

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



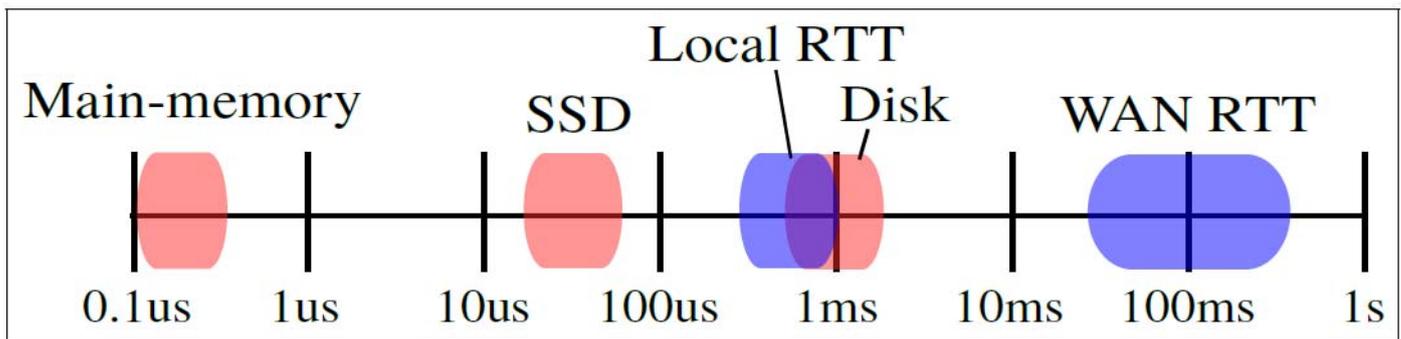
Räumliche Verteilung

- **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-Query-Parallelität
 - einfachere Administration

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



Vergleich Latenzzeiten



F. Nawab et al: A system infrastructure for strongly consistent transactions on globally-replicated data. IEEE Bull. TCDE, 2017

RTT: Round-trip time



Enge Rechnerkopplung (tightly coupled systems)

■ Eigenschaften

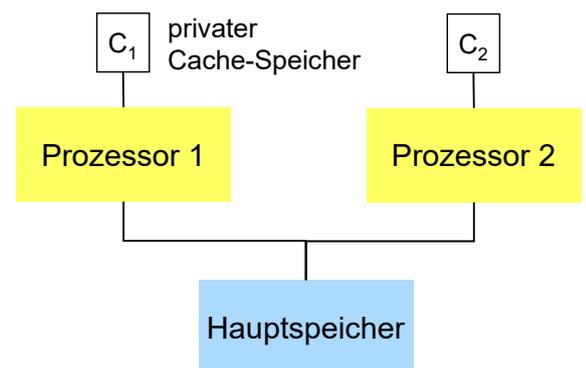
- gemeinsamer Hauptspeicher
- 1 Kopie von Software-Komponenten (Betriebssystem, DBMS)
- HW-Cache pro Prozessor

■ Vorteile

- weit verbreitet
- effiziente Kommunikation über Hauptspeicher
- Lastbalancierung durch Betriebssystem
- Single System Image

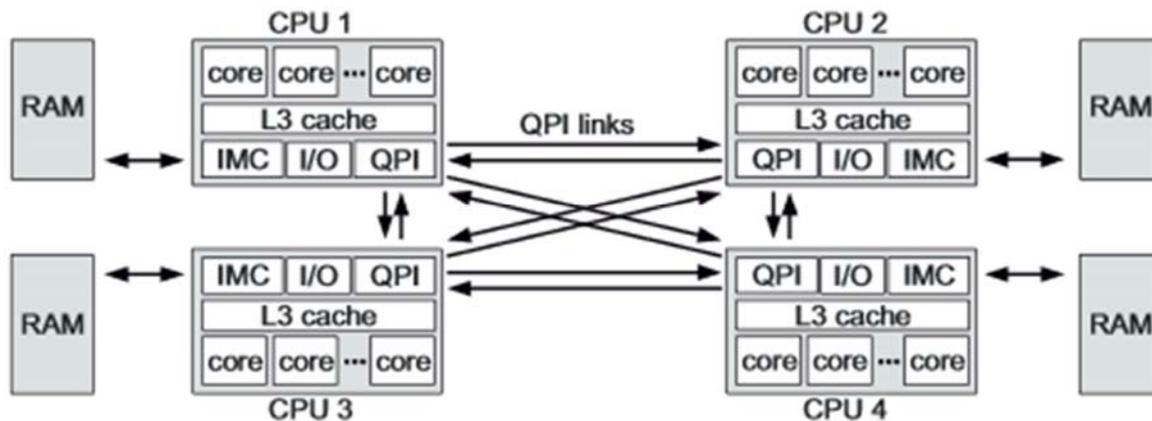
■ Nachteile

- mangelnde Fehlerisolation
- oft begrenzte Erweiterbarkeit und Skalierbarkeit
- Cache-Kohärenz



NUMA-Architekturen

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



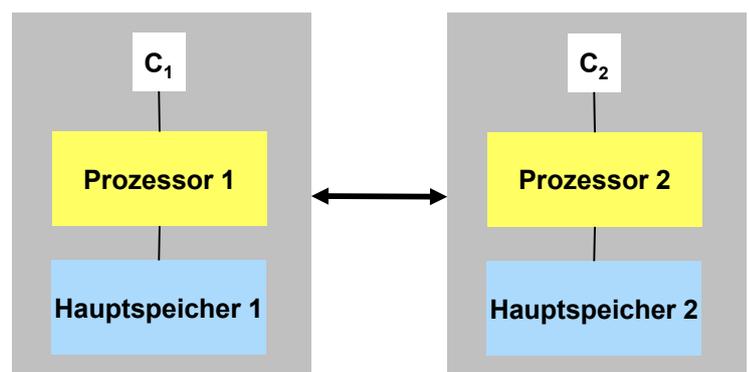
- Memory-Zugriff über Links wesentlich langsamer
 - Datenpartitionierung und -lokalität innerhalb eines NUMA-Servers verbessert Leistung für DB-Anwendungen



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

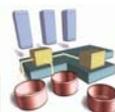
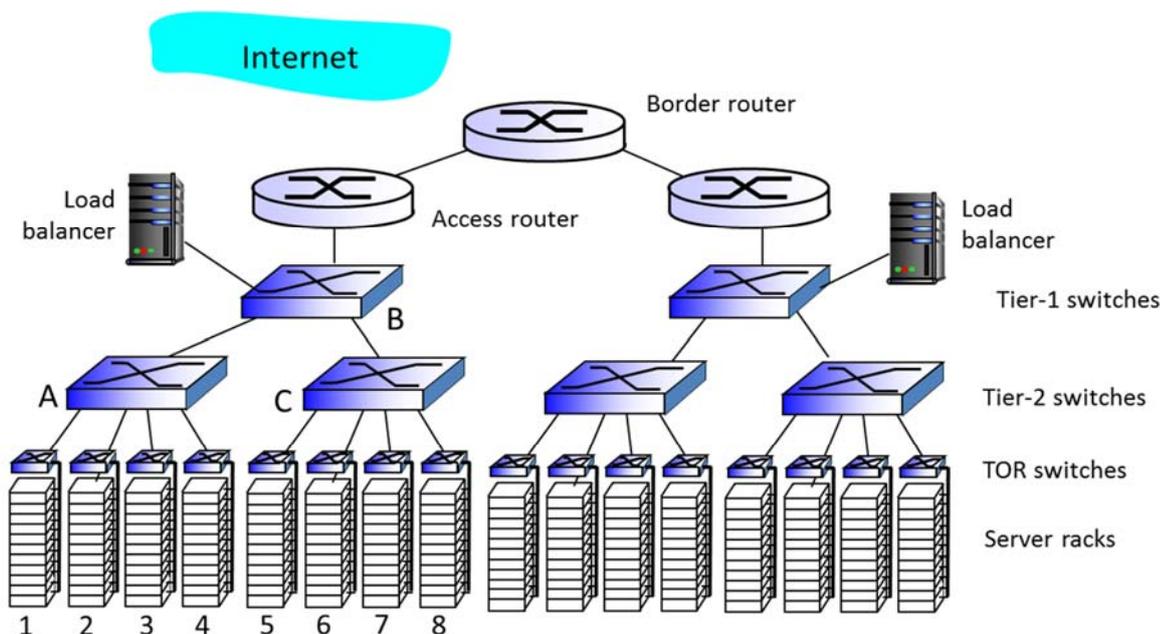
■ Nachteile:

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



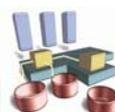
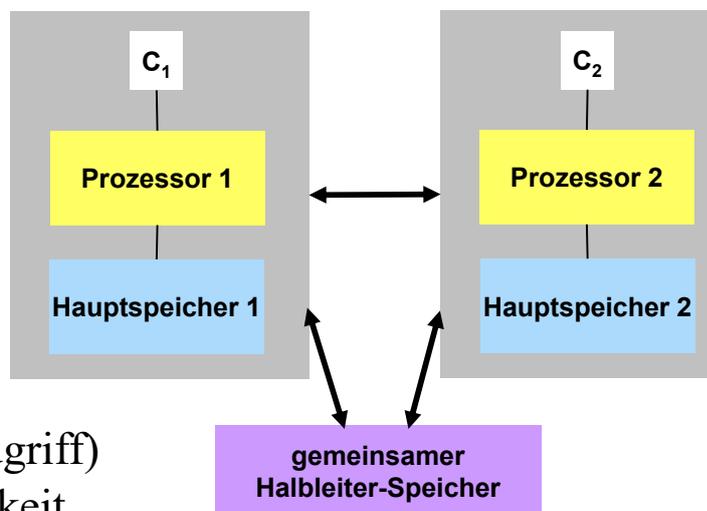
Lose Kopplung im Data Center

- 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

- Rechneranordnung: lokal
- Rechnerkopplung: eng, lose oder nahe
- hohes Potential zur Lastbalancierung

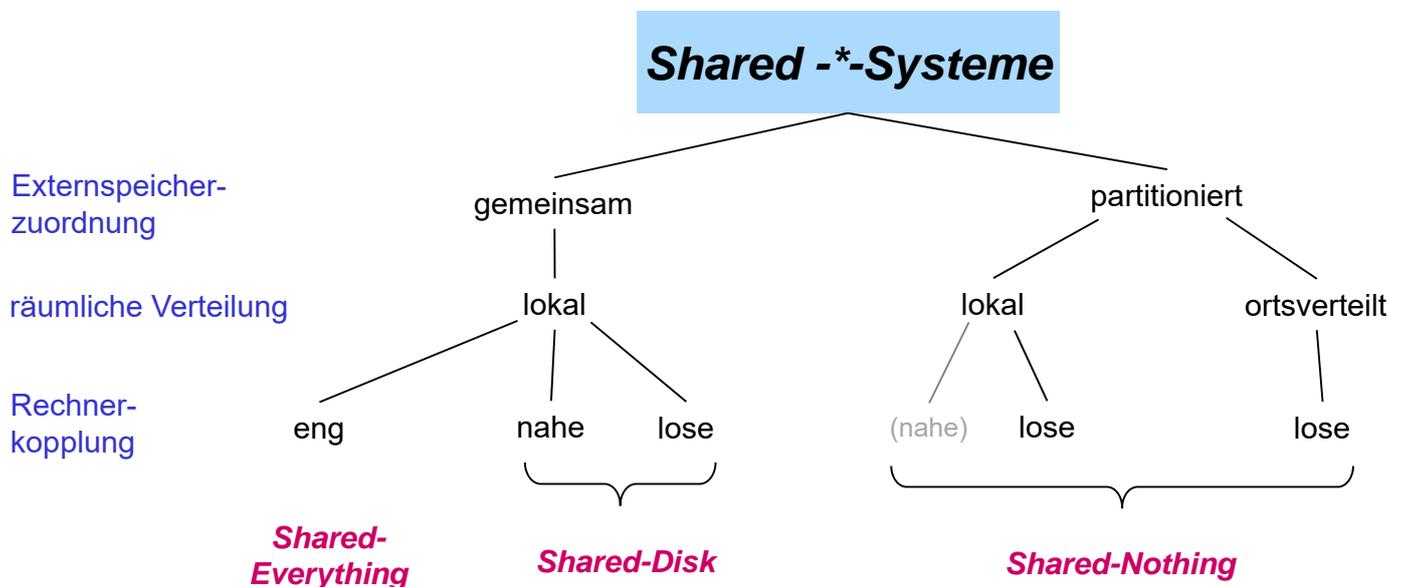
partitioniert:

Externspeicher sind primär nur je einem Knoten zugeordnet

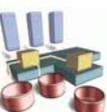
- Rechneranordnung: lokal oder ortsverteilt
- Rechnerkopplung: i. a. lose
- verteilte Transaktionsausführung, um auf entfernte Daten zuzugreifen

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

- enge Kopplung: gemeinsam genutzte 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 (über Hauptspeicher)
- direkter Zugriff auf gesamte Datenbank für alle DBMS-Instanzen; zentrale Datenstrukturen (Sperrtabelle, DB-Puffer, etc.)
- einfache DB-Administration
- von allen DBS-Herstellern unterstützt (Microsoft, Oracle, IBM ...)
- Leistungsfähigkeit reicht für Mehrzahl von Datenbanken
- begrenzte Erweiterbarkeit und Verfügbarkeit
- 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. (geo-)verteilte Replikation (für SE, SD oder SN)



Skalierbarkeit: Scale-Up vs. Scale-Out



“Scale Up”

- schnellere Mehrprozessorknoten
- Shared Everything

“Scale Out”

- N unabhängige Rechner (z.B. Commodity-Server)
- Hinzufügen neuer Server nach Bedarf
- Shared Nothing oder Shared Disk (Cluster)

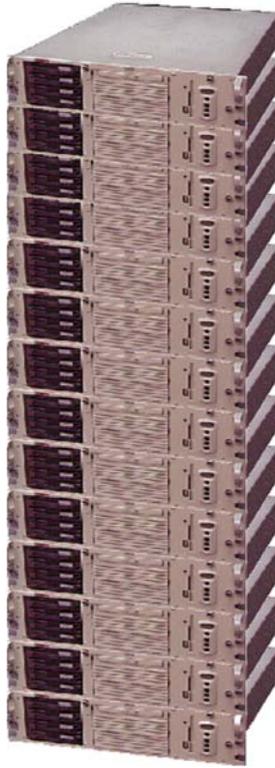


Out



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



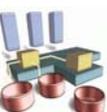
DB-Replikation für Hochverfügbarkeit



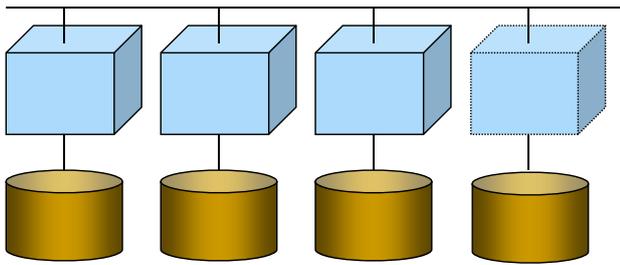
Primärsystem

Sekundärsystem

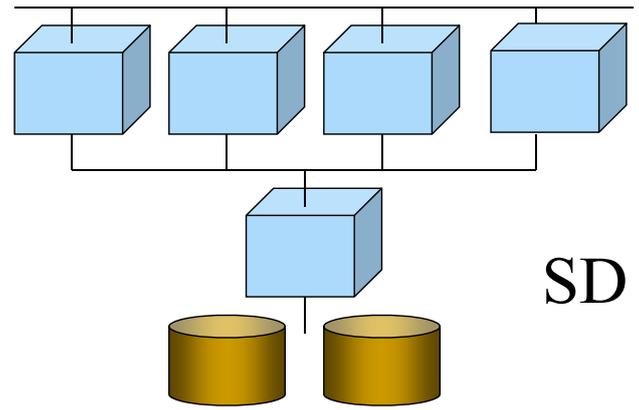
- komplette DB-Kopie an entferntem System (Mirroring, Geo-Replikation)
- fortlaufende Übertragung aller Änderungen aus Primärsystem (z.B. Log-Transfer) und Anwendung auf Kopie
- Schutz auch gegenüber Katastrophen
- anwendbar für alle PDBS-Architekturen im Primärsystem: SE, SN, SD und Kombinationen



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



SN



SD

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

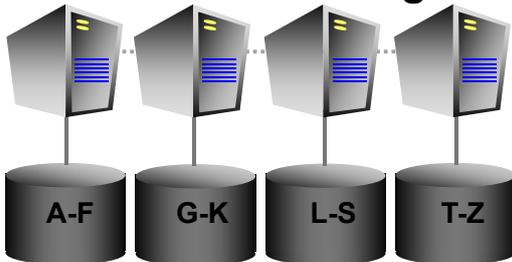
- ❖ Oracle (RAC, Exadata)
- ❖ IBM DB2 z/OS, DB2 PureScale
- ❖ SAP Sybase

■ SN auf SD-Hardware realisierbar und umgekehrt



SN vs. SD: Leistungsfähigkeit

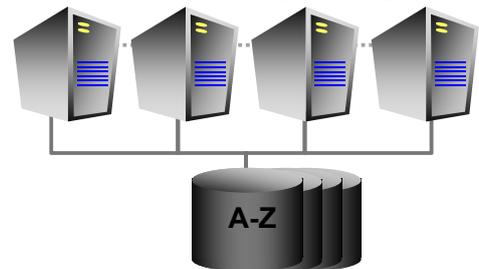
Shared-Nothing



statische Datenpartitionierung bestimmt Ausführungsort von DB-Operationen und damit Kommunikationsaufwand

geringe Möglichkeiten zur dynamischen Lastbalancierung

Shared-Disk

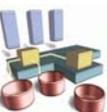


hohe Flexibilität zur Parallelisierung und Lastbalancierung

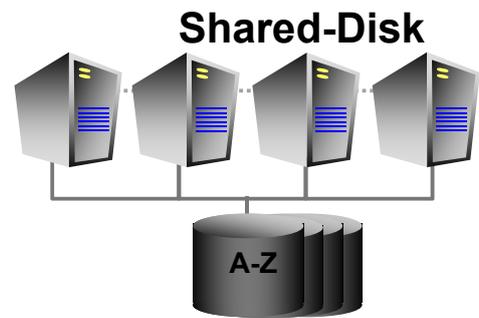
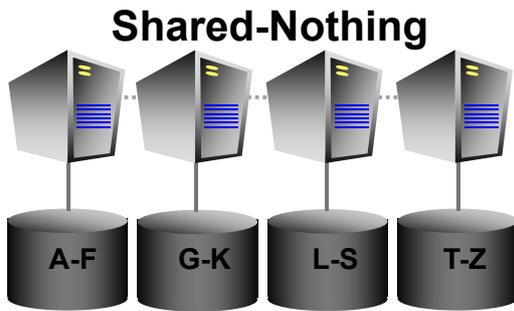
- Erreichbarkeit aller Daten von jedem Knoten

hoher Aufwand für Synchronisation und Kohärenzkontrolle

- Lokalität ermöglicht Einsparungen
- nahe Kopplung reduziert Overhead



SN vs. SD: Erweiterbarkeit



Hinzufügen neuer Knoten hardwareseitig einfach

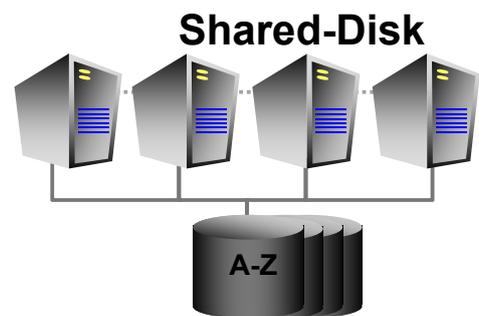
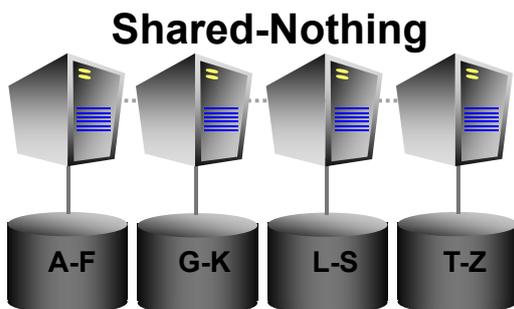
- viele Knoten sind möglich
- neuer Rechner erfordert physische Neuauflteilung der Datenbank (N -> N+1)

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

direkte Plattenanbindung begrenzt Rechneranzahl



SN vs. SD: Recovery

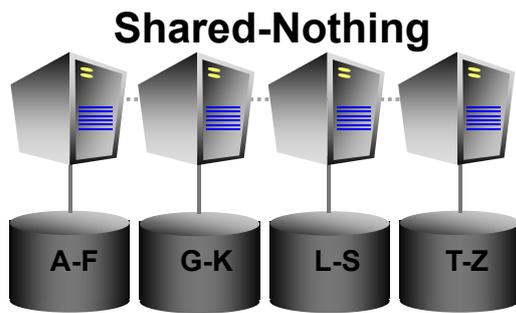


Übernahme/Recovery der betroffenen Partition durch anderen Rechner vorzusehen (ggf. Überlastungsgefahr)

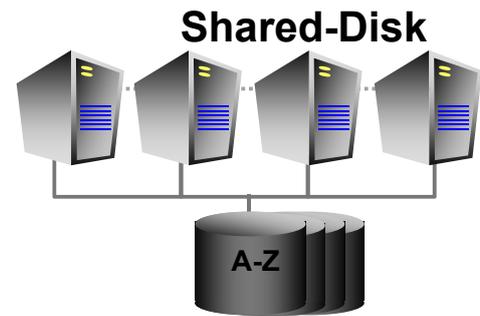
gesamte DB bleibt nach Rechnerausfall erreichbar
komplexe Crash-Recovery
Erstellung einer globalen Log-Datei



SN vs. SD: Technische Probleme



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



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

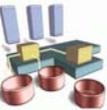
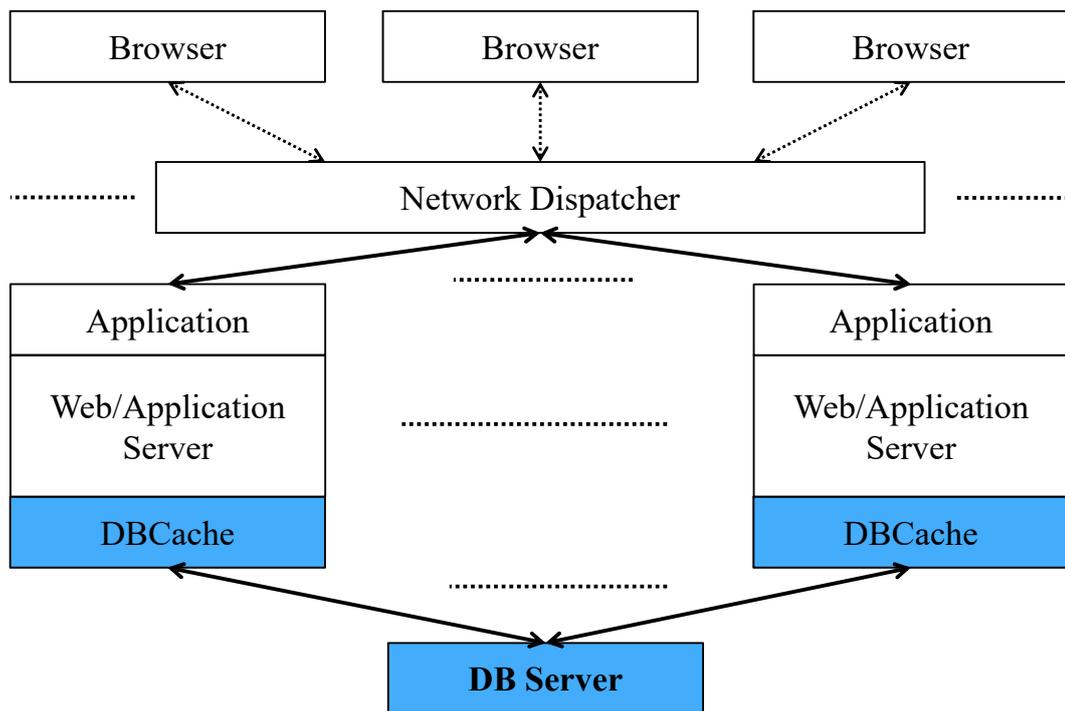


Verteilung der Funktionalität

- funktionale Gleichstellung („horizontale Verteilung“)
 - jeder Knoten besitzt gleiche DBS-Funktionalität (z.B. vollständiges DBMS pro Knoten)
 - Replikation der Funktionen
- funktionale Spezialisierung: 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
 - Spezialisierung erschwert Lastbalancierung, Erweiterbarkeit und Fehlertoleranz
- hybride Partitionierung + Replikation von DBS-Funktionen



Web-Informationssysteme mit Mid-Tier Caching



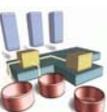
Integrierte vs. heterogene/föderierte MRDBS

■ integrierte Mehrrechner-DBS

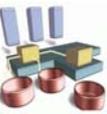
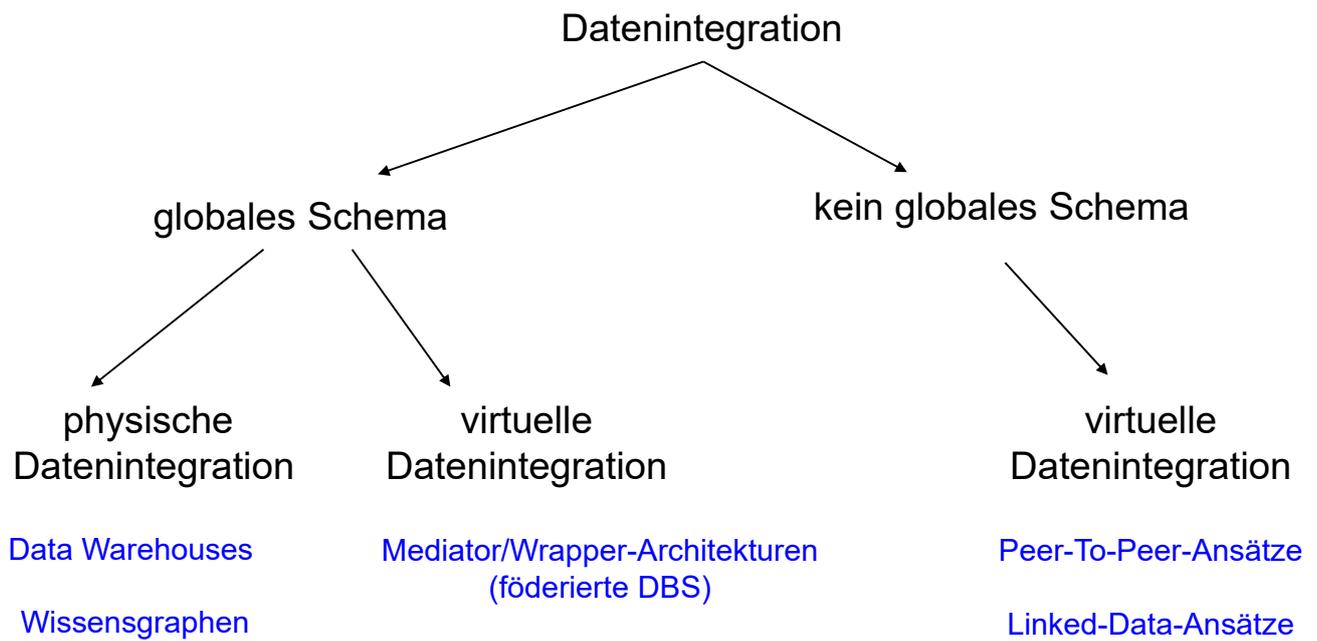
- 1 logische Datenbank: DB-Zugriff wie im zentralen Fall (Verteiltransparenz für AP)
- **Top-Down-Ansatz** zur Verteilung einer DB
- homogenes MRDBS (z. B. identische DBMS-Instanzen)
- geringe Autonomie für beteiligte DBMS
- Beispiele: Verteilte DBS, Parallele DBS

■ 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**

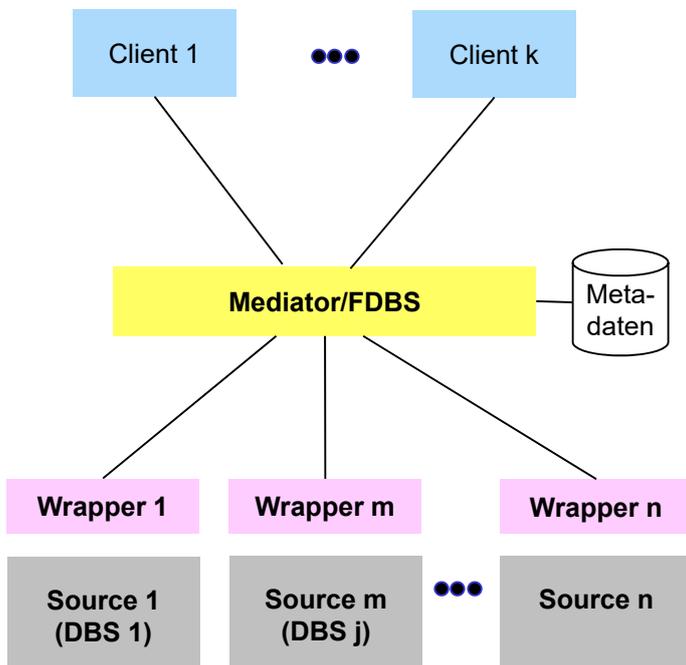


Heterogene DBS

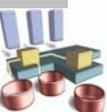
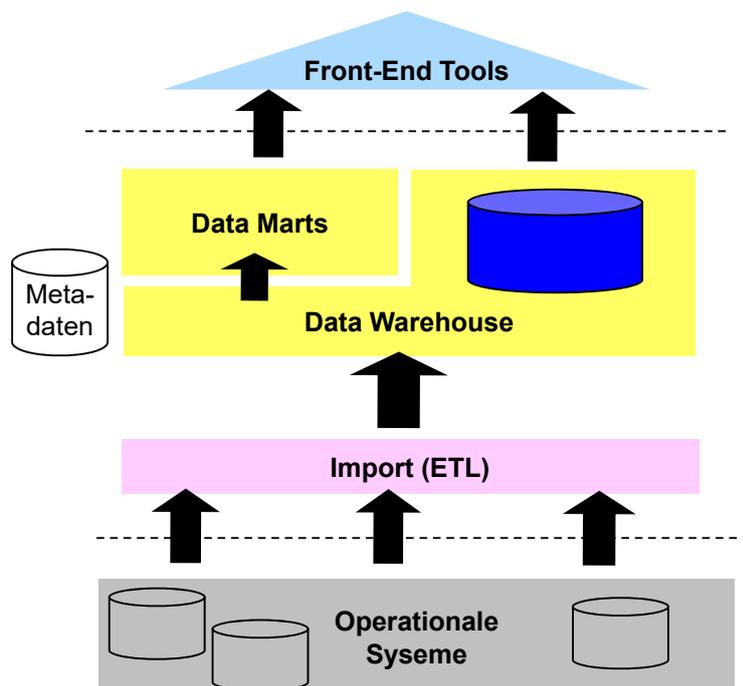


Grundlegende Alternativen zur Datenintegration

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

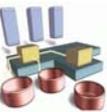
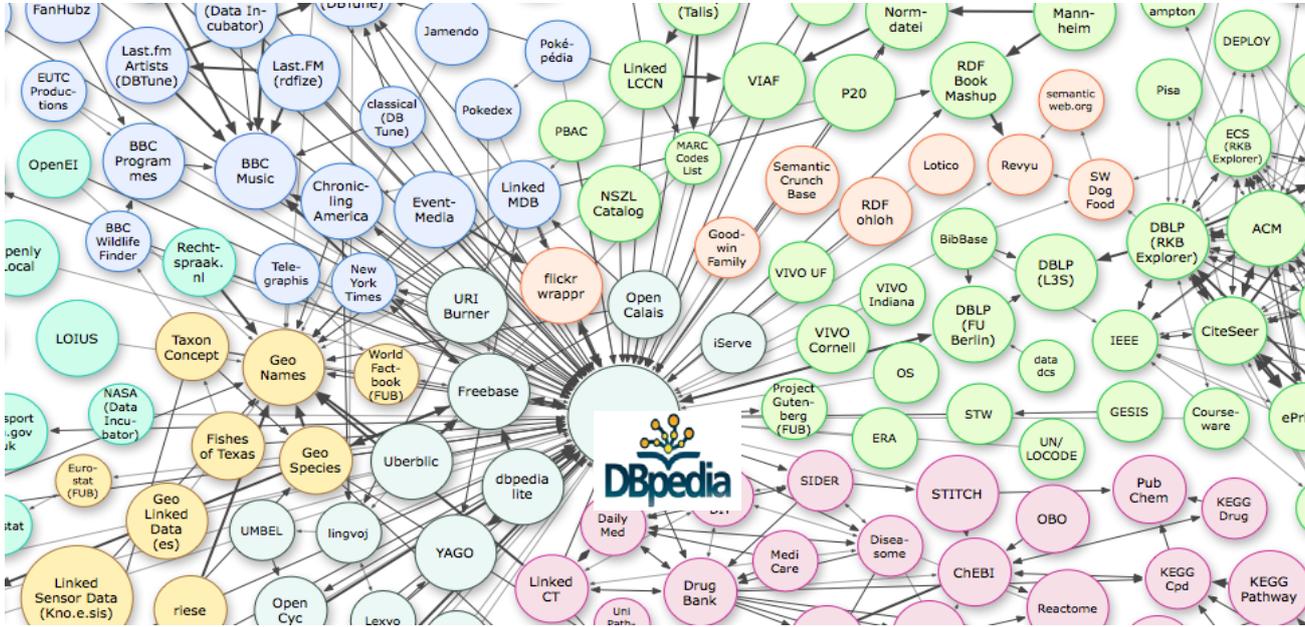


Physische (Vor-) Integration (Data Warehousing)



Linked Open Data

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



Wissensgraphen

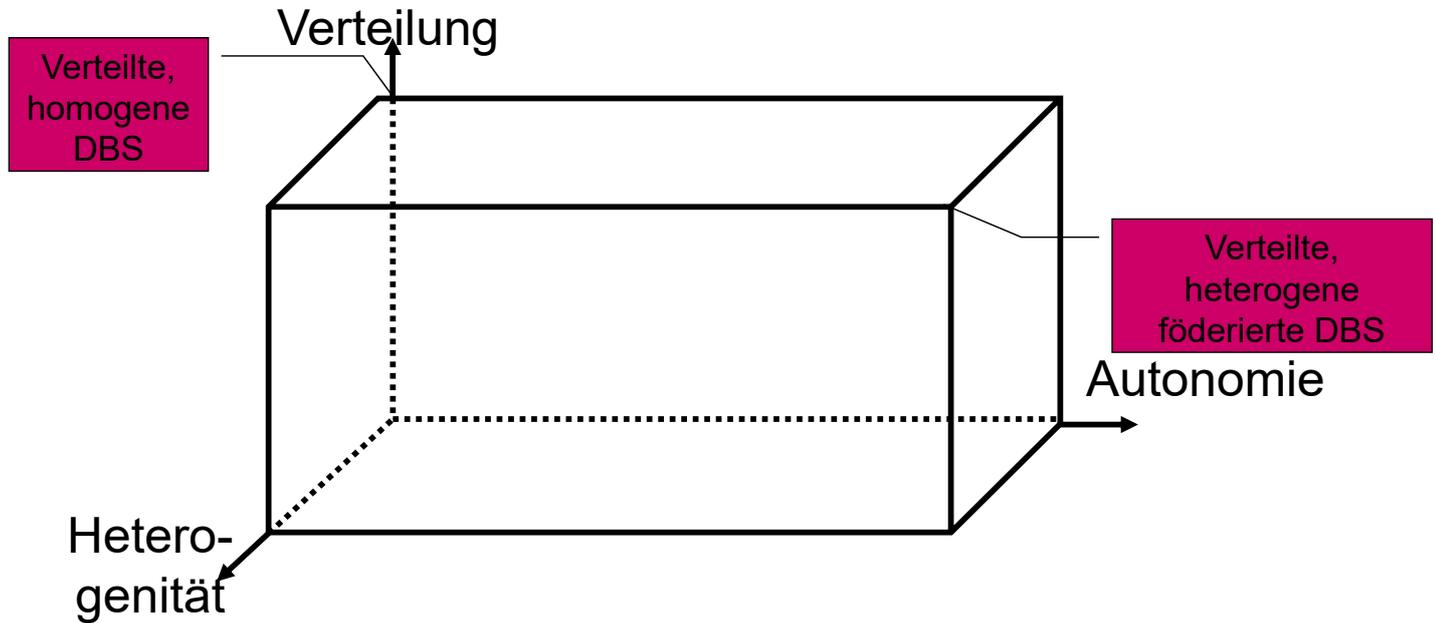
- einheitliche Verwaltung und semantische Kategorisierung von Entitäten und ihren Beziehungen
 - Beispiele: DBpedia, Yago, Wikidata
 - Google KG, MS Satori
 - Amazon Product KG ...



- Informationen stammen oft aus anderen Wissensquellen (Wikipedia, Wordnet etc.), Webseiten ...
 - domänenspezifisch oder übergreifend / global
- viele Nutzungsmöglichkeiten
 - Anreicherung von Daten
 - Verbesserung von Suchergebnissen
 - Generierung von (Produkt-) Empfehlungen
 - Gewinnung von Trainingsdaten für Machine Learning ...



Klassifikation nach Özsu/Valduriez



Grobbewertung von Mehrrechner-DBS

	Parallele DBS (SD, SN)	Verteilte DBS	Föderierte DBS
hohe Transaktionsraten	++	o/+	o
Intra-Query-Parallelität	++	o/+	-/o
Skalierbarkeit	+ / ++	o/+	o
Verfügbarkeit	+	+	-
Verteilungstransparenz	++	+	o
geographische Verteilung	-	+	+
Knotenautonomie	-	o	+
DBS-Heterogenität	-	-	+
Administration	o	-	-/--

- Big Data Architekturen nutzen v.a. Shared Nothing
 - 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. Multi-Tier-Architekturen
 - Nutzung von Spezial-Hardware („Datenbank-Maschinen“) problematisch bezüglich Flexibilität und Erweiterbarkeit
 - Revival: Nutzung von GPUs / FPGAs
- virtuelle Datenintegration
 - föderierte DBS / Linked Data
 - Bewahrung einer relativ hohen Knotenautonomie
- physische Integration heterogener Datenbanken
 - populärste Datenintegrationslösung (Data Warehouses, Big Data)
 - Data Warehouse kann durch zentrales DBS oder PDBS verwaltet werden

