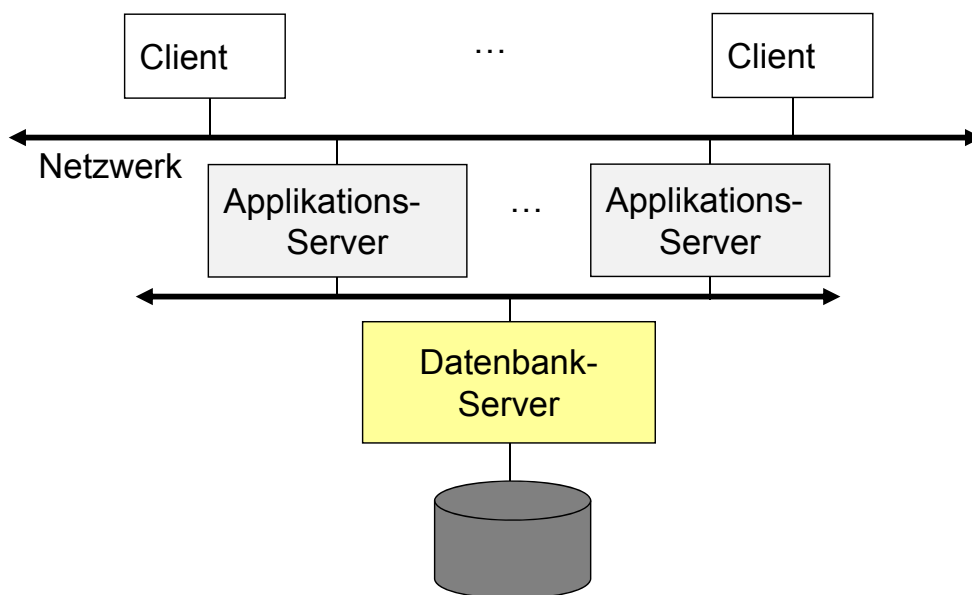


Kap. 1: Einführung

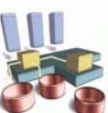
- Beschränkungen zentralisierter DBS
- Parallele vs. Verteilte DBS
- Anforderungen an Mehrrechner-DBS und für „Big Data“
- Arten der Parallelverarbeitung
- Speedup vs. Scaleup
- Gesetze von Amdahl und Gustafson



Zentralisierte DB-Verarbeitung



- meist relationale SQL-DBS mit Transaktionsverarbeitung (ACID)
- OLTP und OLAP (Data Warehouse)



Beschränkungen zentralisierter DBS

- beschränkte Leistungsfähigkeit
 - Transaktionsraten
 - Zeitbedarf zur Auswertung großer Datenmengen
- unzureichende Skalierbarkeit
 - Big Data
 - wachsende Nutzerzahlen (Web-Buchungen ...)
- unzureichende Verfügbarkeit
 - DBS-Absturz, Server-Ausfall
- keine Unterstützung dezentraler Organisationsstrukturen
 - Abhängigkeit von zentralem Datenmanagement

Notwendigkeit von *verteilten und parallelen Datenbanksystemen (Mehrrechner-DBS)* bzw. *Datenmanagementsystemen (DMS)*

- *Einsatz mehrerer Rechner zur koordinierten Verarbeitung von Daten*



Verteilung und Parallelität

- Ein **verteiltes System** besteht aus autonomen Subsystemen, die oft (weit) entfernt voneinander angeordnet sind, aber koordiniert zusammenarbeiten, um eine gemeinsame Aufgabe zu erfüllen.

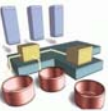
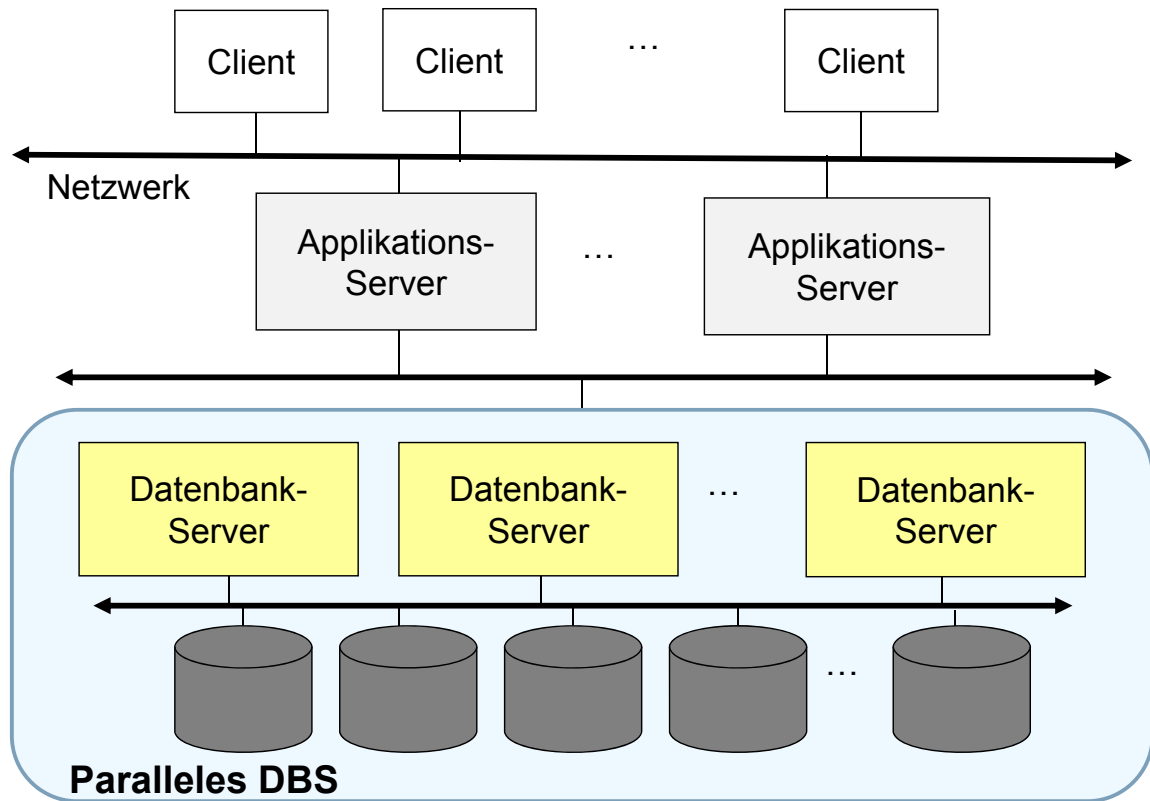
Charakteristisches Kernproblem: Mangel an globalem (zentralisiertem) Wissen

- Ein **paralleles System** besteht aus einer Vielzahl gleichartiger Subsysteme (Komponenten), die lokal zueinander angeordnet sind und nur einen geringen Grad an Autonomie aufweisen.

Charakteristisch: enge und hochgradig parallele Bearbeitung von Nutzeraufträgen



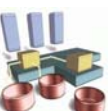
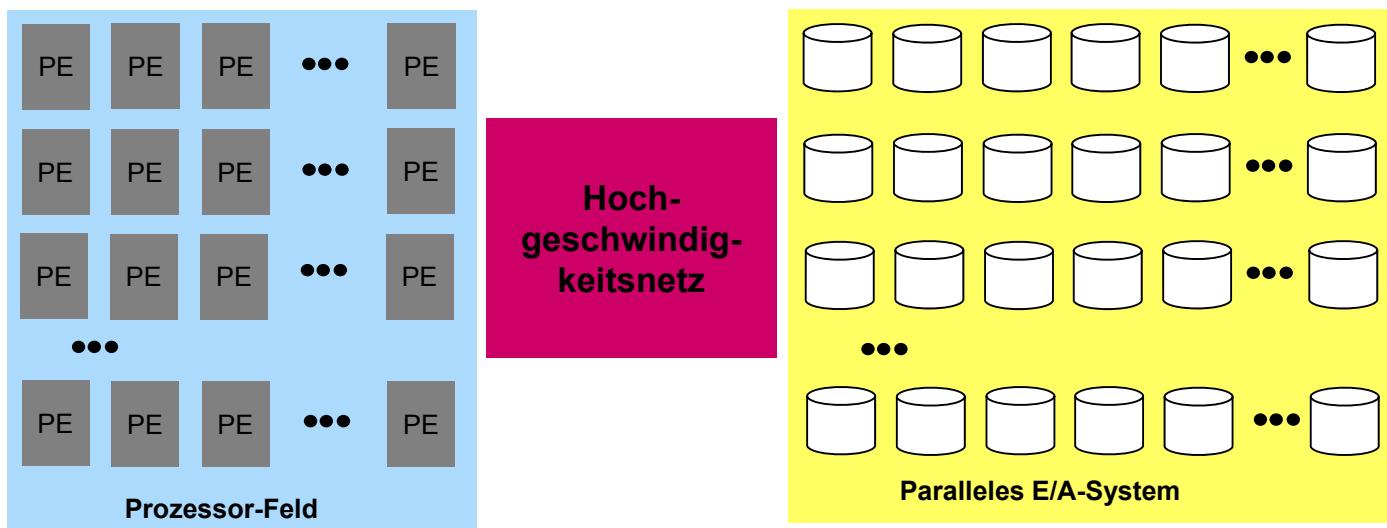
Aufbau eines Parallelen DBS



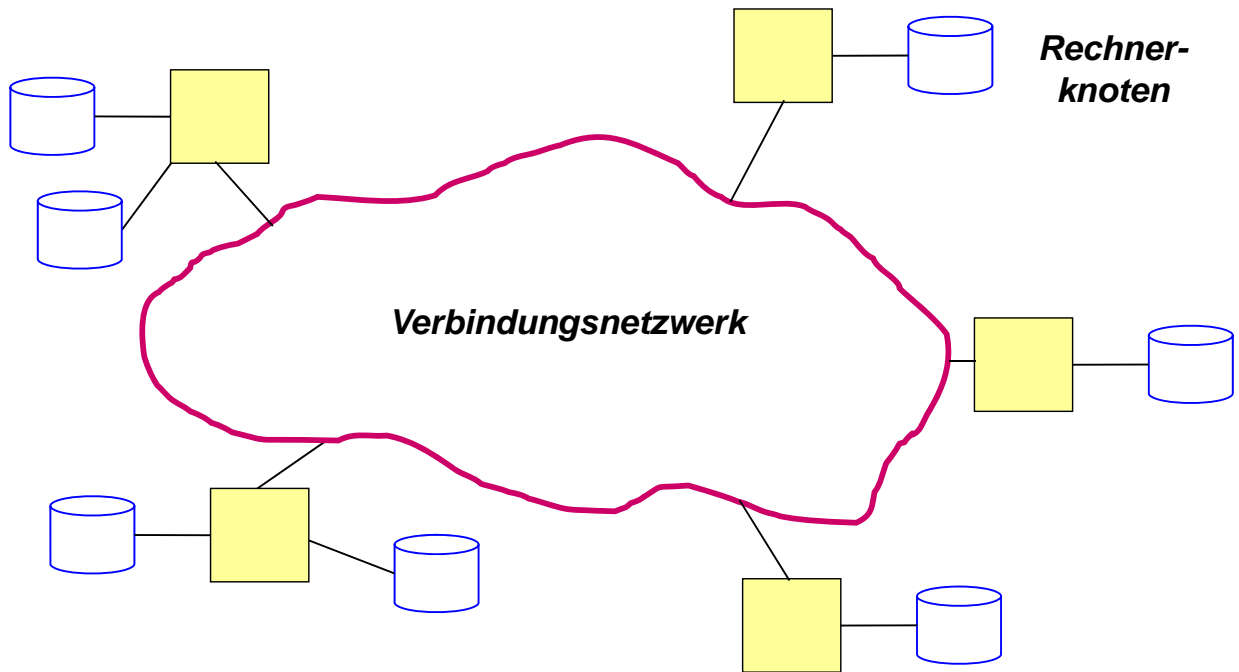
Parallele Datenbanksysteme (2)

■ Architektur

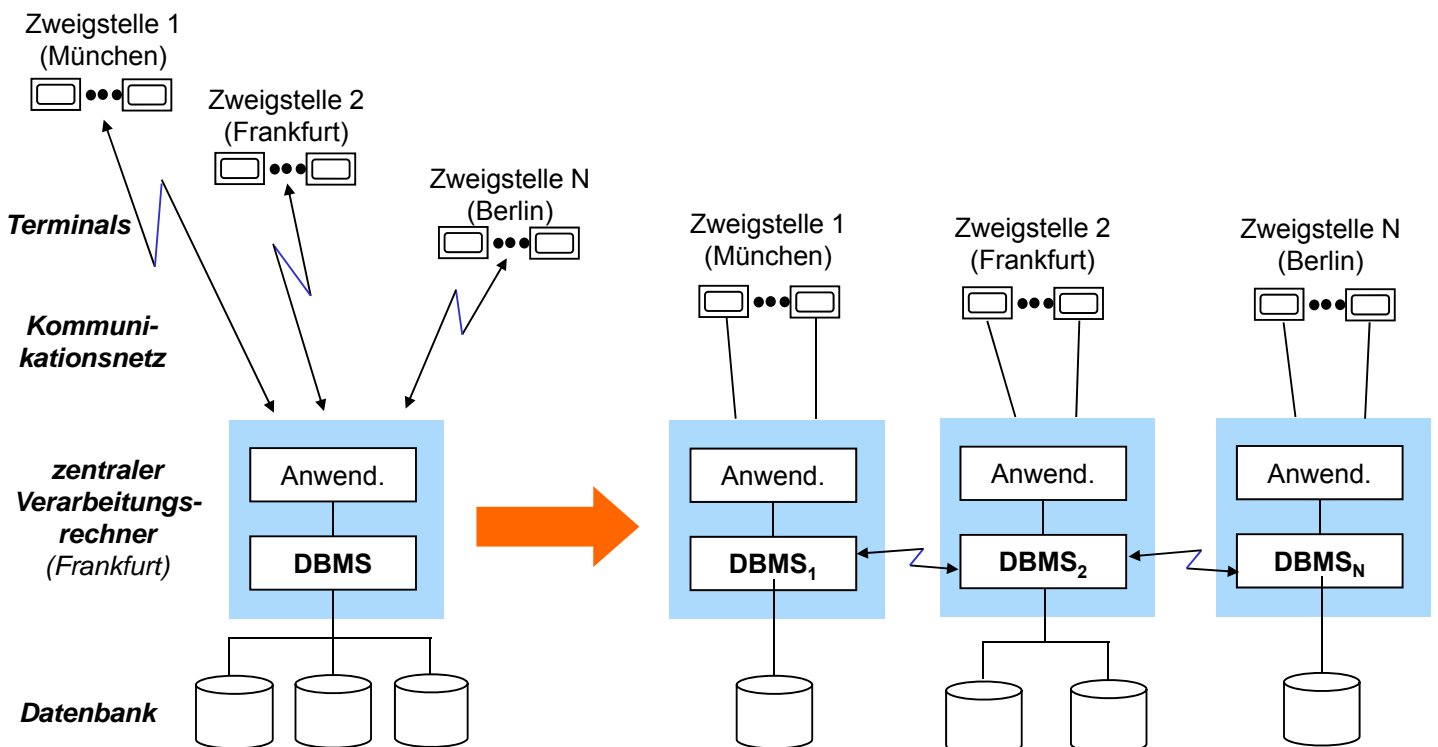
- lokale Verteilung (Cluster) der Rechner (Prozessorelemente, PE)
- skalierbares Hochgeschwindigkeitsnetzwerk
- E/A-Parallelität



(Geographisch) Verteiltes DBS

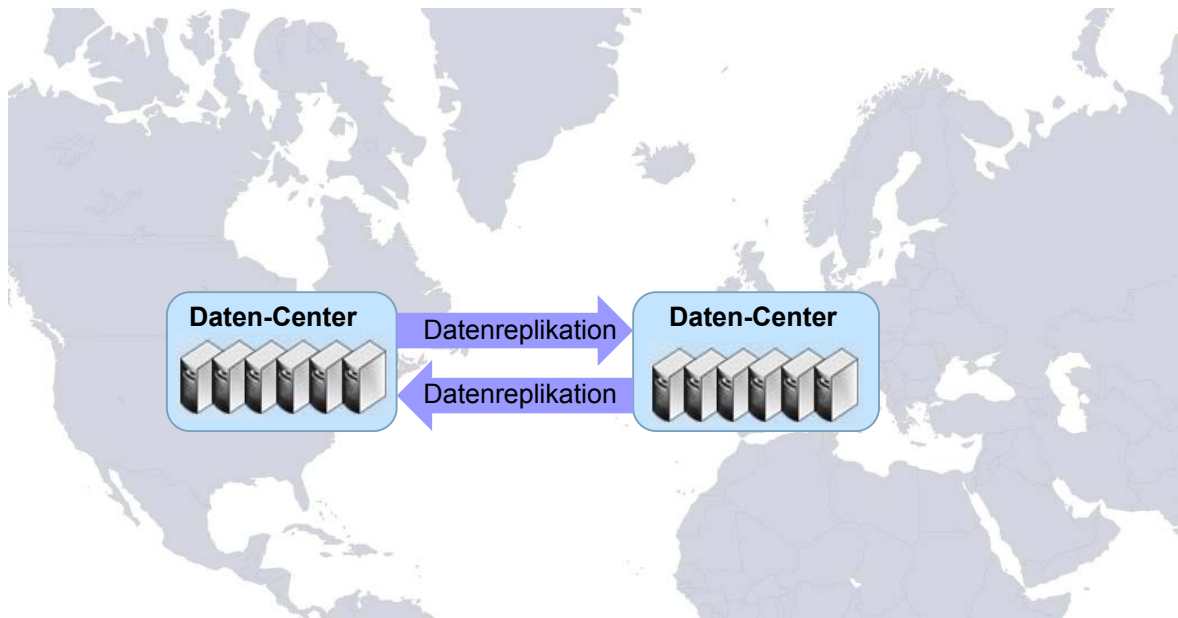


Von zentralisierten zu verteilten DBS



Geo-Replikation

- ortsverteilte Kopplung mehrerer PDBS-Cluster (Data Center) mit Replikation der Daten
- hohe Verfügbarkeit auch bei Naturkatastrophen oder Terroranschlägen



Anforderungen an Mehrrechner-DBS

- hohe Leistung für OLTP und OLAP / Skalierbarkeit
 - hohe Transaktionsraten, kurze Antwortzeiten
 - modulare Erweiterungsfähigkeit mit Rechnerzahl (Datenvolumen / Nutzerzahl)
- hohe Verfügbarkeit / Ausfallsicherheit
- Unterstützung dezentraler Organisationsstrukturen mit lokaler Datenhaltung (Wahrung einer hohen Knotenautonomie)
- koordinierter Zugriff auf unabhängige, heterogene Datenbanken (Datenintegration)
- hohe Verteilungstransparenz für DB-Benutzer (für Anwendungsprogramme bzw. Endbenutzer)
- hohe Kosteneffektivität
- einfache Nutzbarkeit / Administrierbarkeit



Anforderungen: Hohe Leistung

- hohe Transaktionsraten (Durchsatz)
 - >> 1000 Transaktionen pro Sekunde (TPS), z.B. vom Typ 'Kontenbuchung'
- kurze Antwortzeiten
 - Parallelisierung komplexer Anfragen
 - Akzeptanz für interaktive Nutzer
 - Auswertung von 10 TB bei max. Plattenbandbreite von 100 MB/s ?
- *Inter-Transaktionsparallelität:*
 - hohe Transaktionsraten für OLTP
 - lineares Durchsatzwachstum
- *Intra-Transaktionsparallelität:* kurze Antwortzeiten für daten- und/oder berechnungsintensive DB-Anfragen
 - Analysen auf großen Relationen: Scan, Join, Group-By ...
 - Data Mining-Auswertungen ...

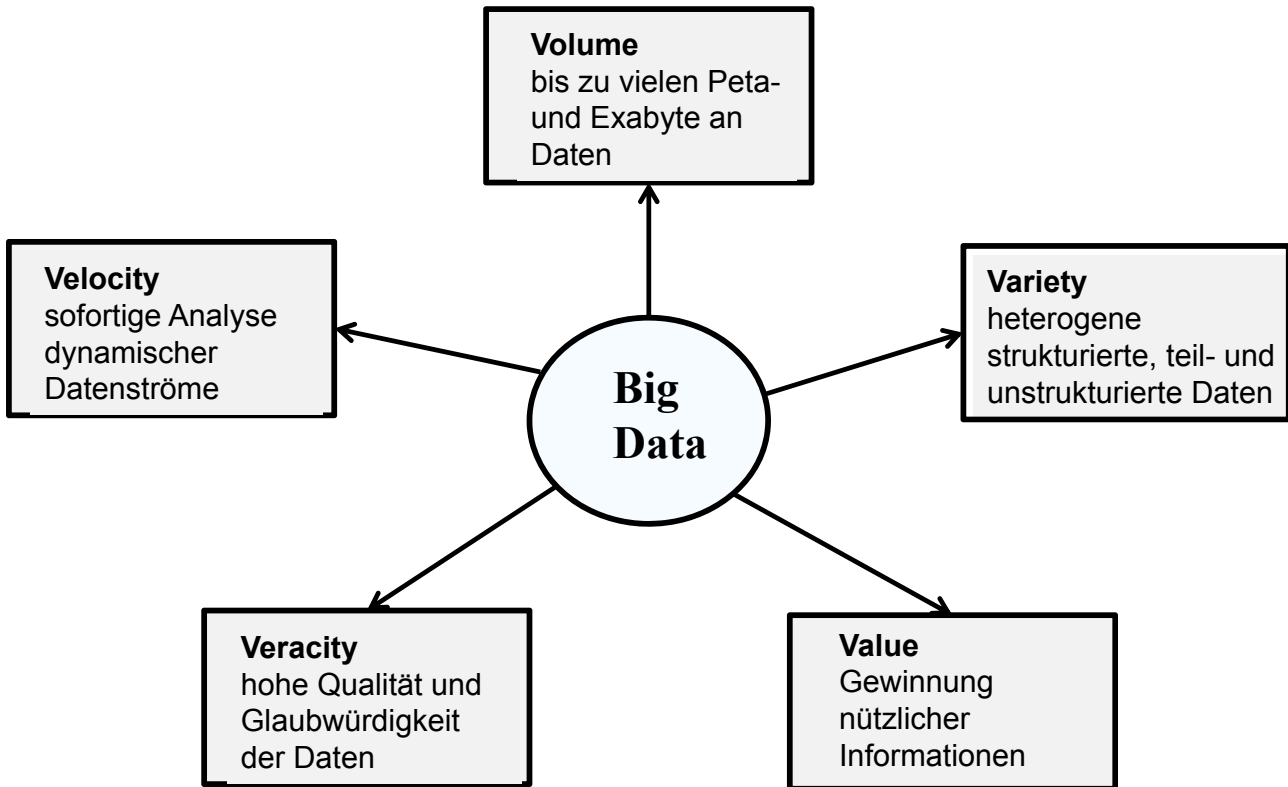


Anforderungen: Hohe Verfügbarkeit

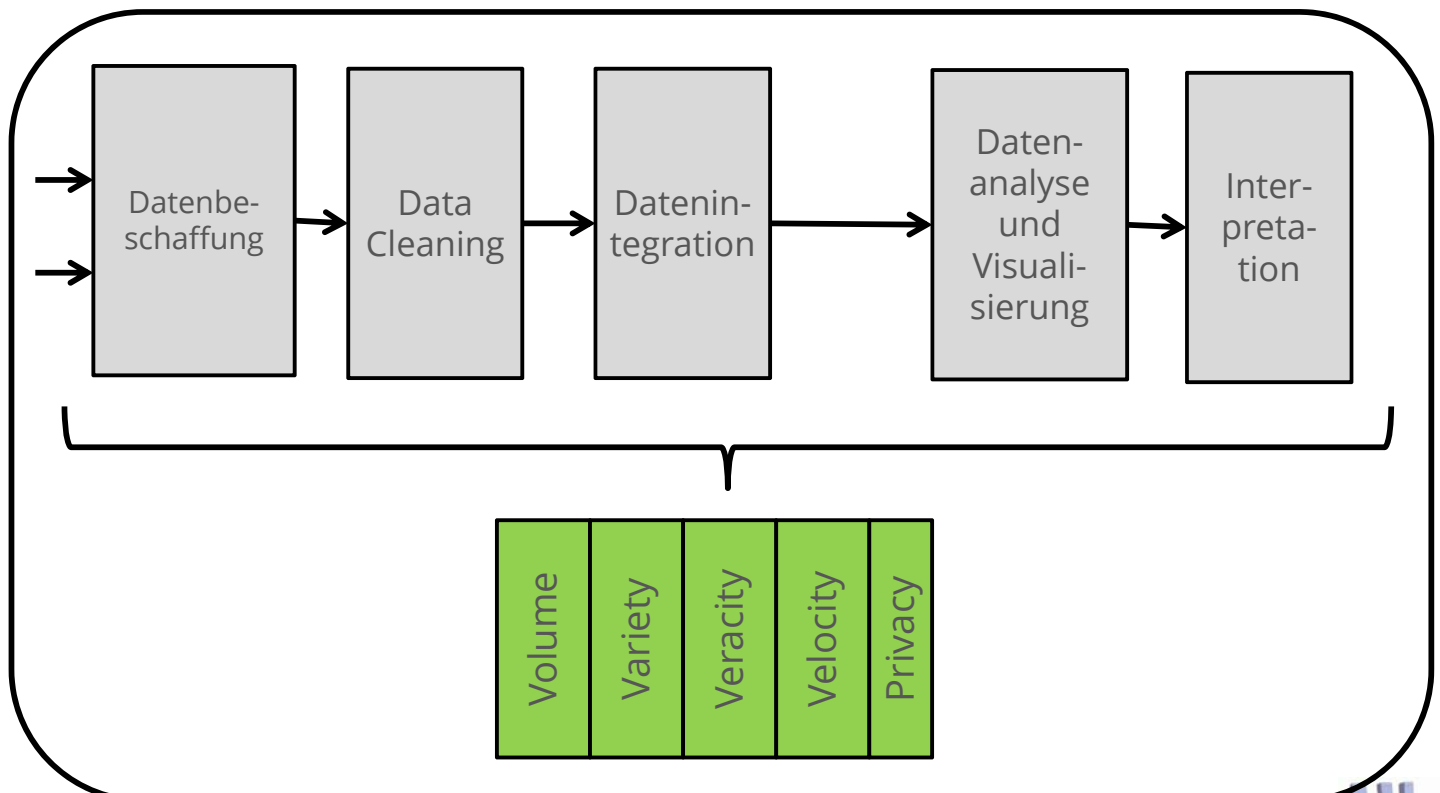
- Ziel: ständige Verfügbarkeit (24x7)
 - zumindest Tolerierung aller Einfachfehler
- Voraussetzungen:
 - redundante Systemkomponenten (Fehlertoleranz)
 - HW- und SW-Komponenten
 - Daten (Log, Spiegelplatten, replizierte DB)
 - automatische Fehlererkennung und -behandlung
 - Umkonfigurierbarkeit im laufenden Betrieb
- **MTBF (meantime between failures):**
 - konventionelle Systeme: ca. 10-20 Tage
 - fehlertolerante Systeme: > 10 Jahre
- Verfügbarkeit = $MTBF / (MTBF + MTTR)$
 - Beispiel Ausfall 1 h pro Jahr:
 - hohe Verfügbarkeit einzelner Komponenten reicht nicht (zB. 25 Jahre MTBF pro Platte)



Anforderungen für „Big Data“



Big Data Analyse-Pipeline

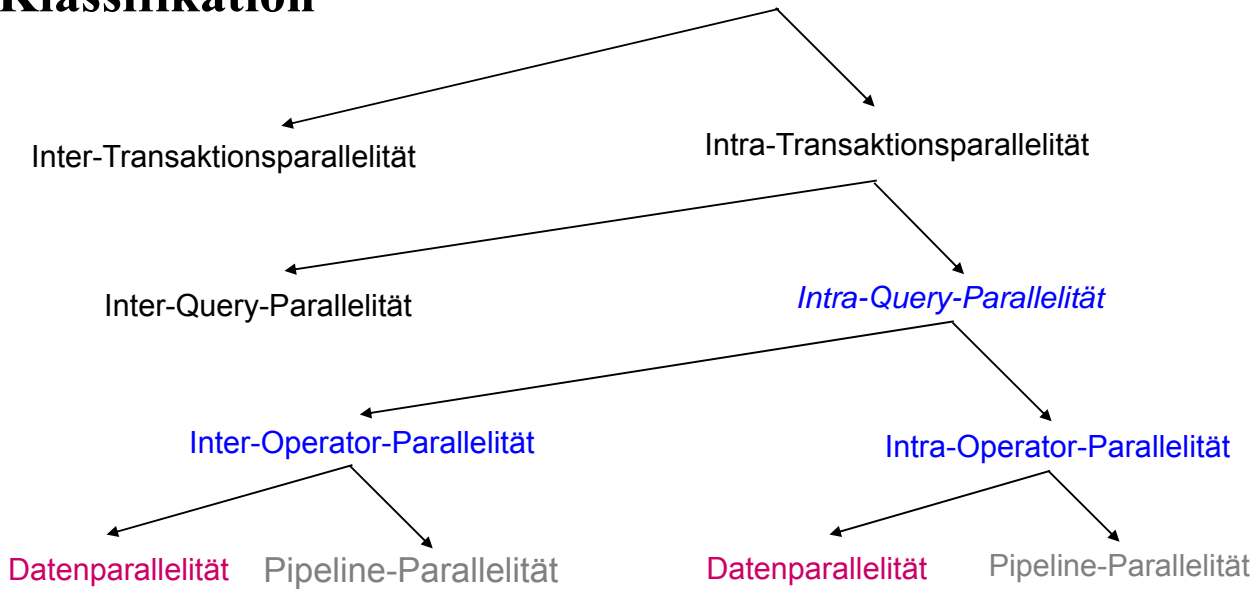


Arten der Parallelität

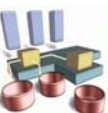
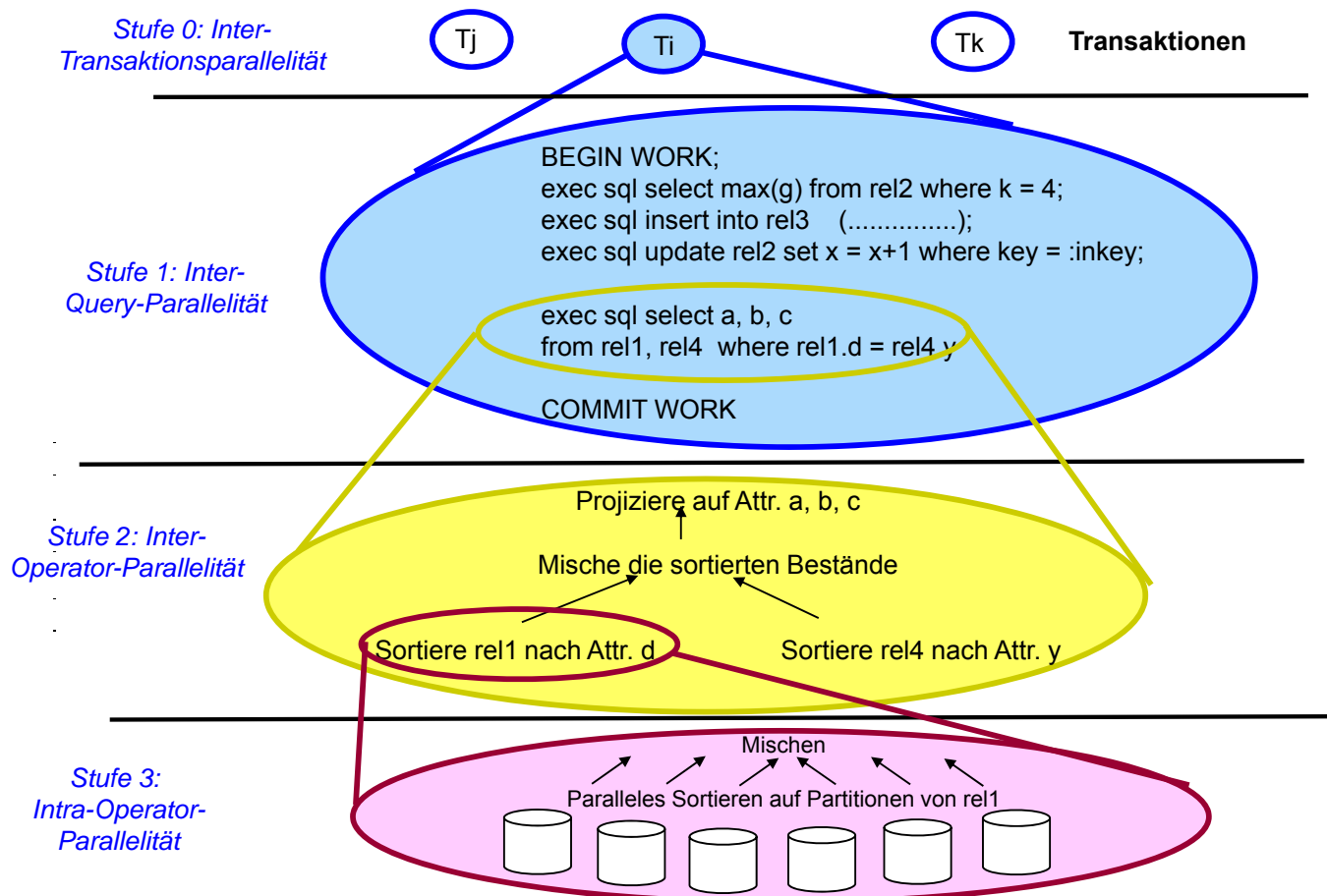
■ Unterscheidungsmerkmale

- Granularität der Parallelarbeit: Transaktion, Query, Operator
- Datenparallelität vs. Funktionsparallelität (Pipeline-Parallelität)
- Verarbeitungs- vs. E/A-Parallelität

■ Klassifikation

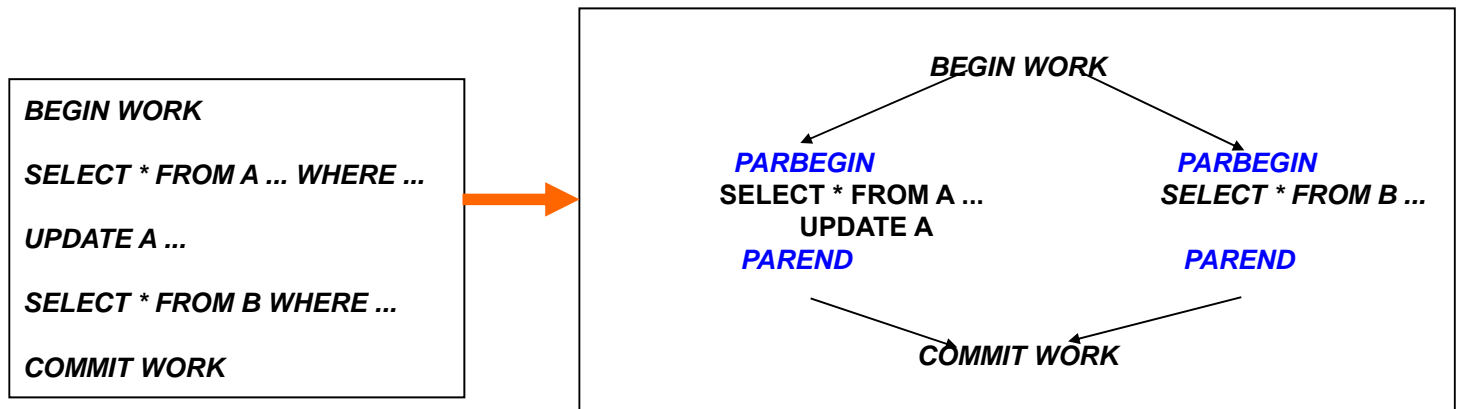


Gleichzeitiger Einsatz mehrerer Parallelisierungsarten



Inter-Query-Parallelität

- Parallele Bearbeitung unabhängiger DB-Operationen (Queries) eines Transaktionsprogrammes
- Programmierer muss Parallelisierung spezifizieren

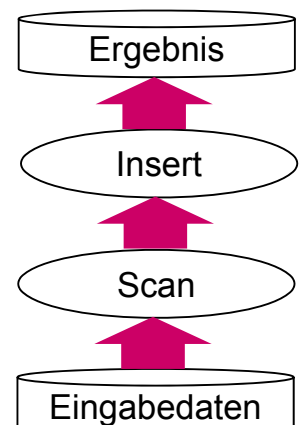


- nur begrenzter Parallelitätsgrad möglich

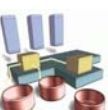


Pipeline-Parallelität

- Datenfluss-Prinzip zum Datenaustausch zwischen Operatoren / Teiloperatoren
- frühzeitige Weitergabe von Tupeln bei Zwischenergebnissen
- Einsatz vor allem bei Inter-Operator-Parallelität
- Pipeline-Unterbrechung bei Operatoren, die vollständige Eingabe zur Ergebnisberechnung verlangen:
 - Sortierung
 - Duplikateliminierung
 - Gruppierung (GROUP BY)
 - Aggregatfunktionen, etc.
- Pipelines oft sehr kurz (≤ 10 Operatoren)



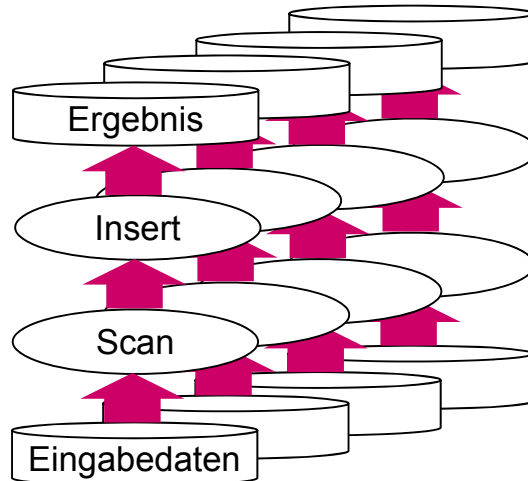
Pipeline-Parallelität



Daten-Parallelität

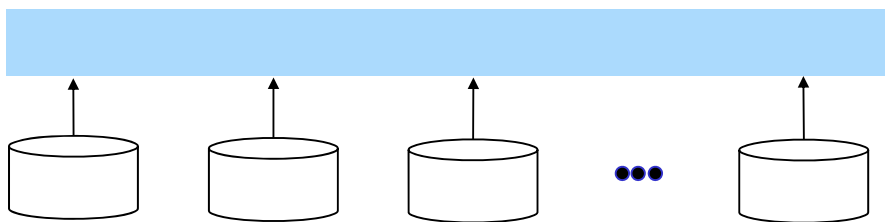
- basiert auf breiter (horizontaler) Datenverteilung (Declustering)
- parallele Bearbeitung von Teiloperationen auf disjunkten Datenmengen
- Parallelitätsgrad kann mit Datenumfang gesteigert werden
- Kombinierbar mit Pipeline-Parallelität

Daten- und Pipeline-Parallelität



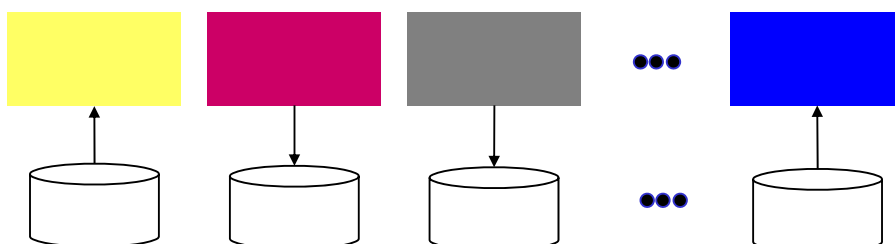
E/A-Parallelität

- Voraussetzung: Declustering von Dateien über mehrere Platten
- *Intra-E/A-Parallelität* (Zugriffsparallelität)

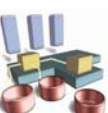


Parallele Ausführung eines E/A-Auftrags (wichtig für Datenparallelität)

- *Inter-E/A-Parallelität* (Auftragsparallelität)



Parallele Ausführung unabhängiger E/A-Aufträge verschiedener Platten (wichtig für Inter-Transaktions-Parallelität, Inter-Query-Parallelität)



Leistungsmaße für Parallelverarbeitung: Speedup

- Vorgabe: konstante Datenbankgröße
- **Antwortzeit-Speedup** (batch speedup) misst Antwortzeitverbesserung für komplexe Operationen durch Parallelverarbeitung

Antwortzeit-Speedup (N) =

$$\frac{\text{Antwortzeit bei 1 Rechner}}{\text{Antwortzeit bei N Rechnern}}$$

Speedup



- **Ziel:** lineare Antwortzeitverkürzung mit wachsender Rechneranzahl durch Einsatz von Intra-Transaktionsparallelität



Scaleup (1)

- Vorgabe: Datenbankgröße wächst linear mit der Rechneranzahl
- **Durchsatz-Scaleup** (OLTP scaleup) misst relatives Durchsatzwachstum (bei gegebener Antwortzeitrestriktion)

Durchsatz-Scaleup (N) = $\frac{\text{Transaktionsrate bei N Rechnern}}{\text{Transaktionsrate bei 1 Rechner}}$



- **Ziel:** lineares Wachstum durch Nutzung von Inter-Transaktionsparallelität



Scaleup (2)

- **Antwortzeit-Scaleup** (batch scaleup) misst Antwortzeitveränderung für komplexe Operationen auf unterschiedlichen Datenmengen

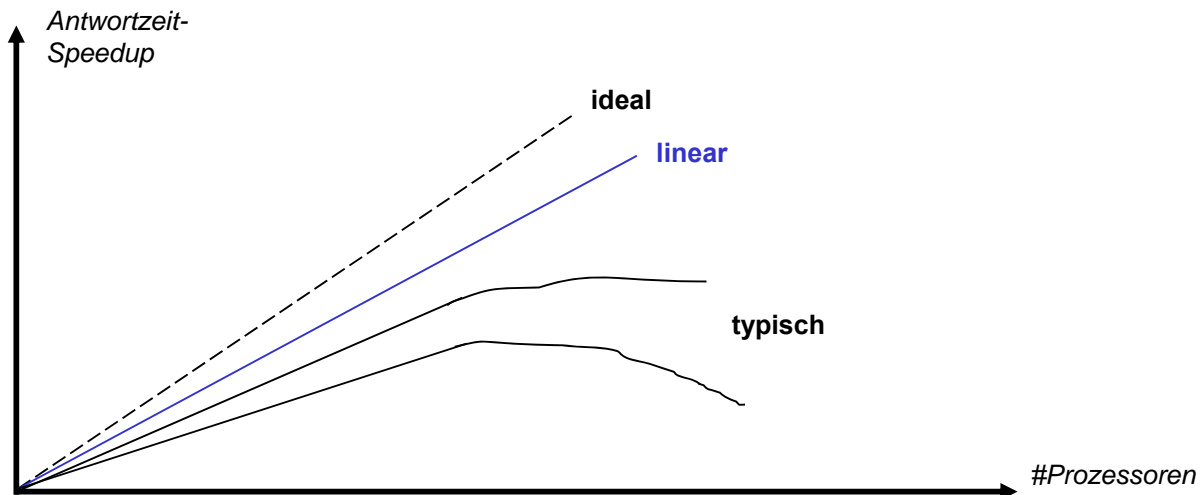
$$\text{Antwortzeit-Scaleup (N)} = \frac{\text{Antwortzeit bei N Rechnern}}{\text{Antwortzeit bei 1 Rechner}}$$



- **Ziel:** gleichbleibende Antwortzeit trotz wachsender DB durch Intra-Transaktionsparallelität



Grenzen der Skalierbarkeit



- maximale inhärente Parallelität ist begrenzt
- Startup- und Terminierungs-Overhead
- Interferenzen bei physischen und logischen Ressourcen
 - Überlastung einzelner Rechner, Sperrkonflikte, beschränkte Partitionierbarkeit von Daten und Transaktionen / Anfragen
- Varianz (Skew) in den Ausführungszeiten der Teilaufgaben



Amdahl's Gesetz

- Speedup ist begrenzt durch nicht-optimierte (sequenzielle) Komponenten der Antwortzeit

$$\text{Antwortzeit-Speedup} = \frac{1}{(1 - F_{\text{opt}}) + \frac{F_{\text{opt}}}{S_{\text{opt}}}}$$

F_{opt} = Anteil der optimierten Antwortzeitkomponente ($0 \leq F_{\text{opt}} \leq 1$)

S_{opt} = Speedup für optimierten Antwortzeitanteil

- Beispiel: 5% sequenzieller Anteil ->



Gesetz von Gustafson

- optimistischere Abschätzung des erreichbaren Speedups
- Annahmen:
 - Problemgröße (Datenmenge) wächst linear mit Rechnerzahl
 - optimale Parallelisierung ist möglich
- Antwortzeit im 1-Prozessorfall sei $s+p$ (s/p sequenzieller/parallelisierbarer Anteil)
- n-fache Problemgröße
 - Bearbeitungszeit bei 1 Prozessor: $s + n \cdot p$
 - Bearbeitungszeit bei n Prozessoren: $s + p$
- „skalierbarer“ Speedup nach Gustafson:

$$\text{Antwortzeit-Speedup} = \frac{s + n \cdot p}{s + p} = n - f \cdot (n-1)$$

für $f = s / (s + p)$



Zusammenfassung

- wesentliche Klassen von MRDBS: Verteilte DBS und Parallele DBS
- Parallele DBS: skalierbare Architektur mit lokaler Verteilung
 - hohe Leistungsfähigkeit (hohe Transaktionsraten, Parallelisierung komplexer Anfragen)
 - hohe Verfügbarkeit und Fehlertoleranz in allen Komponenten
 - modulare Erweiterungsfähigkeit
- Verteilte DBS: Unterstützung ortsverteilter DBS mit höherer Autonomie einzelner Knoten
- Big Data: extreme Skalierbarkeitsanforderungen, Analysefokus
- Unterstützung unterschiedlicher Arten von Intra-Transaktionsparallelität
- Speed-Up und Scale-Up-Metriken zur Parallelverarbeitung

