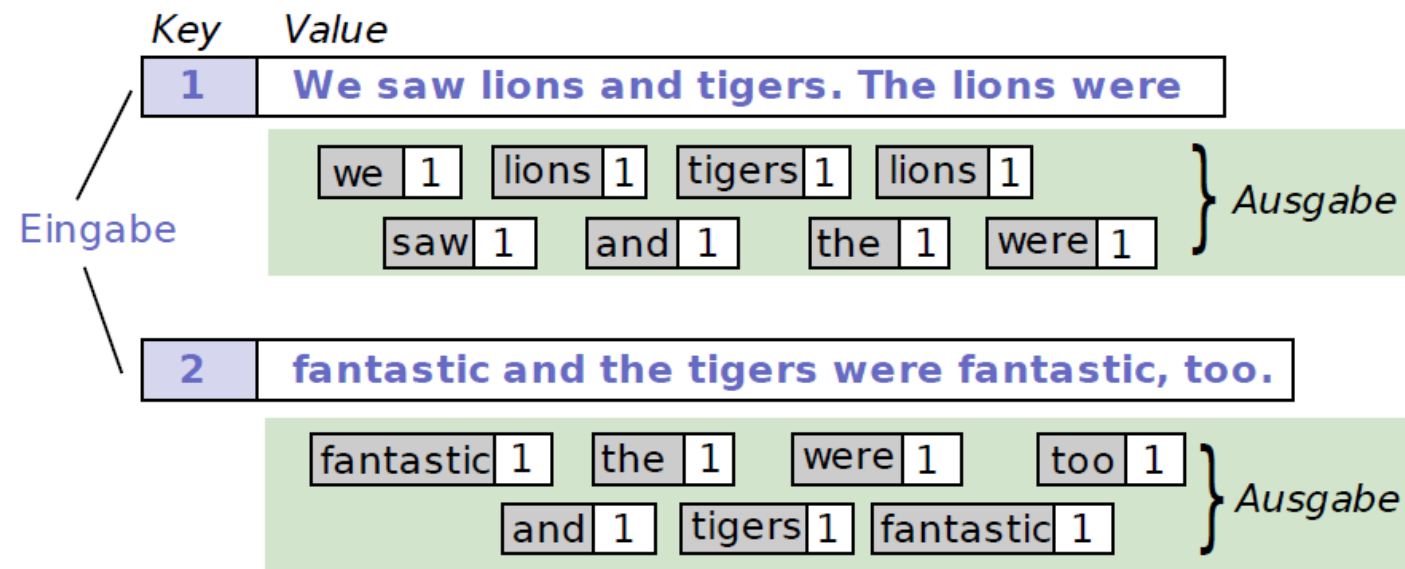
Shuffle

Reduce

- Parallele Verarbeitung verschiedener Teilbereiche der Eingabedaten.
- Eingabedaten liegen in Form von Schlüssel/Wert-Paaren vor.
- Abbildung auf variable Anzahl von neuen Schlüssel/Wert-Paaren. Dabei sind alle Abbildungsvarianten zulässig:
- Beispiel: WordCount



*Ein- und Ausgabe der Map-Phase:*



*Pseudocode Map-Phase:*

```
map(String key, String value):  
    // key: document name  
    // value: document contents  
    for each word in value:  
        EmitIntermediate(word, "1");
```

# Die Shuffle-Phase

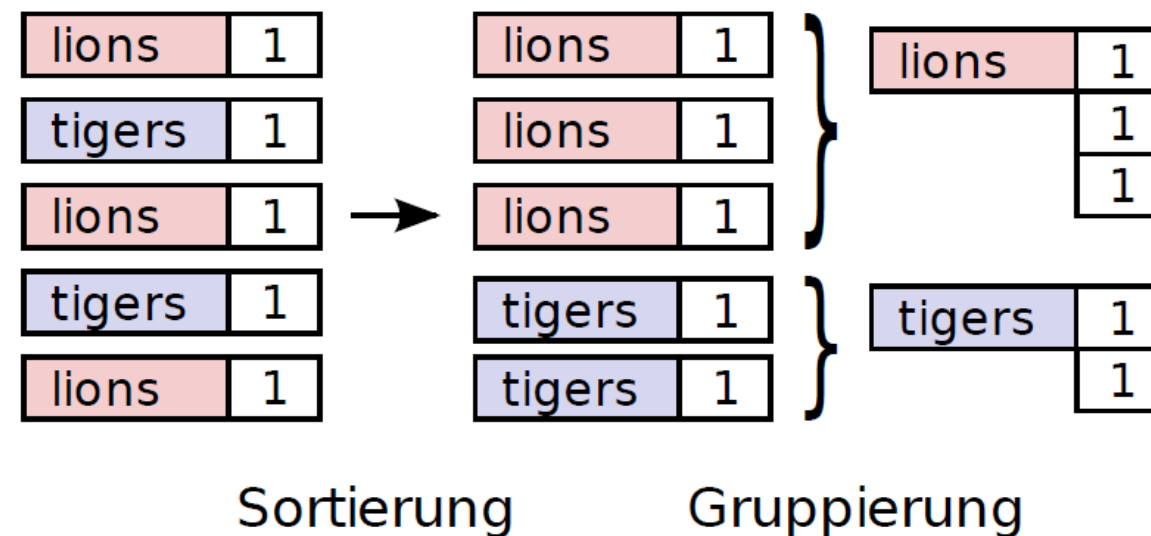
Split

Map

Shuffle

Reduce

- Verarbeitung der Ergebnisse aus der Map-Phase.
- Ausgaben aus der Map-Phase werden entsprechend ihrem Schlüssel sortiert und gruppiert.
- Im Standard-Fall ist die Shuffle-Phase nicht parallelisiert.
- Sie kann jedoch mittels einer Vor-Sortierung in der Map-Phase über eine Partitionierungsfunktion (z.B. Hash) auf den Schlüssel parallelisiert werden.





# Die Reduce-Phase

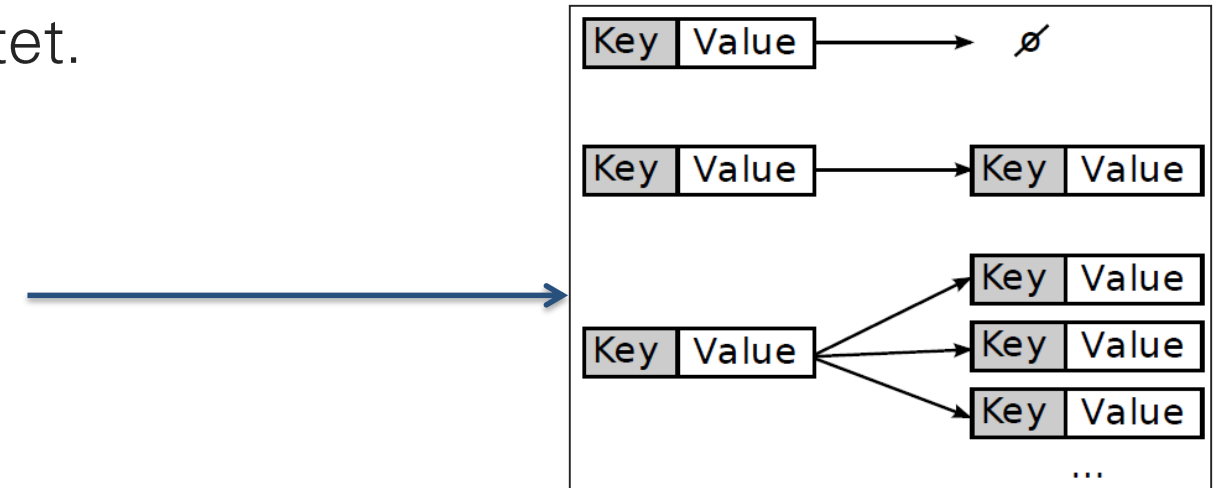
Split

Map

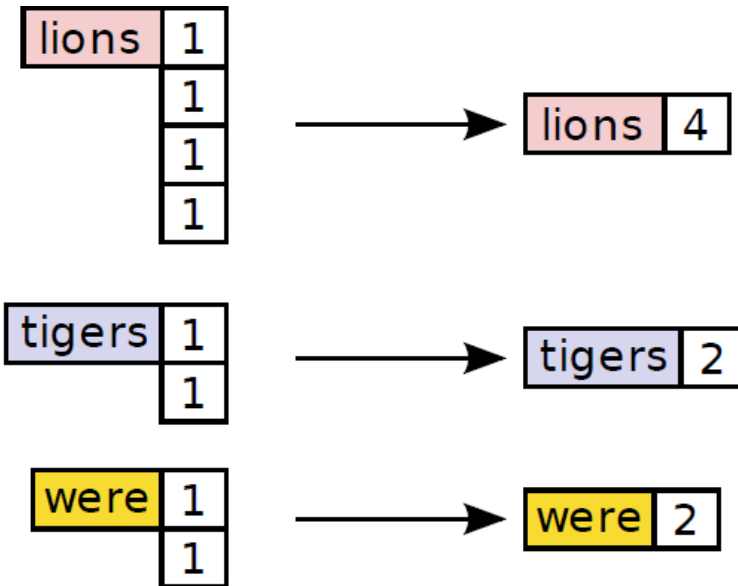
Shuffle

Reduce

- Parallele Verarbeitung von Ergebnis-Gruppen aus der Map-Phase.  
Es wird pro Reduce-Vorgang genau eine dieser Gruppen verarbeitet.
- Eingabedaten liegen in Form von Schlüssel-Wertlisten vor.
- Abbildung auf variable Anzahl an Schlüssel/Wert-Paaren.  
Dabei sind alle Abbildungsvarianten zulässig:



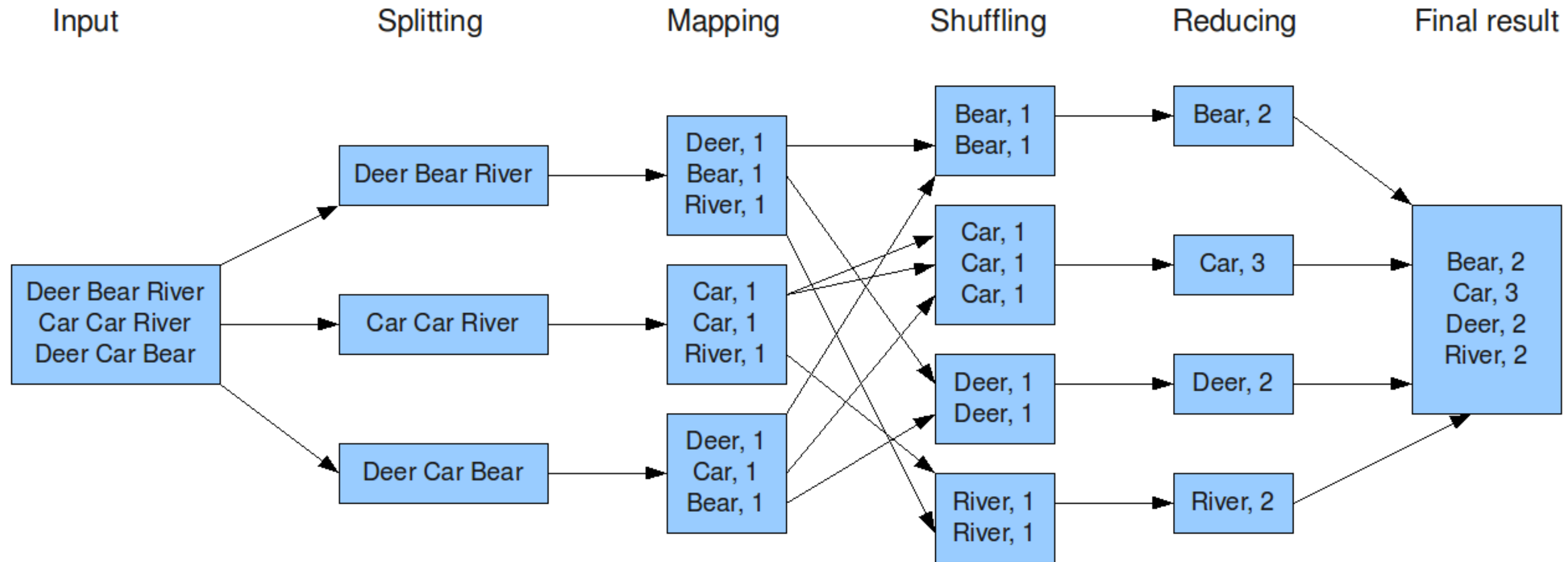
*Ein- und Ausgabe der Reduce-Phase:*



*Pseudocode Reduce-Phase:*

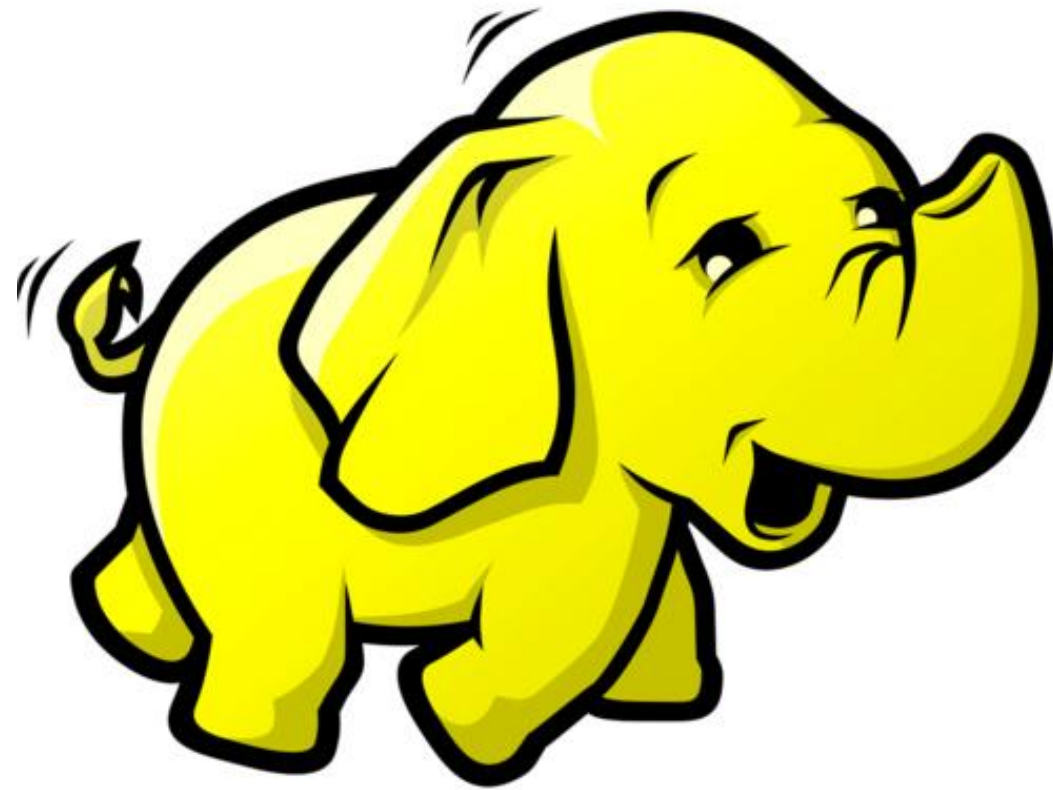
```
reduce(String key, Iterator values):  
    // key: a word  
    // values: a list of counts  
    for each value in values:  
        result += ParseInt(value);  
    Emit(AsString(key + ', ' + result));
```

# Übersicht über alle Phasen



<http://blog.jteam.nl/2009/08/04/introduction-to-hadoop>

# Hadoop



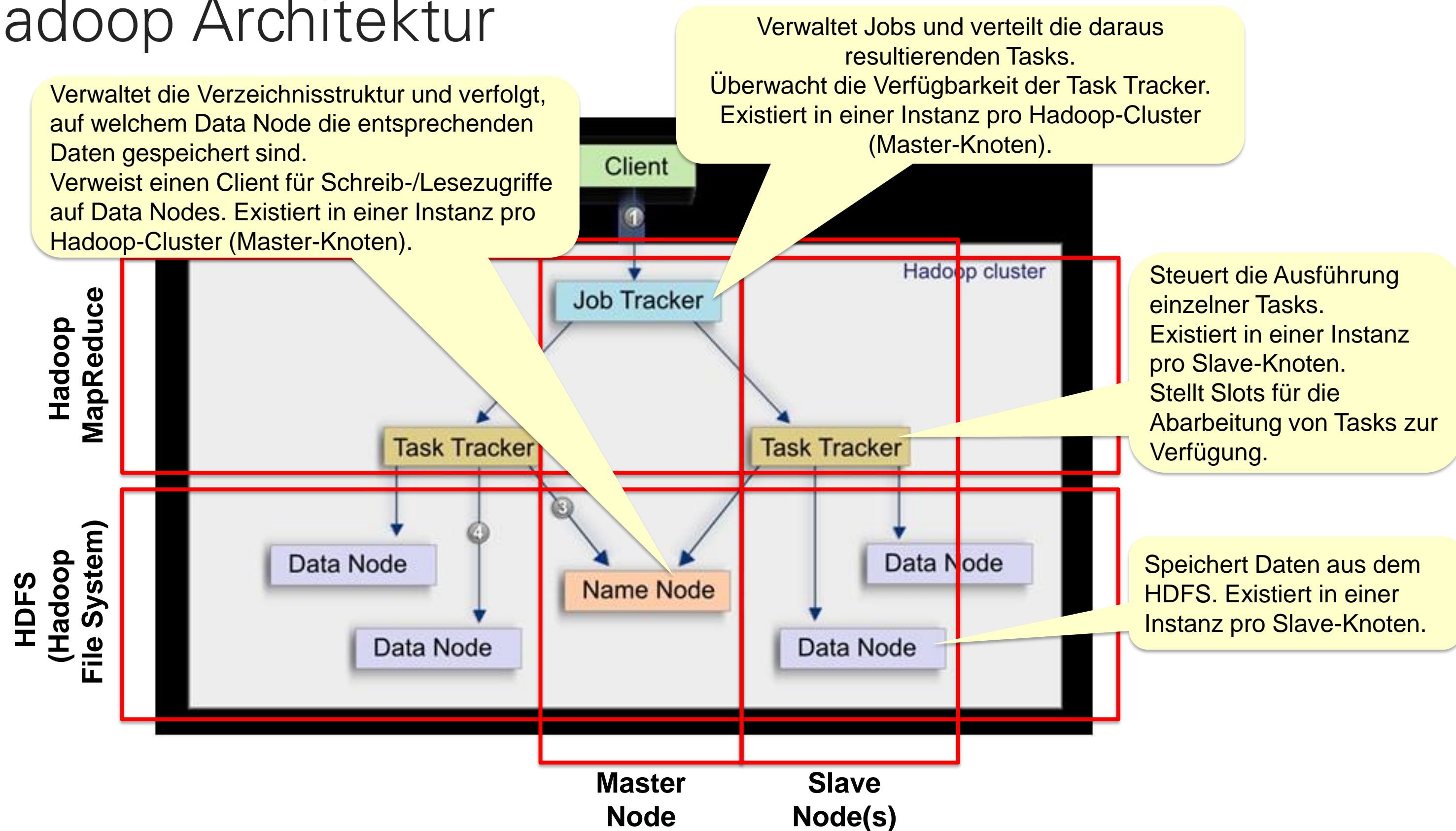
**„Open source platform for  
reliable, scalable, distributed  
computing.“**

# Apache Hadoop

- 2005 implementierte Doug Cutting MapReduce für Nutch (<http://nutch.apache.org>). Nutch ist eine Open Source Suchmaschine, geschrieben in Java.
- Aus Nutch heraus wurde dann das Projekt Hadoop (<http://hadoop.apache.org>) extrahiert. Es wurde als Open Source Implementierung des von Google beschriebenen MapReduce-Konzepts entwickelt. Die Google-Implementierung ist nicht veröffentlicht.  
**„Open source platform for reliable, scalable, distributed computing.“**
- Hadoop besteht aus zwei wesentlichen Bausteinen:
  - Einer Implementierung des Google File Systems (GFS), genannt Hadoop File System (HDFS),
  - sowie einem MapReduce-Framework.
- Seit 2008 ist Hadoop ein Top-Level-Projekt der Apache Software Foundation. Im Juli 2009 hat ein Hadoop-Cluster von Yahoo 100 Terabyte in 2 Stunden und 53 Minuten sortiert (<http://sortbenchmark.org>)



# Die Hadoop Architektur





# Ein Map Task wird in Hadoop über die Schnittstelle Mapper implementiert.

```
public class Mapper<KEYIN, VALUEIN, KEYOUT, VALUEOUT> {  
    void map(KEYIN key, VALUEIN value, Context context) {  
        context.write((KEYOUT) key, (VALUEOUT) value);  
    }  
}
```

- Eingabe- und Ausgabe-Datentypen werden mittels Generics an den Mapper gebunden.
- Schlüssel-Typen müssen dabei **WritableComparable** und Wert-Typen **Writable** implementieren. Hadoop stellt eine Reihe an Standard-Datentypen zur Verfügung, die diese Schnittstellen implementieren. Die Java-Standard-Typen sind hier nicht einsetzbar.
- Das Splitting und die De-Serialisierung der Eingabedaten, sowie die Serialisierung und Partitionierung der Ausgabedaten erfolgt „by magic“ im MapReduce Framework. Das Verhalten kann jedoch über Implementierung entsprechender Schnittstellen angepasst werden.
- Über das übergebene **Context**-Objekt können die Zwischenergebnisse übermittelt werden.

# Ein Reduce Task wird in Hadoop über die Schnittstelle Reducer implementiert.

```
public class Reducer<KEYIN, VALUEIN, KEYOUT, VALUEOUT> {  
    void reduce(KEYIN key, Iterable<VALUEIN> values,  
                Context context) {  
        for(VALUEIN value: values) {  
            context.write((KEYOUT) key, (VALUEOUT) value);  
        }  
    }  
}
```

- Eingabe- und Ausgabe-Datentypen werden analog zum Mapper über Generics gebunden. Es gelten dabei die selben Regeln.
- Die Bereitstellung der Eingabedaten inkl. Sortierung und Gruppierung sowie die Serialisierung der Ausgabedaten erfolgt im MapReduce Framework „by magic“. Das Verhalten kann jedoch über Implementierung entsprechender Schnittstellen angepasst werden.
- Über das übergebene **Context**-Objekt können die Endergebnisse übermittelt werden.

# Die Resilient Distributed Dataset (RDD) Datenstruktur

Eine RDD ist in der Außensicht ein klassischer Collection-Typ mit Transformations- und Aktionsmethoden.

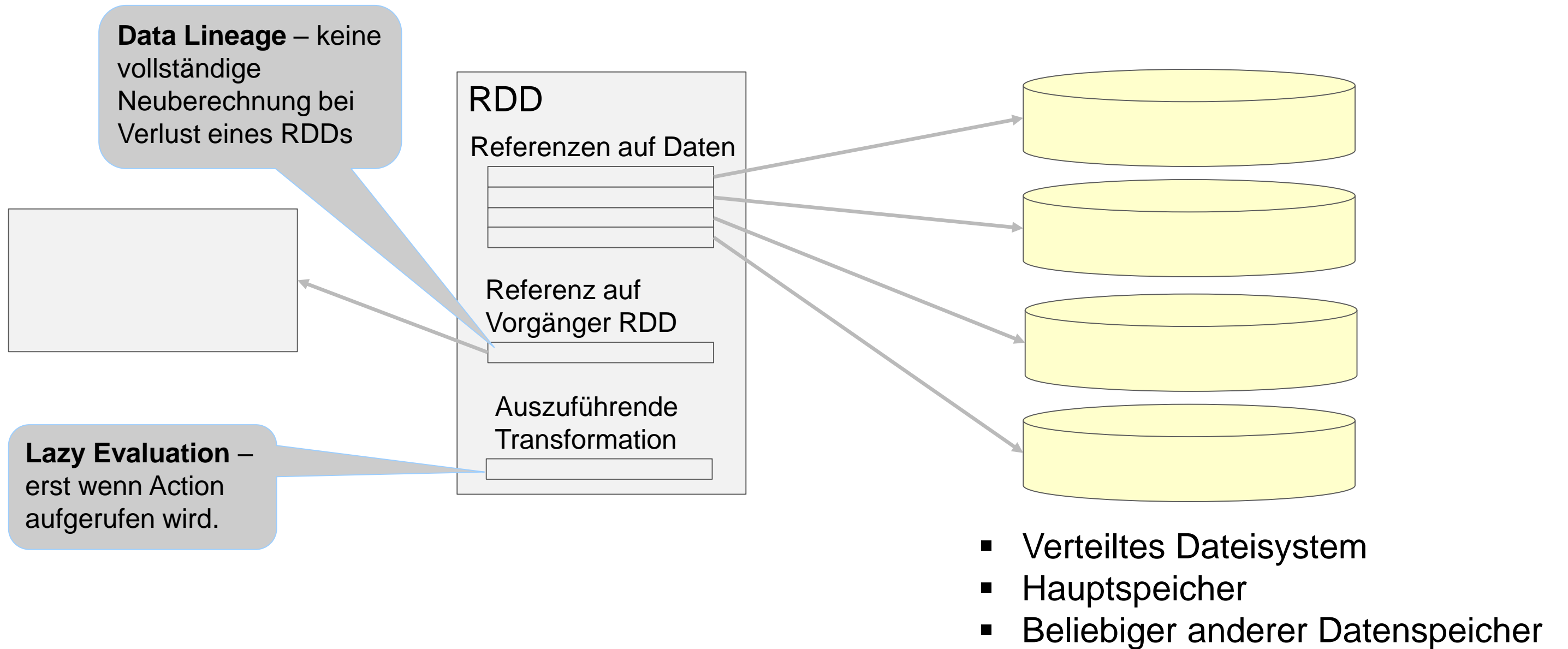
RDD → RDD

Transformations
<code>map(func)</code>
<code>flatMap(func)</code>
<code>filter(func)</code>
<code>groupByKey()</code>
<code>reduceByKey(func)</code>
<code>mapValues(func)</code>
...

RDD → skalarer Typ, Collection, Storage

Actions
<code>take(N)</code>
<code>count()</code>
<code>collect()</code>
<code>reduce(func)</code>
<code>takeOrdered(N)</code>
<code>top(N)</code>
...

# Die Anatomie eines RDDs.





# Apache Spark





# Spark läuft Hadoop aktuell deutlich den Rang ab.

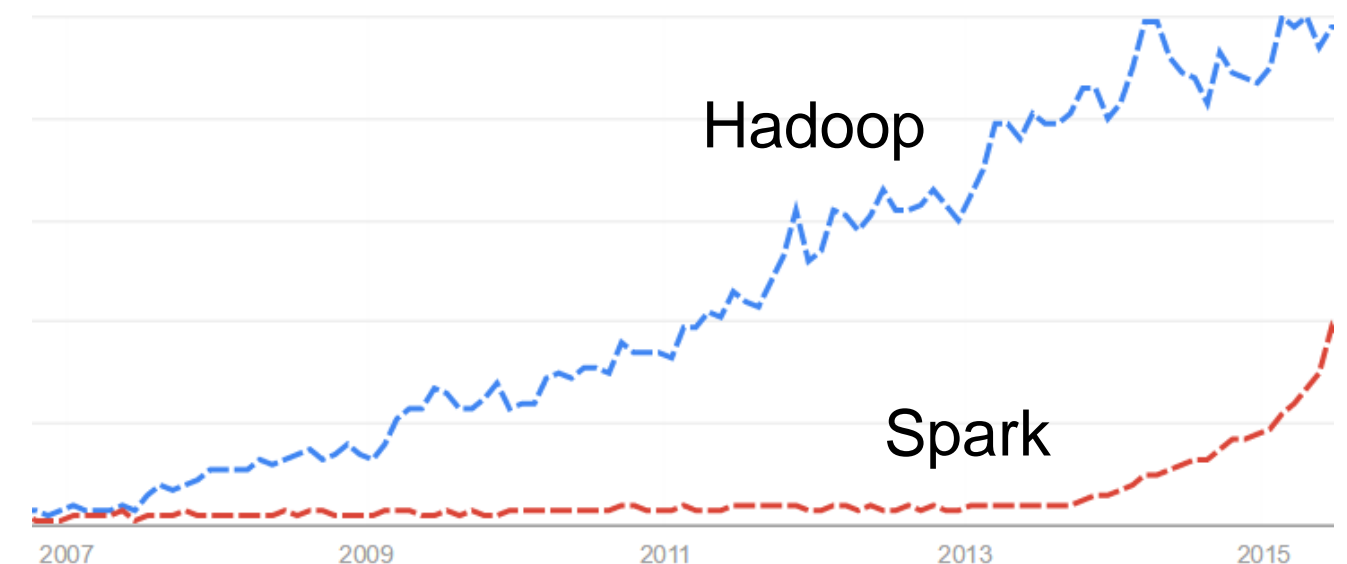
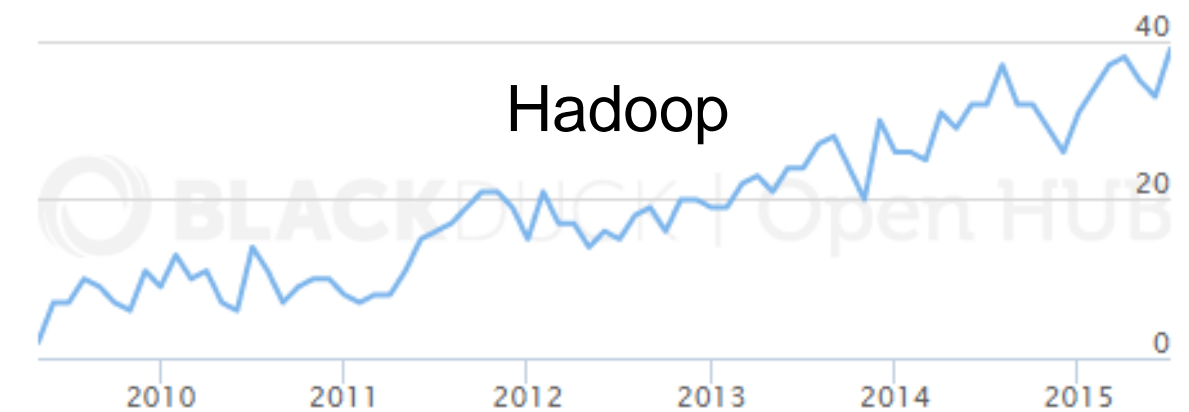
	Hadoop MR Record	Spark Record	Spark 1 PB
Data Size	102.5 TB	100 TB	1000 TB
Elapsed Time	72 mins	23 mins	234 mins
# Nodes	2100	206	190
# Cores	50400 physical	6592 virtualized	6080 virtualized
Cluster disk throughput	3150 GB/s (est.)	618 GB/s	570 GB/s
Sort Benchmark Daytona Rules	Yes	Yes	No
Network	dedicated data center, 10Gbps	virtualized (EC2) 10Gbps network	virtualized (EC2) 10Gbps network
Sort rate	1.42 TB/min	4.27 TB/min	4.27 TB/min
Sort rate/node	0.67 GB/min	20.7 GB/min	22.5 GB/min

<http://sortbenchmark.org>

Contributors Per Month



Contributors Per Month



# Daten verarbeiten: Mehr als Map und Reduce.

## Filter

```
val numAs = logData.filter(line => line.contains("a")).count()  
val numBs = logData.filter(line => line.contains("b")).count()  
val numABs = logData.filter(line => line.contains("a"))  
                    .filter(line => line.contains("b")).count()
```

## Map

```
val lengths = logData.map(line => line.length)
```

## Reduce

```
val maxLength = lengths.reduce(Math.max)
```

## Sort

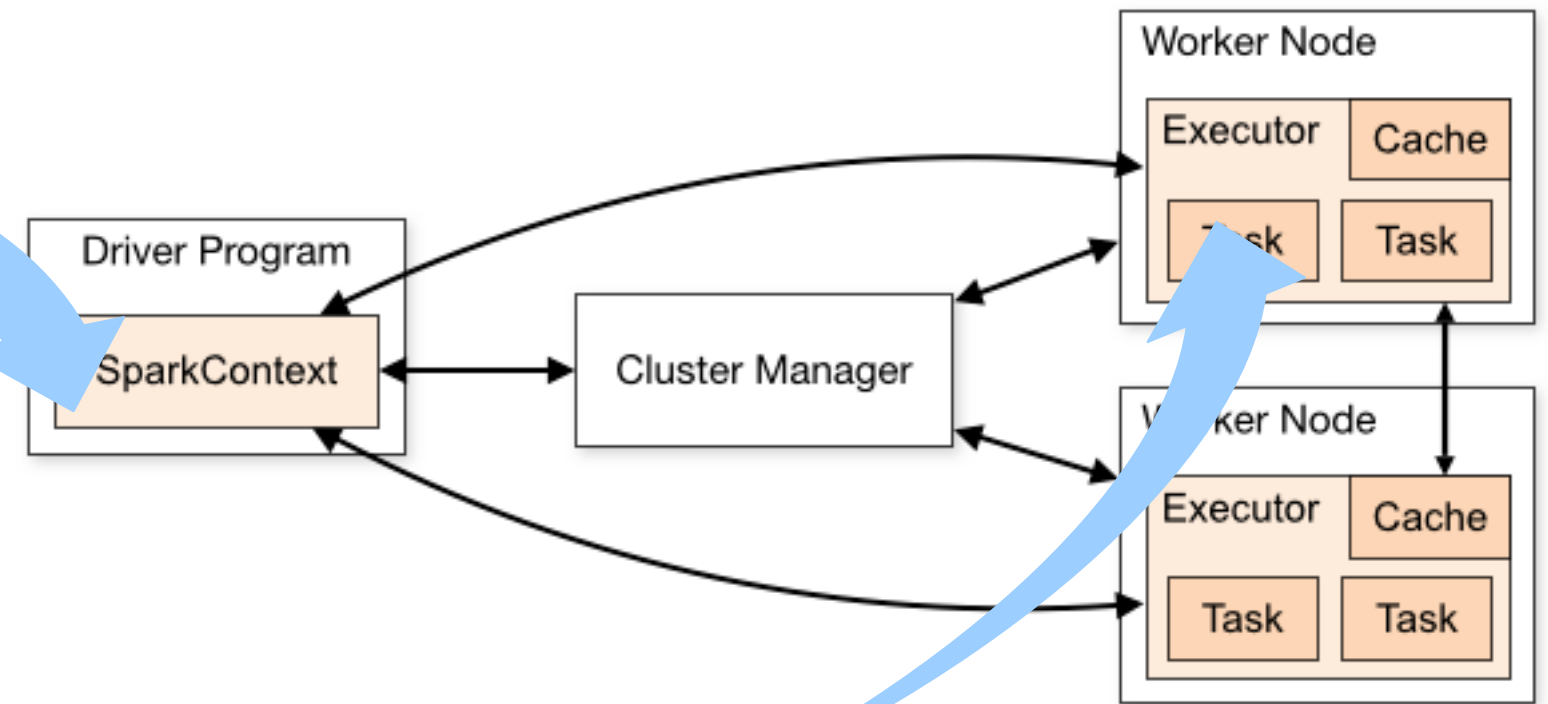
```
val sorted = logData.sortBy(l => l.length)
```

Transformations	Actions
<code>map(func)</code>	<code>take(N)</code>
<code>flatMap(func)</code>	<code>count()</code>
<code>filter(func)</code>	<code>collect()</code>
<code>groupByKey()</code>	<code>reduce(func)</code>
<code>reduceByKey(func)</code>	<code>takeOrdered(N)</code>
<code>mapValues(func)</code>	<code>top(N)</code>
...	...

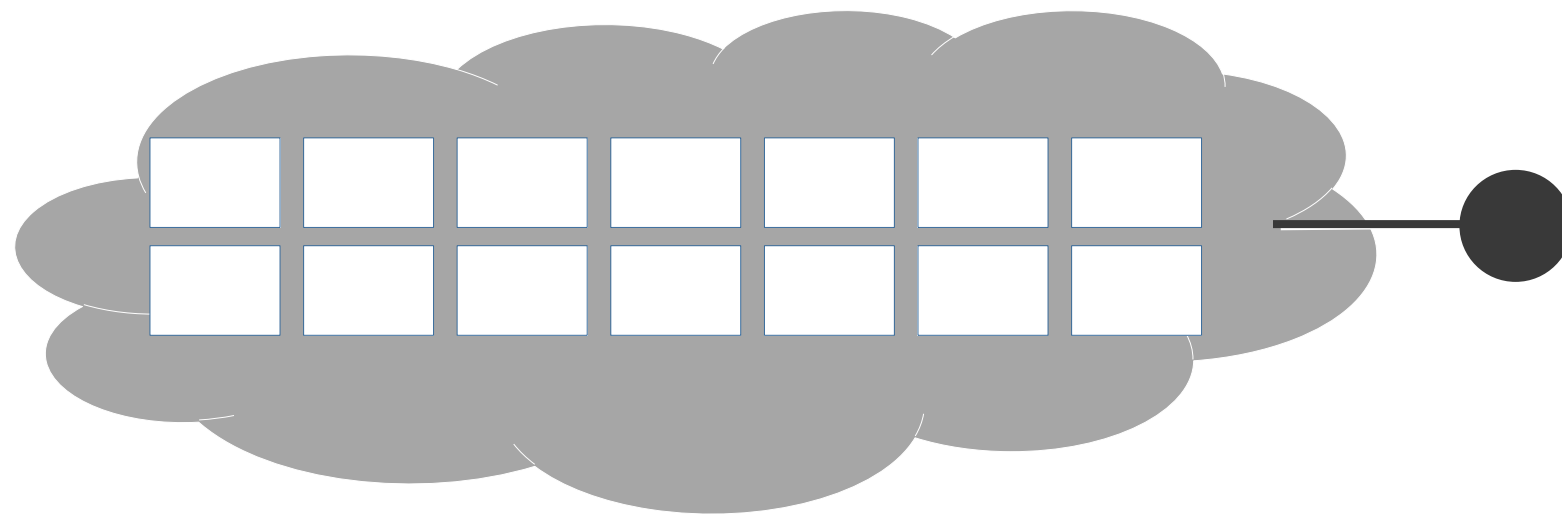
# Wie funktioniert das?

```
/* SimpleApp.scala */
import org.apache.spark.SparkContext
import org.apache.spark.SparkConf

object SimpleApp {
  def main(args: Array[String]) {
    val logFile = "YOUR_SPARK_HOME/README.md"
    val conf = new SparkConf().setAppName("SimpleApp")
    val sc = new SparkContext(conf)
    val logData = sc.textFile(logFile, 2).c
    val numAs = logData.filter(line => line.contains("a")).count()
    val numBs = logData.filter(line => line.contains("b")).count()
    println("Lines with a: %s, Lines with b: %s".format(numAs, numBs))
  }
}
```

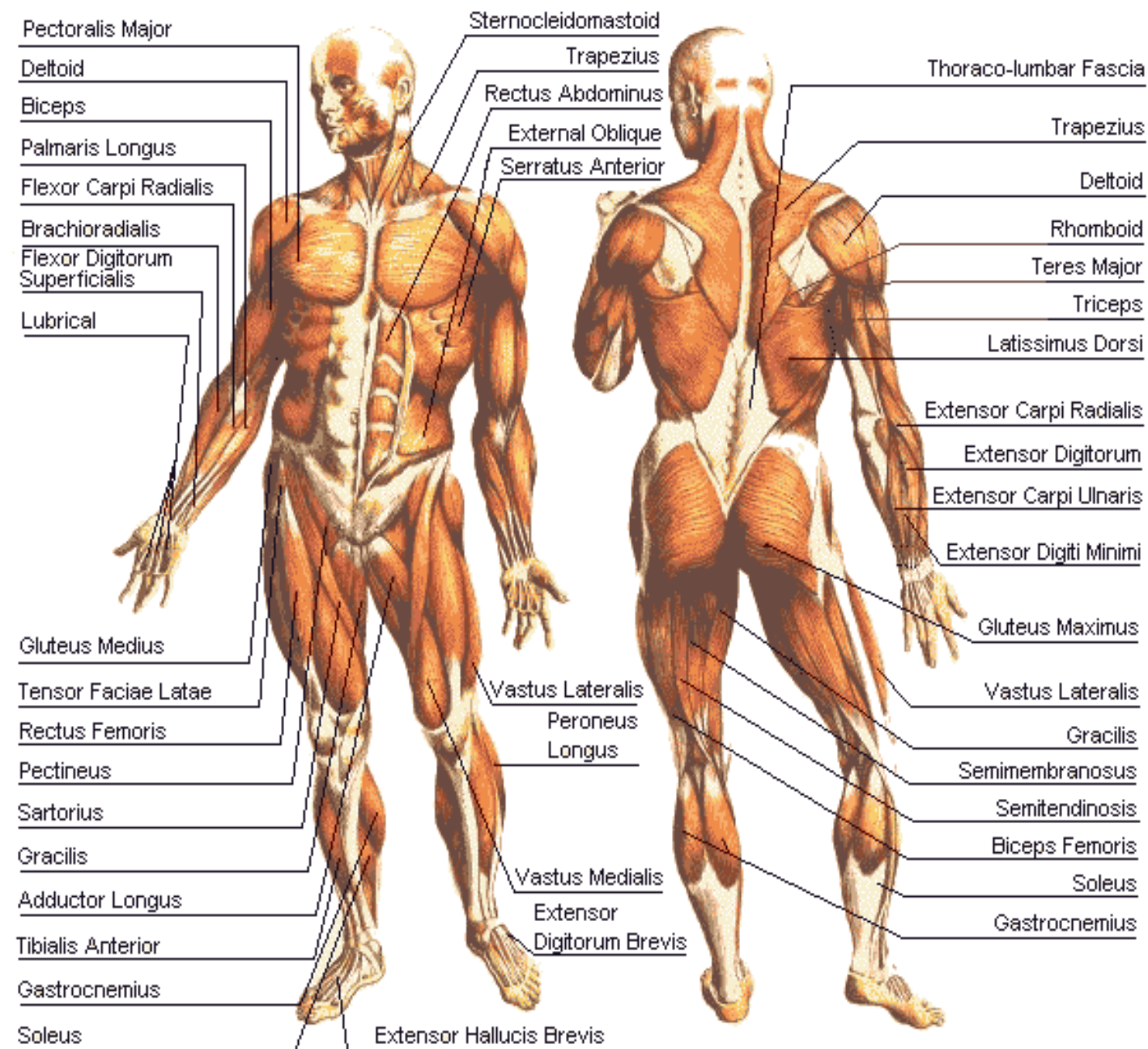


# Welche Lösungen gibt es dafür im Cloud Computing?



- **Big Data Engines (low level)**
  - MapReduce
  - RDD (Resilient Distributed Dataset)
- **Big Data Datenbanken (high level)**
  - NoSQL Datenbanken
  - NewSQL Datenbanken (NoSQL + SQL)
- Verteilte Dateisysteme
- In-Memory Data Grids / Elastic Memory

# Die Anatomie von Big Data Datenbanken



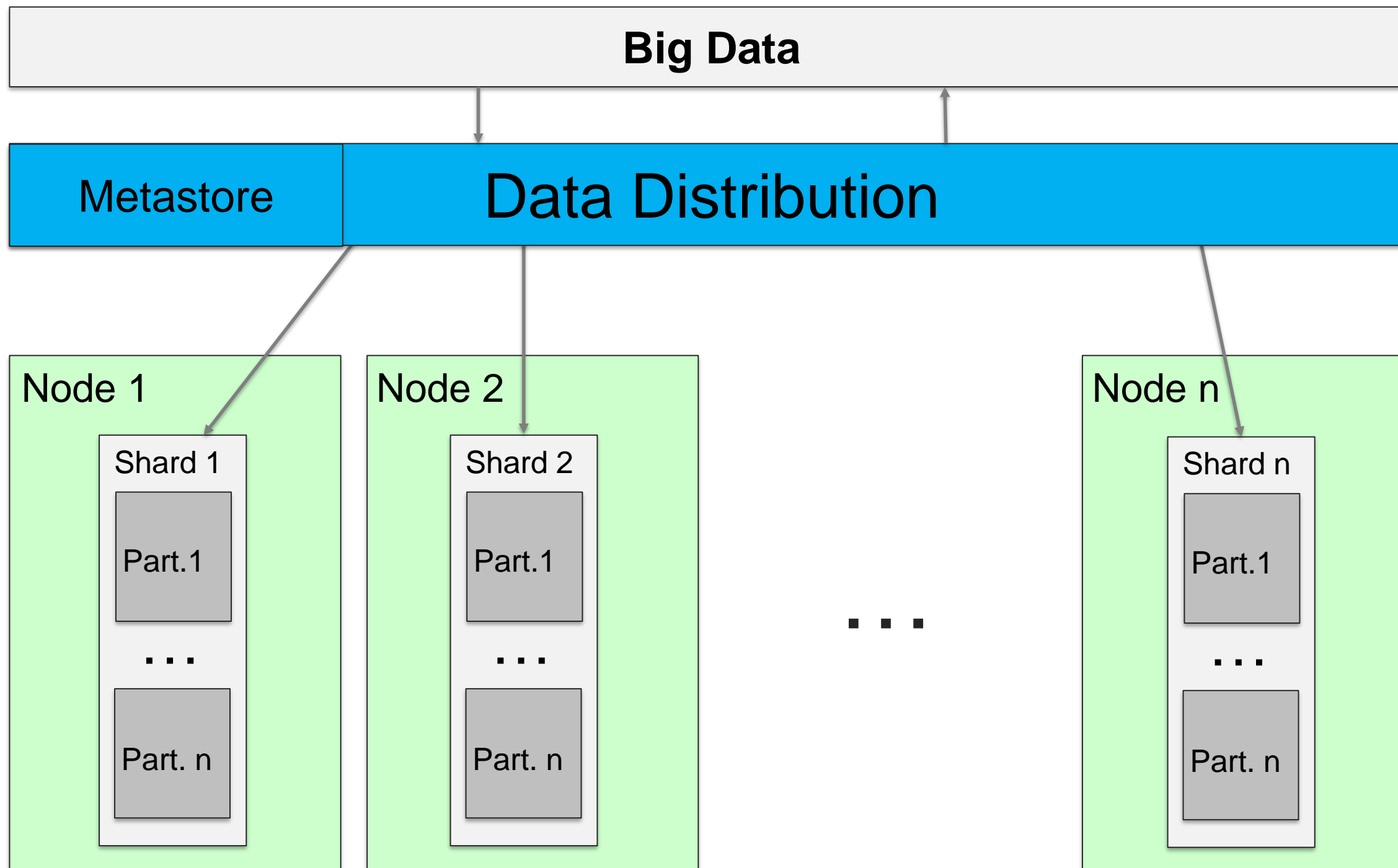
Query Distribution

Data Distribution

Data Persistence



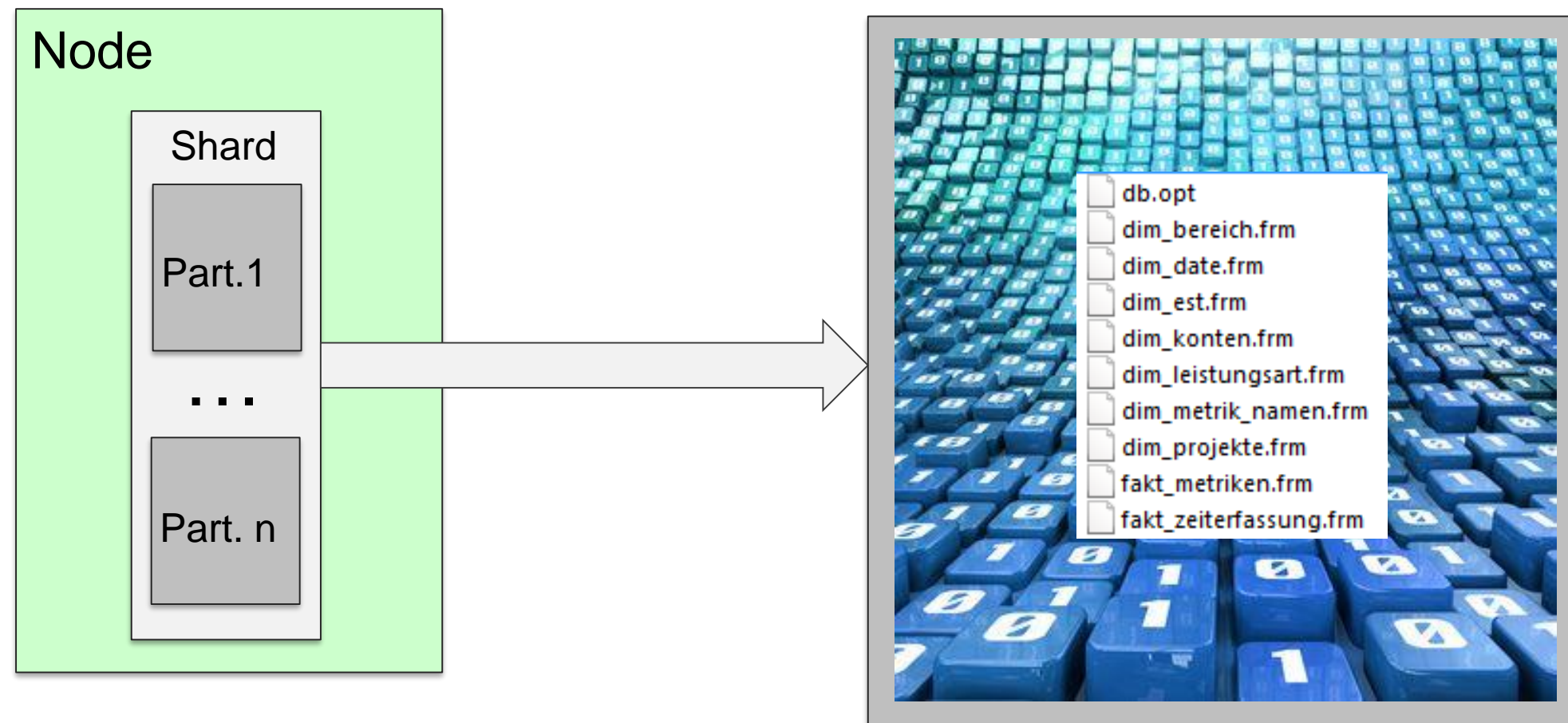
# Sharding and Partitioning: Verteilung und Stückelung von großen Datenmengen.



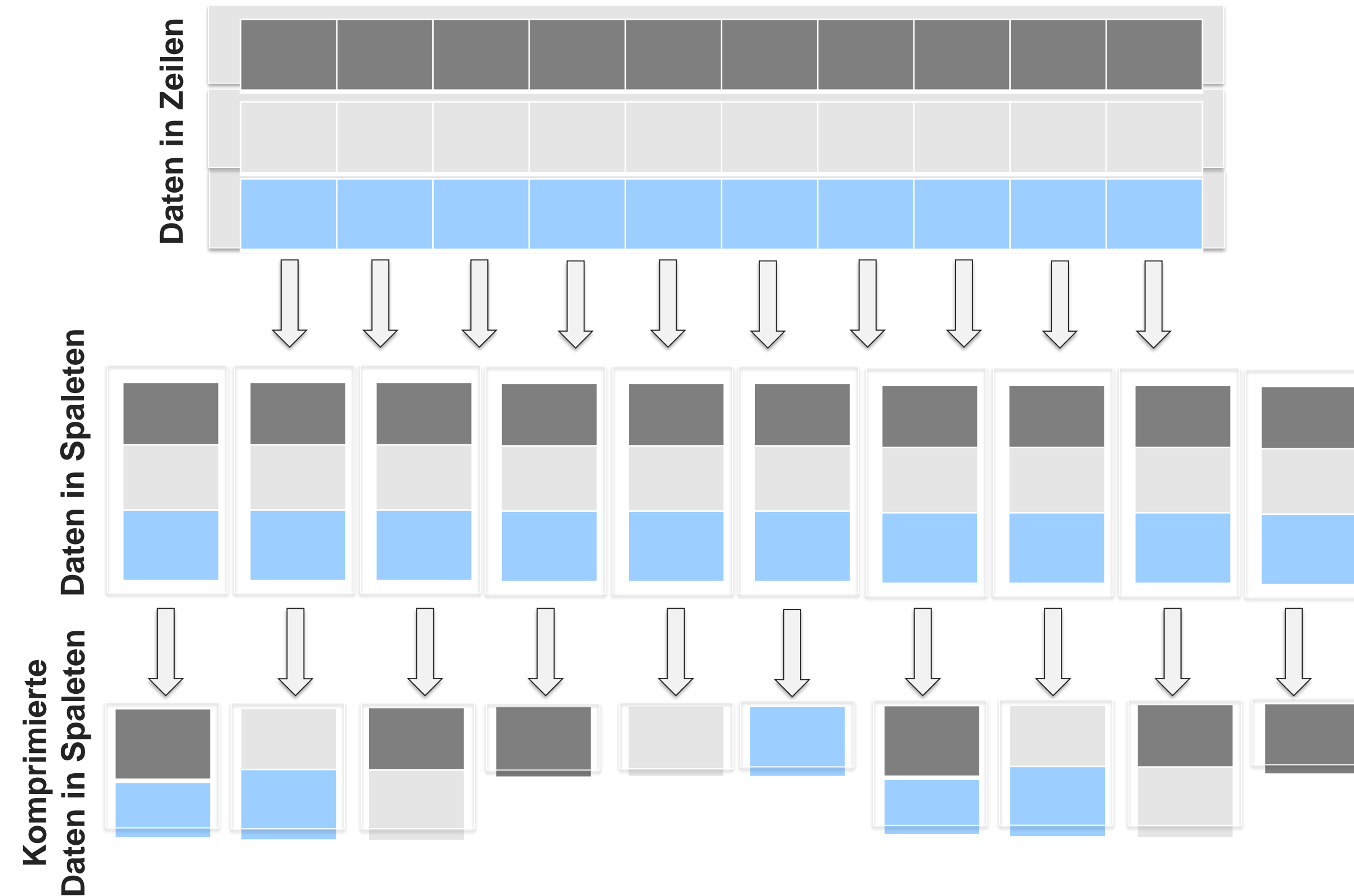
(Re-) Sharding- und Partitioning-Funktion:  
 $f(\text{Daten}) \rightarrow \text{Shard}$   
 $f(\text{Daten}) \rightarrow \text{Partition.}$   
+ Replikationsstrategie.  
+ Konsistenzstrategie.

# Wie werden große Datenmengen technisch so gespeichert, dass eine schnelle Scan-Geschwindigkeit erreicht wird?

Dateien im (verteilten) Dateisystem



# Spalten-orientierte Datenspeicherung.

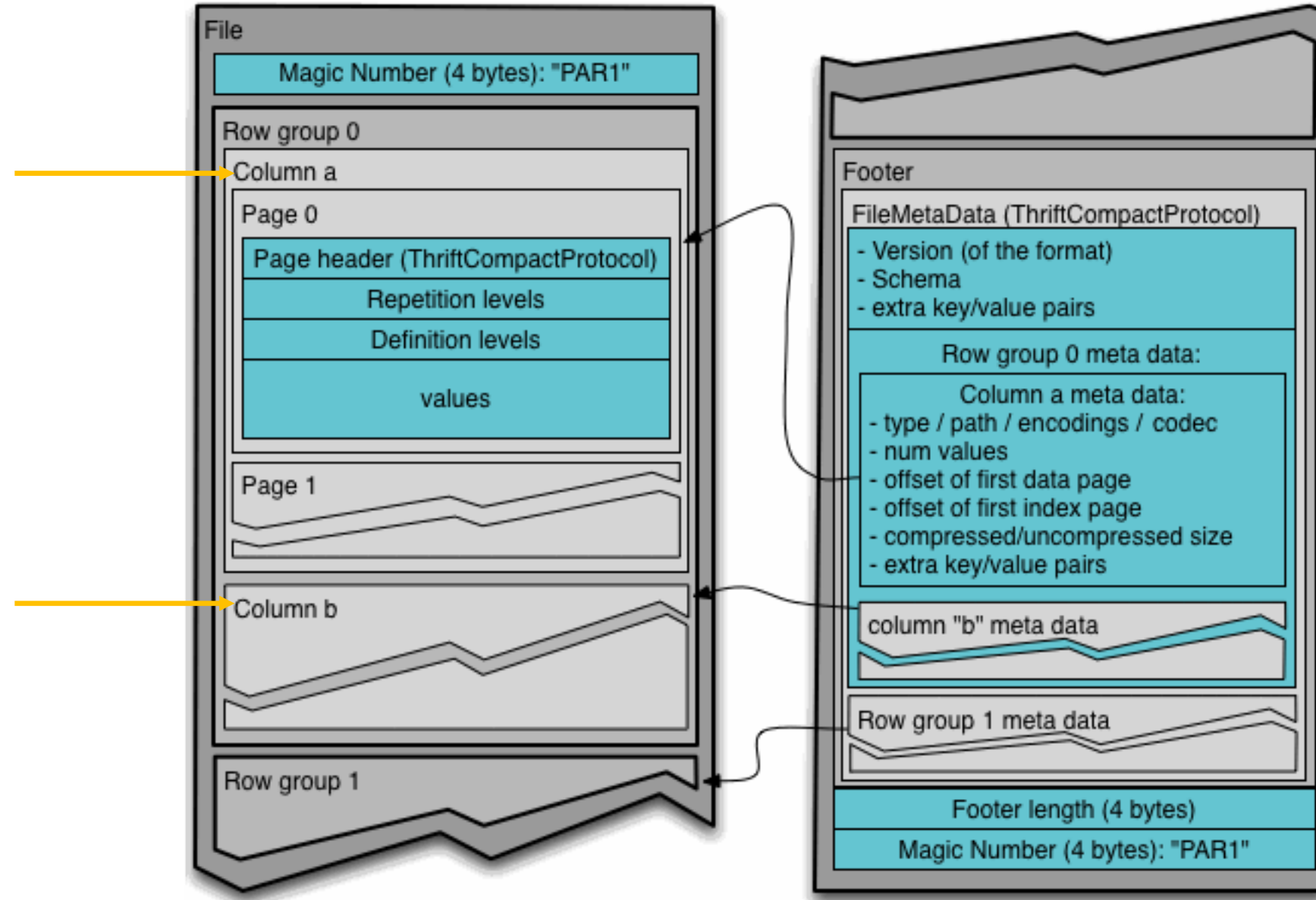


**The fastest I/O is the one that never takes place:** Es werden nur diejenigen Spalten gelesen, die benötigt werden (gerade bei breiten Tabellen wichtig)

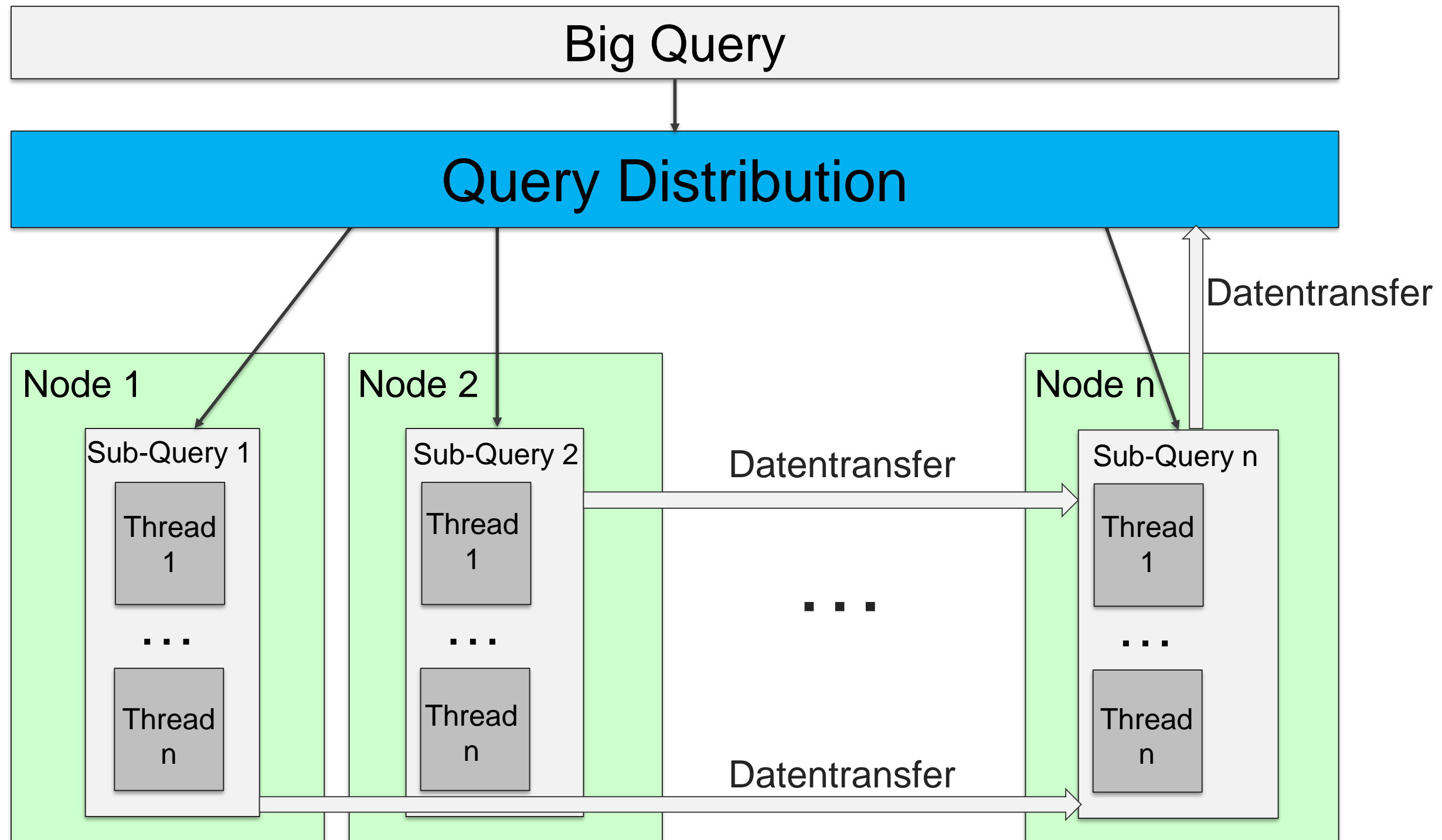
**Kompression** (funktioniert bei Spalten besser als bei Zeilen):

- Datentyp-spezifisch (z.B. Dictionaries)
- Allgemein (z.B. Snappy)
- + ggf. Spalten-Index

# Beispiel: Parquet



# Verteilte und parallelisierte Ausführung von Abfragen.





# Ein verteilter Ausführungsplan: Ein azyklischer Funktionsgraph.

