2. Klassifikation von Mehrrechner-DBS

- Merkmale für PDBS/VDBS
  - ***Räumliche Verteilung***: ortsverteilt oder lokal
  - ***Rechnerkopplung***: enge, lose oder nahe Kopplung
  - ***Externspeicheranbindung***: partitioniert oder gemeinsam ('shared')
- PDBS-Architekturen
  - *Scale-Up* vs. *Scale-Out*
  - *Shared-Nothing* vs. *Shared-Disk*
- Weitere Klassifikationsmerkmale
  - funktionale Spezialisierung vs. funktionale Gleichstellung
  - integrierte vs. heterogene/föderierte MRDBS
- Systemansätze zur Datenintegration
- Grobbewertung von MRDBS-Alternativen

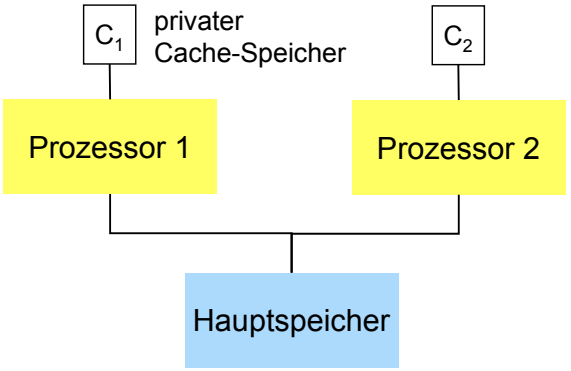
Räumliche Verteilung

- ortsverteilt:
  - unterstützt dezentrale Organisationsstrukturen
  - unterstützt Katastrophen-Recovery (replizierte DB an entfernten Knoten)
  - relativ langsame Kommunikation
    - Signallaufzeiten > 100 ms
    - aufwändige Protokolle (> 10.000 Instruktionen pro Send/Receive)
- lokal:
  - schnelle Rechnerkopplung (gemeinsame Speicher bzw. Hochgeschwindigkeitsnetz)
  - effektive dynamische Lastverteilung möglich
  - bessere Voraussetzungen für Intra-Transaktionsparallelität
  - einfachere Administration

	Durchmesser	Latenzzeit	Bandbreite (Mbit/s) 1990	2010	Übertragung 10 KB 1990	2000
Cluster	20 m	1 µs	1000	10000	0,01 ms	0,001 ms
LAN	1 km	10 µs	10	1000	10 ms	0,1 ms
WAN	10.000 km	100 ms	0,05	100	1.700 ms	101 ms

Enge Rechnerkopplung (tightly coupled systems)

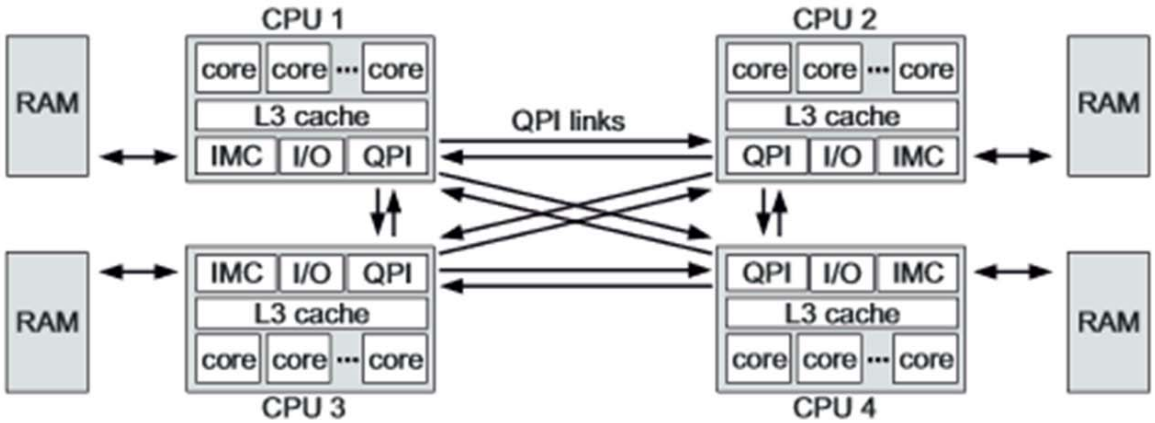
- Eigenschaften
  - gemeinsamer Hauptspeicher
  - 1 Kopie von Software-Komponenten (BS, DBMS)
  - HW-Cache pro Prozessor



- Vorteile:
  - weit verbreitet
  - wenig neue DB-Probleme (DBS-Ausführung in mehreren Prozessen)
  - effiziente Kommunikation über Hauptspeicher
  - Lastbalancierung durch Betriebssystem
  - Single System Image
- Nachteile:
  - mangelnde Fehlerisolation
  - oft begrenzte Erweiterbarkeit und Skalierbarkeit
  - Cache-Kohärenz

NUMA-Architekturen

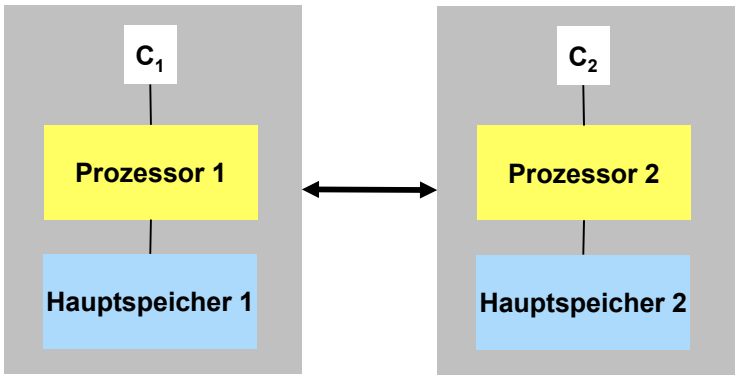
- Non-Uniform Memory Access (NUMA) bei hoher Prozessorzahl
- Beispiel Intel



- Memory-Zugriff über Links wesentlich langsamer
  - Datenpartitionierung und -lokalität innerhalb eines NUMA-Servers verbessert Leistung für DB-Anwendungen

Lose Rechnerkopplung (loosely coupled systems)

- Eigenschaften
  - N selbständige Rechner (pro Knoten eigener Hauptspeicher, eigene Software-Kopien)
  - Kommunikation über Nachrichtenaustausch

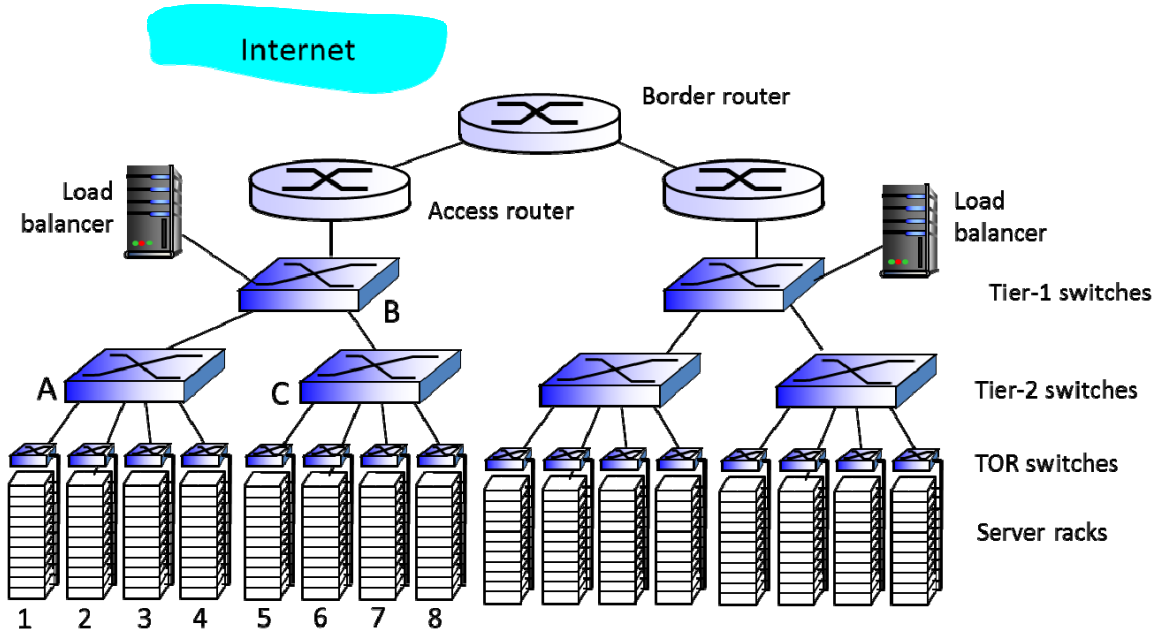


- Vorteile:
  - höhere Fehlerisolation/Verfügbarkeit
  - bessere Erweiterbarkeit

- Nachteile:
  - Nachrichtenaustausch aufwendig (Kommunikations-Overhead)
  - kein 'single system image'

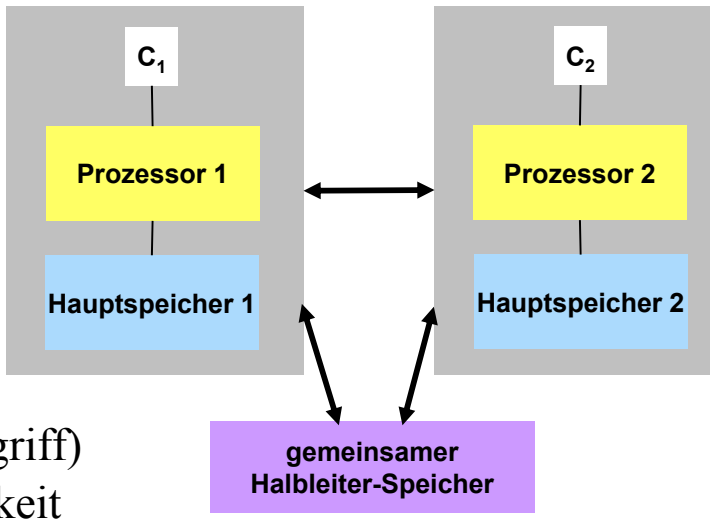
Lose Kopplung im Data Center

- mehrstufige Kopplung mit Server-Racks
  - Tausende von Rechnern
  - schnellere Kommunikation innerhalb Rack



Nahe Rechnerkopplung (closely coupled systems)

- Kompromiß zwischen enger und loser Kopplung
  - effizientere Kommunikation als mit loser Kopplung unter Beibehaltung einer ausreichenden Fehlerisolation und Erweiterbarkeit
- Merkmale
  - N selbständige Rechnerknoten
  - gemeinsame Halbleiter-Speicherbereiche
  - lokale Rechneranordnung
- Speichereigenschaften
  - schneller, synchroner Zugriff (kein Prozeßwechsel während Zugriff)
  - i.a. keine Instruktionsadressierbarkeit
  - ggf. nichtflüchtig
- Unterstützung z.B in IBM z/OS-Mainframes



Externspeicheranbindung

gemeinsam:

jeder Prozessor kann alle Externspeicher / Daten direkt erreichen

- lokale Rechneranordnung
- lose oder nahe Kopplung bzw. enge Kopplung
- hohes Potential zur Lastbalancierung

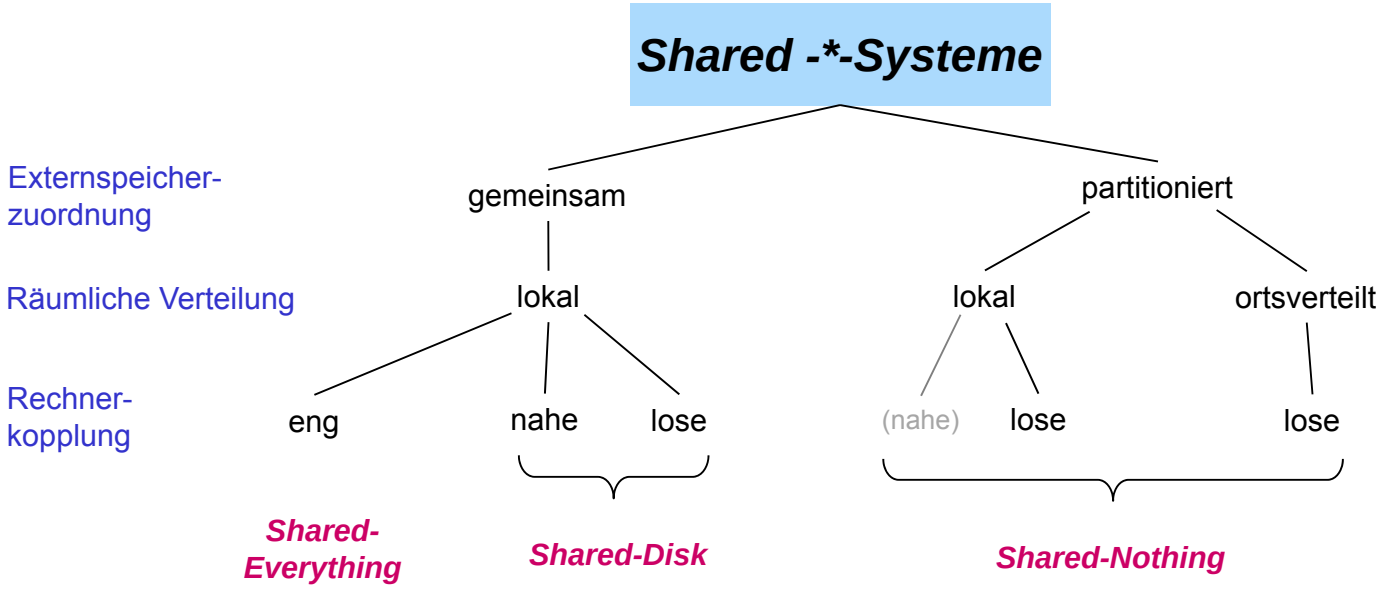
partitioniert:

Externspeicher sind primär nur je einem Knoten zugeordnet

- lokale oder ortsverteilte Rechneranordnung
- i. a. lose Rechnerkopplung
- verteilte Transaktionsausführung, um auf entfernte Daten zuzugreifen

verteilte/parallele **In-Memory-Datenbanksysteme** ?

- enge Kopplung: gemeinsam genutze In-Memory-DB
- lose Kopplung: partitionierte In-Memory-DB



- Parallele DBS: lokal verteilte Shared -*-Systeme
- Verteilte DBS: ortsverteilte DBS
- Hybride Ansätze
  - eng gekoppelte Knoten in lose gekoppelten Systemen
  - ortsverteilte Data Center mit PDBS pro Center

3 Stufen der Verteilung

1. Scale-Up: mehrere Prozessoren innerhalb von 1 Knoten (Shared Everything)
   - sehr effiziente Kommunikation; Datenaustausch über Haupt- oder Externspeicher
   - direkter Zugriff auf gesamte Datenbank für alle DBMS-Instanzen; zentrale Datenstrukturen (Sperrtabelle, DB-Puffer, etc.)
   - vglw. einfache DB-Administration
   - wird von allen DBS-Herstellern unterstützt (Microsoft, Oracle, IBM ...)
   - begrenzte Erweiterbarkeit und Verfügbarkeit
   - SMP-Leistungsfähigkeit reicht für Mehrzahl von Datenbanken
   - relativ hohe Kosten im High-End-Bereich
2. Scale-Out: SN/SD/Hybrid-Cluster
   - hohe Skalierbarkeit durch unabhängige Rechnerknoten (kein gemeinsamer Hauptspeicher, lokale Software)
3. verteiltes DB-Mirroring (für SE, SD oder SN)

Skalierbarkeit: Scale-Up vs. Scale-Out

"Scale Up"

– schnellere SMP-Knoten

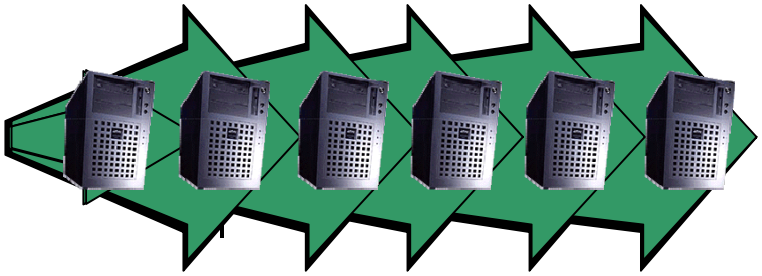
– Shared Everything

"Scale Out"

–N unabhängige Rechner (z.B. Commodity-Server)

–Hinzufügen neuer Server nach Bedarf

–Shared Nothing oder Shared Disk (Cluster)

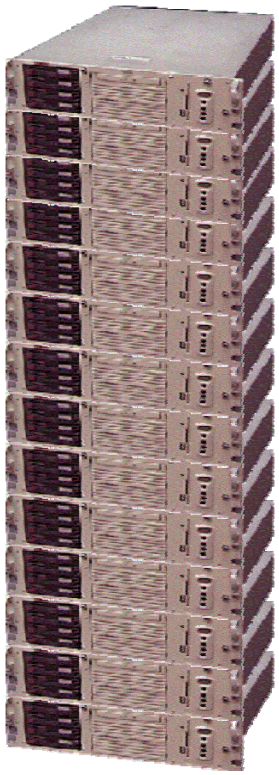


Scale-Out

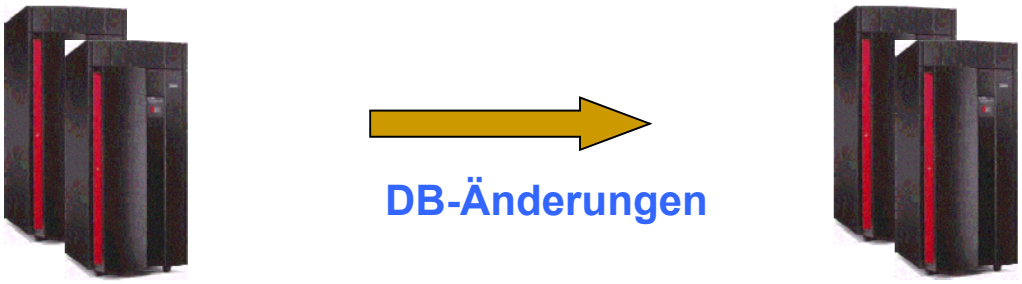
- sehr viele preiswerte Standard-Knoten (Blades)
  - geringer Administrationsaufwand
  - leichte Erweiterbarkeit
  - ausreichend für gut partitionierbare Lasten aus einfachen Operationen
  - Bsp.: Hadoop-Cluster, Data Center von Google / Amazon etc.

vs.

- moderate Zahl von High-End-Servern

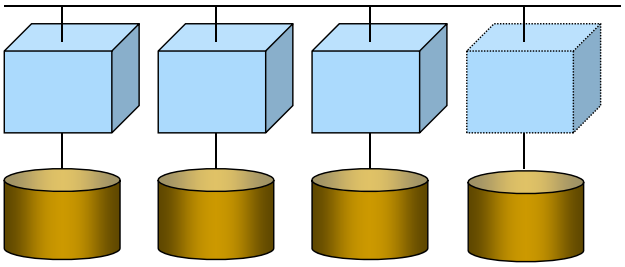


DB-Mirroring für Hochverfügbarkeit



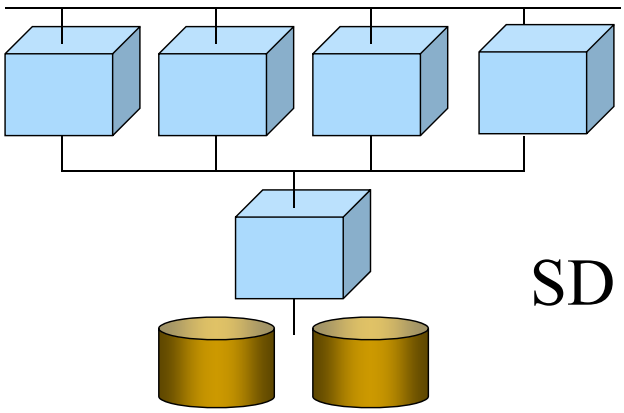
- komplette DB-Kopie an entferntem System (Geo-Replikation)
- fortlaufende Übertragung aller Änderungen aus Primärsystem (z.B. Log-Transfer) und Anwendung auf Kopie
- Schutz auch gegenüber Katastrophen
- anwendbar für alle PDBS-Architekturen im Primärsystem: SE (z.B. MS SQL-Server), SN, SD und Kombinationen

Shared Nothing (SN) vs. Shared Disk (SD)



SN

- Teradata
- IBM DB2 (Windows, Unix)
- MS Parallel Data Warehouse
- viele NoSQL-Systeme



SD

- Oracle (RAC, Exadata)
- IBM DB2 z/OS, DB2 PureScale
- SAP Sybase

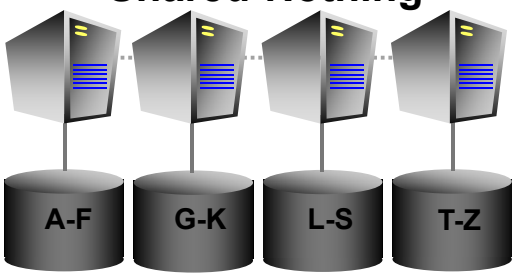
- SN auf SD-Hardware realisierbar und umgekehrt
- wesentlich ist Sicht der DBMS-Instanzen

  SN: Partitionierung der Datenbank unter den DBMS-Instanzen mit daraus abgeleiteter Anfrage- und Transaktionsverarbeitung

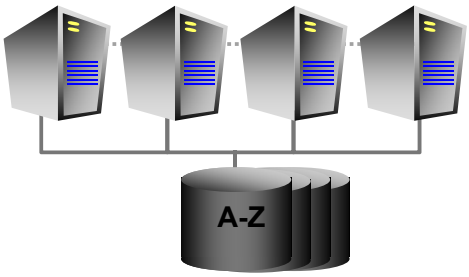
  SD: direkter Zugriff auf gesamte DB für jedes DBMS; lokale Puffer und Sperrtabellen, Datenaustausch über Externspeicher bzw. Nachrichten

SN vs. SD: Leistungsfähigkeit

Shared-Nothing



Shared-Disk



statische Datenpartitionierung bestimmt Ausführungsort von DB-Operationen und damit Kommunikationsaufwand

geringe Möglichkeiten zur dynamischen Lastbalancierung

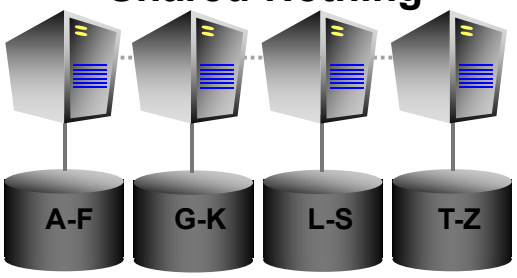
hohe Flexibilität zur Parallelisierung und Lastbalancierung aufgrund Erreichbarkeit aller Daten von jedem Knoten

hoher Aufwand für Synchronisation und Kohärenzkontrolle

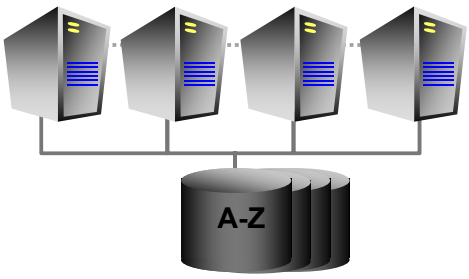
- Lokalität ermöglicht Einsparungen
- nahe Kopplung reduziert Overhead

SN vs. SD: *Erweiterbarkeit*

Shared-Nothing



Shared-Disk



Hinzufügen neuer Knoten hardwareseitig einfach (viele Knoten sind möglich)

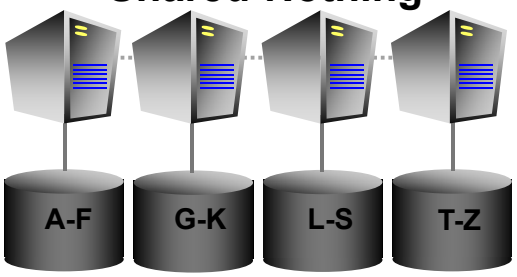
neuer Rechner erfordert physische Neuaufteilung der Datenbank (N -> N+1)

keine physische (Neu-) Aufteilung der DB bei neuem Rechner

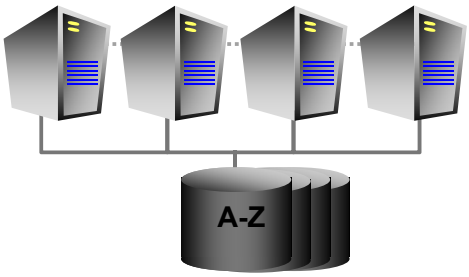
direkte Plattenanbindung kann Rechneranzahl begrenzen

SN vs. SD: Recovery

Shared-Nothing



Shared-Disk



Übernahme/Recovery der betroffenen Partition durch anderen Rechner vorzusehen (ggf. Überlastungsgefahr)

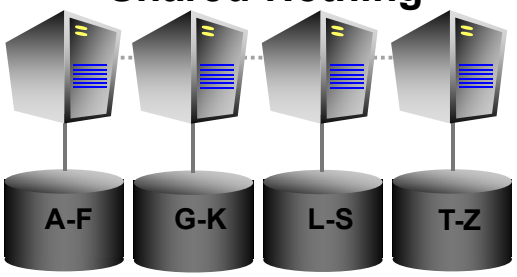
gesamte DB bleibt nach Rechnerausfall erreichbar

komplexe Crash-Recovery

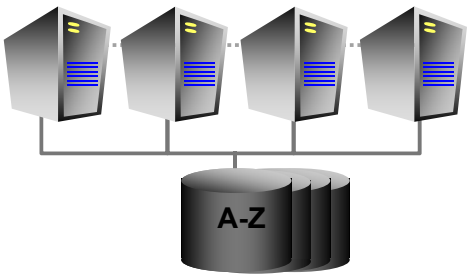
Erstellung einer globalen Log-Datei

SN vs. SD: *Technische Probleme*

Shared-Nothing



Shared-Disk



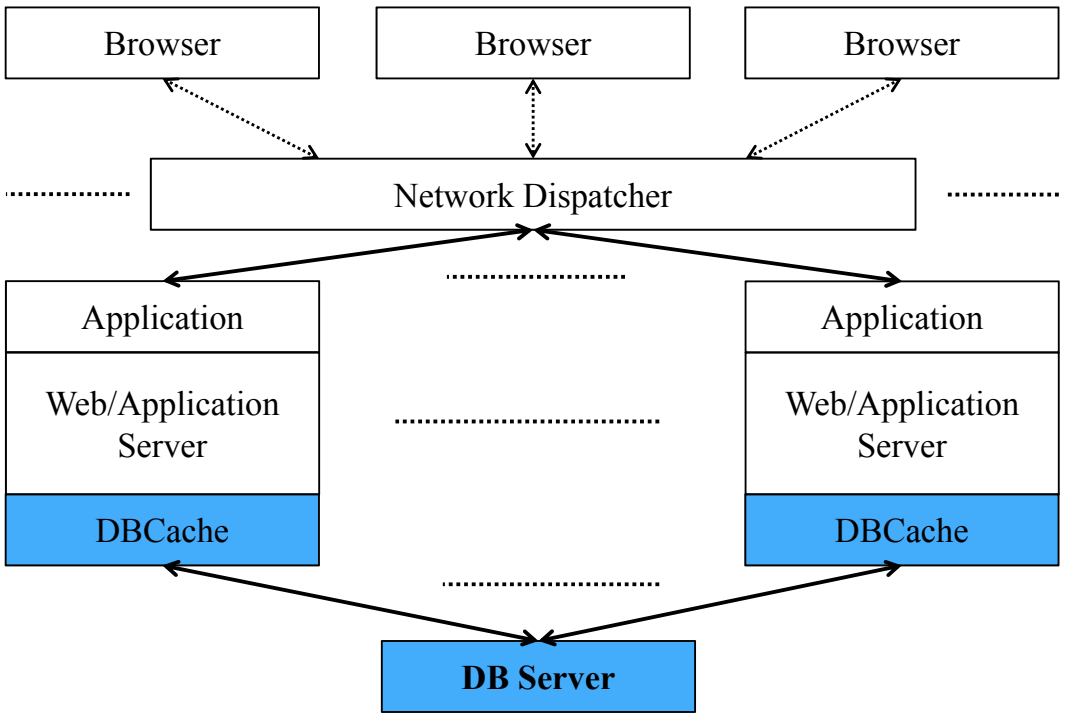
DB-Partitionierung bzgl. Rechner
verteilte und parallele Anfrageverarbeitung
verteiltes Commit-Protokoll
globale Deadlock-Behandlung
Replikationskontrolle
Katastrophen-Recovery ...

DB-Partitionierung bzgl. Platten
parallele Anfrageverarbeitung
globale Synchronisation
Kohärenzkontrolle
globaler Log, Crash-Recovery
Lastbalancierung
Katastrophen-Recovery ...

Verteilung der Funktionalität

- funktionale Gleichstellung („horizontale Verteilung“)
  - jeder Knoten besitzt gleiche Funktionalität bzgl. DB-Verarbeitung
  - i.a. vollständige DBMS pro Knoten
  - Replikation der Funktionen
- funktionale Spezialisierung („vertikale Verteilung“)
  - Partitionierung von Funktionen
  - Beispiele:
    - *DB-Maschinen* mit Spezialprozessoren für bestimmte DB-Funktionen (Join-Prozessor, Sortier-Prozessor, etc.)
    - Intelligente Platten-Kontroller z.B. für Selektion/Projektion (**Oracle Exadata**)
    - Optimierung von DB-Funktionen durch programmierbare/konfigurierbare GPUs und FPGA (Bsp. IBM Netezza)
    - Web-Informationssysteme (Multi-Tier-Architekturen) mit DB-Server und DB-Verarbeitung auf Applikations-Server
    - Datenintegrationsansätze, z.B. Föderierte DBS mit Query-Mediator
  - Spezialisierung erschwert Lastbalancierung, Erweiterbarkeit und Fehlertoleranz
- hybride Partitionierung + Replikation von DBS-Funktionen

Web-Informationssysteme mit Mid-Tier Caching

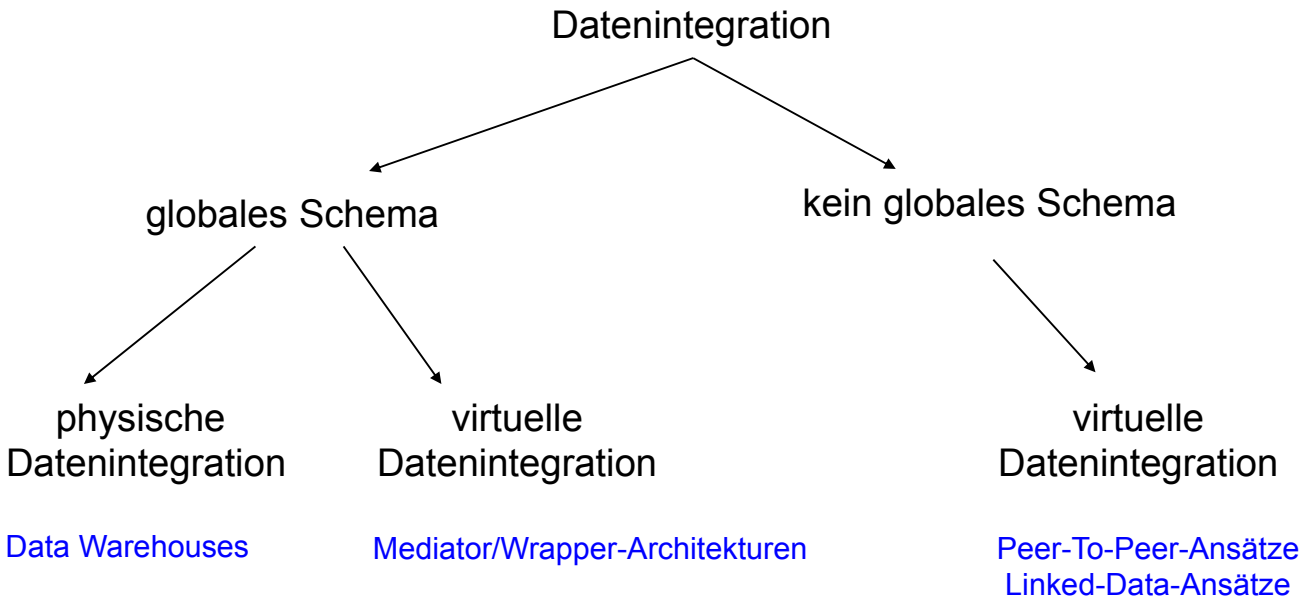


Integrierte vs. heterogene/föderierte MRDBS

- integrierte Mehrrechner-DBS
  - 1 logische Datenbank: DB-Zugriff wie im zentralen Fall (Verteiltransparenz für AP)
  - Top-Down-Ansatz zur Verteilung einer DB
  - homogenes MRDBS (z. B. identische DBMS-Instanzen)
  - geringe Autonomie für beteiligte DBMS
  - Beispiele: Verteilte DBS, Parallele DBS

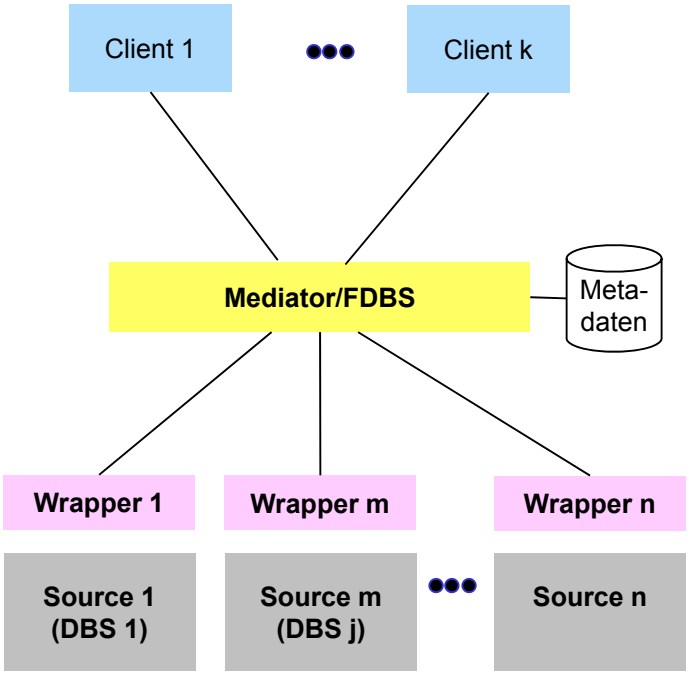
- Heterogene / föderierte Mehrrechner-DBS
  - Bottom-Up-artige Kopplung existierender Datenbanken
  - weitgehend unabhängige DBMS mit privaten konzeptionellen DB-Schemata
  - partielle Zulassung externer Zugriffe (Kooperation)
  - Heterogenität bei Datenmodellen und Transaktionsverwaltung möglich
  - Probleme mit semantischer Heterogenität
  - Verteilungstransparenz i.a. nur bedingt erreichbar
  - verschiedene Alternativen zur Datenintegration

Heterogene DBS

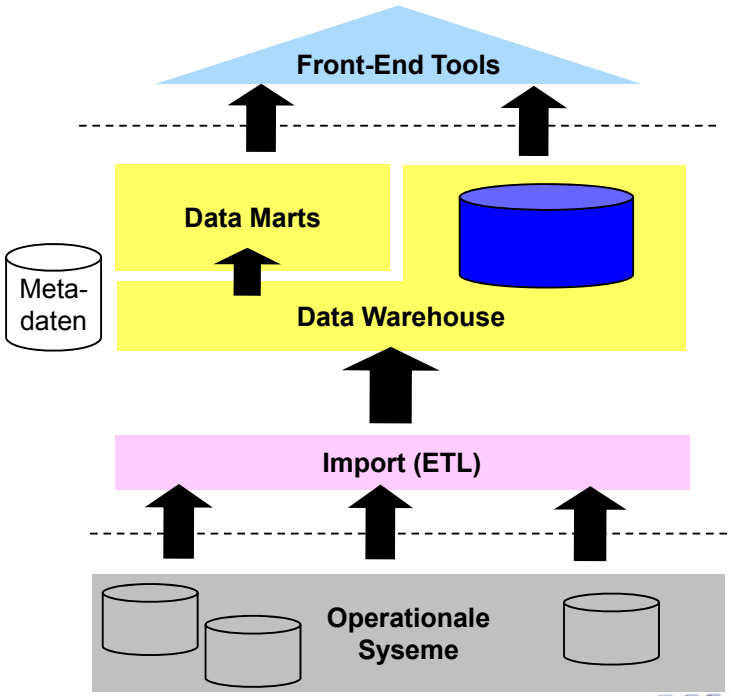


Grundlegende Alternativen zur Datenintegration

Virtuelle Integration
(Mediator/Wrapper-Architekturen, föderierte DBS)

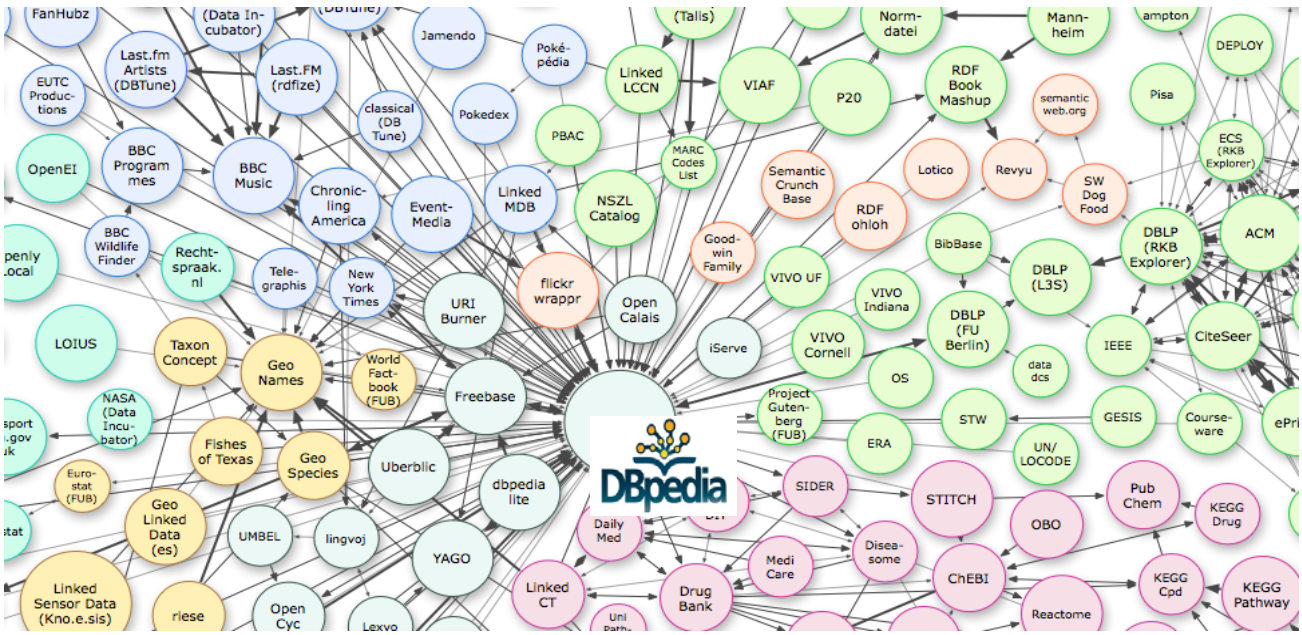


Physische (Vor-) Integration
(Data Warehousing)

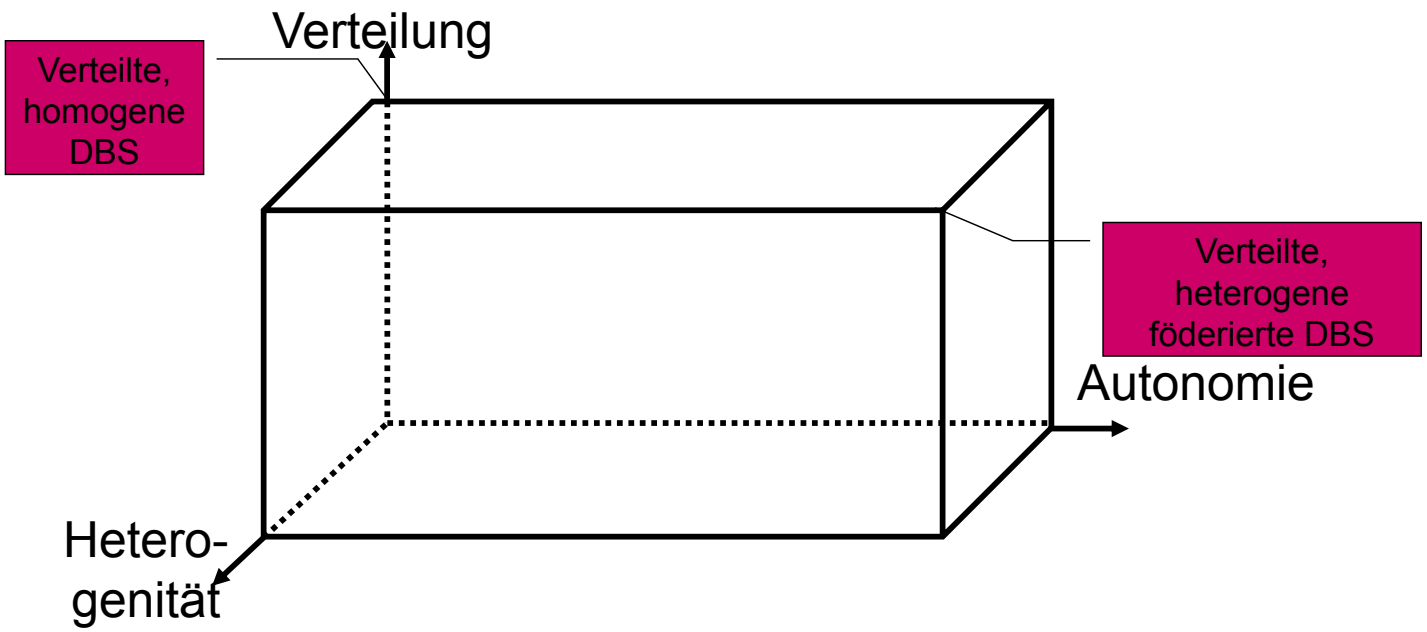


Linked Open Data

- vernetzte RDF-basierte Datenquellen
- Links (Mappings) zwischen Instanzen und Ontologie-Konzepten ermöglichen Datenintegration



Klassifikation nach Özsu/Valduriez



Grobbewertung von Mehrrechner-DBS

	Parallele DBS (SD, SN)	Verteilte DBS	Föderierte DBS
Hohe Transaktionsraten	++	o/+	o
Intra-TA-Parallelität	++	o/+	-/o
Skalierbarkeit	+/++	o/+	o
Verfügbarkeit	+	+	-
Verteilungstransparenz	++	+	o
Geographische Verteilung	-	+	+
Knotenautonomie	-	o	+
DBS-Heterogenität	-	-	+
Administration	o	-	-/--

- Big Data Architekturen
  - Nutzung von Hadoop-Cluster mit Analyse-Frameworks / SQL-on-Hadoop
  - NoSQL auf Shared-Nothing-Cluster
  - Parallele DBS / NewSQL z.B. mit In-Memory-Datenbanken

Zusammenfassung

- vielfältige Anforderungen an Mehrrechner-Datenbanksysteme führen zu verschiedenen Architekturtypen:
  - Parallele DBS, Verteilte DBS, Föderierte DBS, Data Warehouses …
- Klassifikationsmerkmale
  - räumliche Verteilung, Rechnerkopplung, Externspeicheranbindung, integrierte/homogene vs. föderierte / heterogene DBS, funktionale Spezialisierung vs. Gleichstellung
- Parallele DBS:
  - Ziele: hohe Leistung/Parallelisierung, hohe Verfügbarkeit, Skalierbarkeit
  - lokale Rechneranordnung
  - Hauptansätze: Shared-Everything, Shared-Disk, Shared-Nothing
- Verteilte DBS: ortsverteilte, integrierte MRDBS (globales Schema)
- PDBS-Vergleich
  - Skalierbarkeit: Scale-Up (SE) einfacher umsetzbar als Scale-Out
  - DB-Mirroring für Hochverfügbarkeit
  - Scale-Out: Shared-Disk vs. Shared-Nothing

Zusammenfassung (2)

- Mehrrechner-DBS mit funktionaler Spezialisierung
  - z.B. Workstation/Server-DBS, Multi-Tier-Architekturen
  - Nutzung von Spezial-Hardware („Datenbank-Maschinen“) weitgehend gescheitert: geringe Kosteneffektivität, Funktionalität und Flexibilität
- Virtuelle Datenintegration
  - Föderierte DBS / Query-Mediatoren / Peer-DBS / Linked Data
  - Bewahrung einer relativ hohen Knotenautonomie
- Data Warehouses: physische Integration heterogener Datenbanken
  - Data Warehouse kann durch zentrales DBS oder PDBS verwaltet werden