

12. Objektorientierte und Objekt-Relationale Datenbankkonzepte

- **DBS-Markt**
- **Beschränkungen klassischer Datenmodelle**
 - Beispiel CAD-Systeme
- **Grundkonzepte der Objektorientierung**
 - OODBS-Manifesto
 - Überblick über einige Konzepte
- **Objekt-relationale DBS – Vision**
 - verschiedene Systemarchitekturen
 - objekt-relationale DB-Technologie
 - Erweiterbarkeitsinfrastruktur
- **Standardisierung von SQL – Überblick¹**
- **SQL:1999 – Neue Funktionalität**
- **Erhöhung der Ausdrucksmächtigkeit**
 - Allgemeine Tabellenausdrücke
 - Rekursion
 - Rekursion mit Berechnungen

1. Information Technology – Database Language SQL - Part 1 and Part 2: Framework (for SQL:1999) and Foundation (SQL:1999), International Standard (www.jtc1sc32.org)
Information Technology – Database Language SQL - Technical Corrigendum xxx for SQL:1999,
...
2005-02-07: 1250 Dokumente

DBS-Markt

Daten- strukturen	komplex	OO $n \cdot 10^8$ \$	OR ?
	einfach	Dateisysteme Video-Server	RM (SQL) $k \cdot 10^{10}$ \$
		einfach	komplex
Anfragen			

- **Einfache Daten, einfache Anfragen**

- Datenstruktur ist dem System nicht bekannt
- Künftig werden solche Systeme wahrscheinlich mit Anfragemöglichkeiten (z. B. SQL) ausgestattet

- **Einfache Daten, komplexe Anfragen**

- RDBS: skalierbar, robust, Zugriff über Struktur und Inhalt
- Begrenzte Unterstützung für komplexe, als BLOBs gespeicherte Daten
- RDBS können diese BLOBs nicht indexieren, manipulieren oder über ihren Inhalt suchen

- **Komplexe Daten, einfache Anfragen**

- Persistente komplexe Objekte, die durch Java, C++, Smalltalk, ... manipuliert werden
- Begrenzte Skalierbarkeit in Bezug auf große Datenvolumina und große Anzahlen von Benutzer

- **Komplexe Daten, komplexe Anfragen**

- OR-Server können komplexe Daten als Objekte handhaben
- Benutzerdefinierte Funktionen lassen sich zur Manipulation der Daten im Server heranziehen
- Erweiterbarkeit ist für Datentypen und Funktionen möglich

Beschränkungen der klassischen Datenmodelle

- **einfach strukturierte Datenobjekte**
 - satzorientiert, festes Format
 - nur einfache Datentypen
- **geringe semantische Ausdrucksfähigkeit**
 - fehlende Abstraktionskonzepte
 - begrenzte Auswahlmächtigkeit der Anfragesprachen
- **nur einfache Integritätsbedingungen**
- **umständliche Einbettung in Programmiersprachen**
- **auf kurze Transaktionen zugeschnitten (ACID)**
- **keine Unterstützung**
 - von Zeit und Versionen
 - von räumlichen Beziehungen
- **mangelnde Effizienz und Effektivität**
bei anspruchsvollen Anwendungen
- ...

➔ **Wie wirkt sich das bei komplexen Anwendungen aus?**

Beispiel: CAD-Systeme

- **Eigenschaften der Daten**

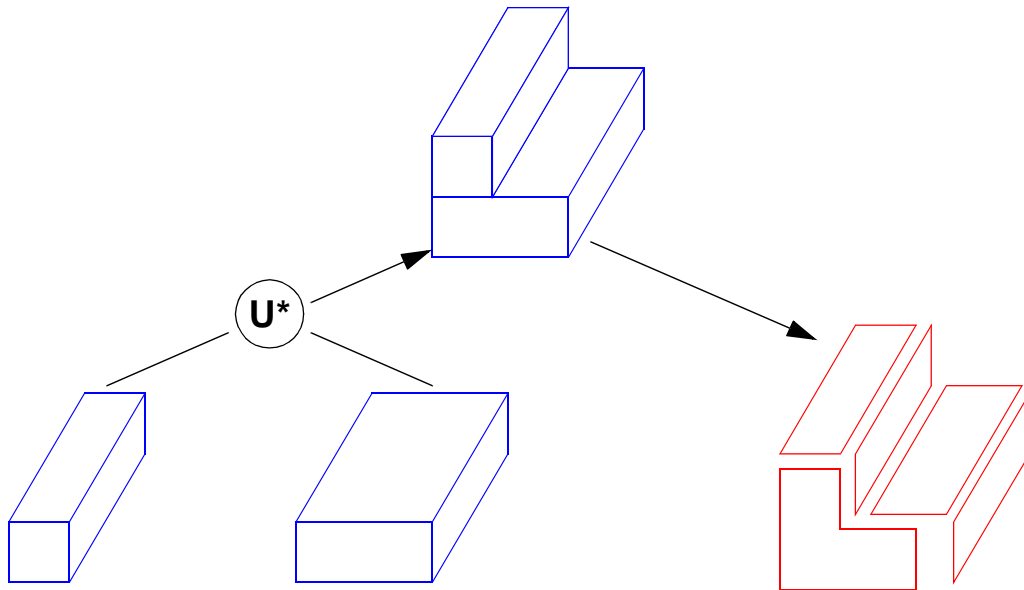
- Technische Objekte sind i. Allg. **dreidimensional**.
- Die räumlichen Daten bilden nur einen kleinen, aber wichtigen Teil der Daten des Systems.
- Die **interaktive Arbeitsweise erfordert einen schnellen Zugriff auf die räumlichen Daten** (Zeichnen am Bildschirm).
- Jedes technischen Objekt besitzt sein eigenes Bezugssystem.
- Die geometrische und topologische Information hängt vom gewählten Darstellungsschema ab.
- Die räumlichen Daten können im Raster-, Vektor- oder Hybridmodus dargestellt werden.

- **Geometrische Modellierung**

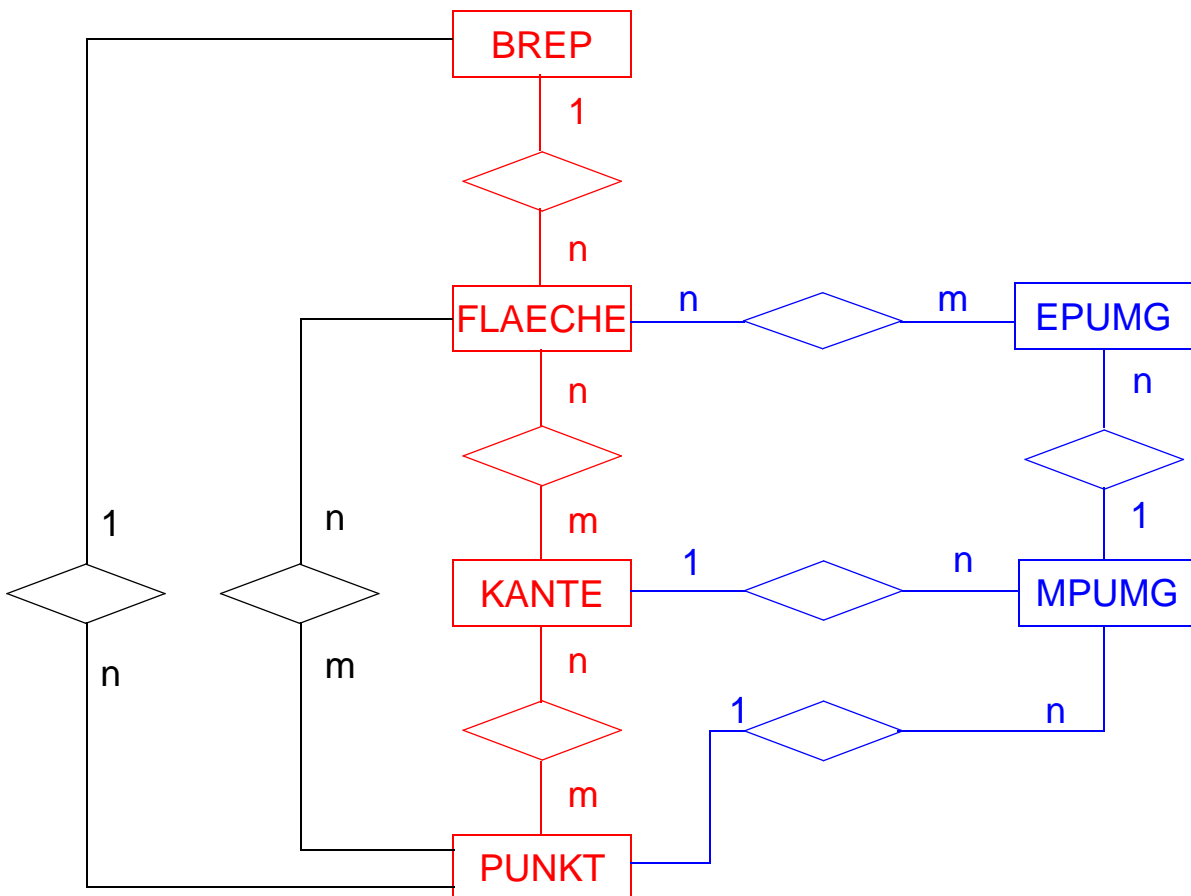
- **Konstruktionsprozess für dreidimensionale Objekte**
(zusammengesetzte Körper)
- Volumenorientierter geometrischer Modellierer
(CSG = Constructive Solid Geometry)
- Auswahl aus einer Menge von parametrisierten **primitiven Objekten**
- Anwendung **regulärer Operatoren** (Vereinigung, Differenz, Translation, Rotation) zur schrittweisen Konstruktion komplexerer Objekte
- System leitet automatisch **Begrenzungsflächendarstellung** ab
(BREP = Boundary Representation)

CAD-Systeme (2)

- CSG- und BREP-Modellierung



- DB-Repräsentation: Geometriemodell als Entity-Relationship-Diagramm:



Darstellung im Relationenmodell

- **Abbildung**

- wegen der vielen (n:m)-Beziehungen mehr als 10 Relationen!
- Einzelteile des Körpers und ihre Beziehungen durch "unabhängige" Tupeln verschiedenen Typs dargestellt

Schema:

```
BREP (BID, ...)  
FLÄCHE (FID, ..., BID)  
FK-KA (FID, KID)  
KANTE (KID, K-LÄNGE, ...)  
KA-PKT (KID, PID, ...)  
PUNKT (PID, X, Y, Z, ...)  
...
```

- **Operationen**

Anfrage: alle Punkte, die zum Bauteil 7853 gehören und Kanten mit einer Länge von mehr als 10 Einheiten begrenzen

```
SELECT PID, X, Y, Z  
FROM PUNKT  
WHERE PID IS IN  
  
  (SELECT PID FROM KA-PKT  
   WHERE KID IS IN  
  
     (SELECT KID FROM KANTE  
      WHERE K-LÄNGE > 10  
      AND KID IS IN  
  
        (SELECT KID FROM FK-KA  
         WHERE FID IS IN  
  
           (SELECT FID  
            FROM FLÄCHE  
            WHERE BID = 7853)))));
```

Darstellung im Relationenmodell (2)

- **Operationen (2)**

- Bohrung an einem Werkstück anbringen:
„Subtraktion“ eines Zylinders vom bisher konstruierten Körper

- **Fazit**

- Komplexes Objekt durch heterogene Tupelmengemenge verkörpert.
In vielfältiger Weise über Wertegleichheit von Attributen verknüpft
- „Atomisierte“ Sicht einzelner Tupeln
- Verlorengegangen:
ganzheitliche Sicht des 3D-Körpers und
die Möglichkeit seiner integrierten Behandlung
 - Objektzugriff (Folge komplexer Verbundoperationen),
 - Kontrolle von Integritätszusicherungen,
 - Objektmanipulationen gemäß dem (semantisch weit höheren) Anwendungsmodell müssen mit den verfügbaren Operationen des Relationenmodells nachgebildet werden.

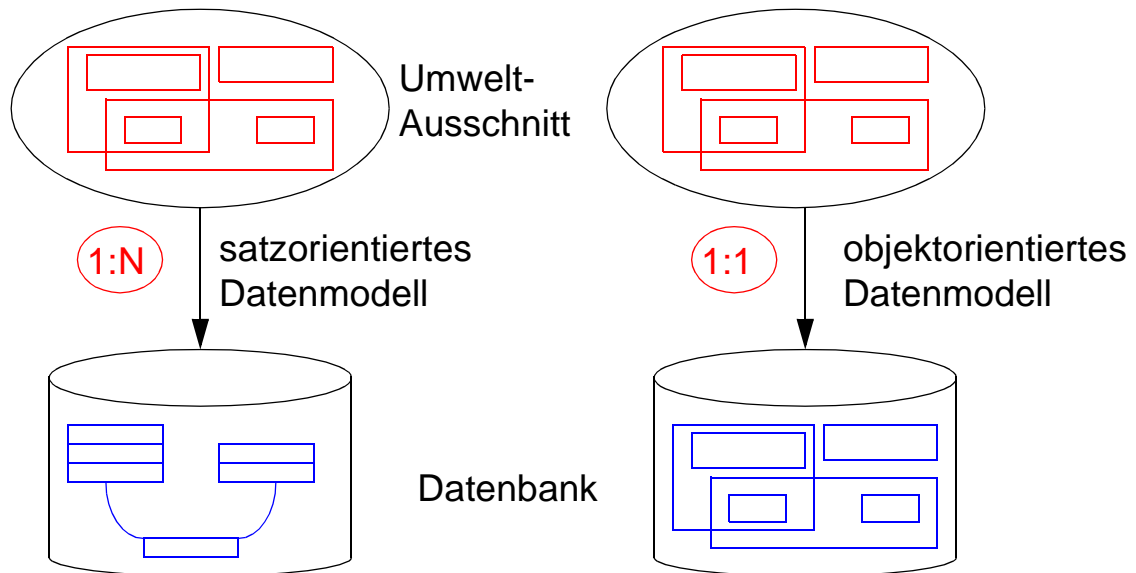
➔ **Oft Tausende von Operationen!**

- Unnatürliche Präsentation/Ausgabe komplexer Objekte
 - Ergebnis ist riesige Tabelle (oder mehrere) mit enormer Redundanz –
wo eine Sammlung verschiedener Tupel benötigt wird
 - Anwendung muss Beziehungen der Objektstruktur auswerten

➔ **Strukturierte Ausgabe ist im RM nicht möglich!**

Objektorientierung bei DBS

- Kernidee



- Speicherung und Suche von Objekten?
- Wirkung von Aktualisierungsoperationen?
 - Einfügen
 - Löschen
 - Kopieren, ...
- Erhaltung der Konsistenz?
- Leistungsaspekte?

Definition eines objektorientierten DBS²

- **OODBS muss zwei Kriterien erfüllen**

- Es muss ein DBS sein.
- Es muss ein objektorientiertes System sein.

- **DBS-Aspekte:**

- Persistenz (Dauerhaftigkeit von Daten über Programmausführung hinaus)
- Sehr große Datenmengen (d. h. Zwang zur Verwendung von Externspeichern)
- Synchronisation (d. h. Mehrbenutzerbetrieb)
- Logging und Recovery (Datensicherung und -wiederherstellung)
- Deskriptive Anfragesprache (Ad-hoc-Anfragen)

- **OOS-Aspekte:**

- Grundkonzepte der Objektorientierung**

- Objektidentität
- Direkte Darstellung Komplexer Objekte
- Datenkapselung
- Typen oder Klassen, Typ-/Klassenhierarchien
- Vererbung
- Erweiterbarkeit (neue Typen, nicht unterscheidbar von systemdefinierten Typen)
- Polymorphie: Überladen (overloading) und spätes Binden
- Volle Berechenbarkeit (Mächtigkeit einer Programmiersprache)

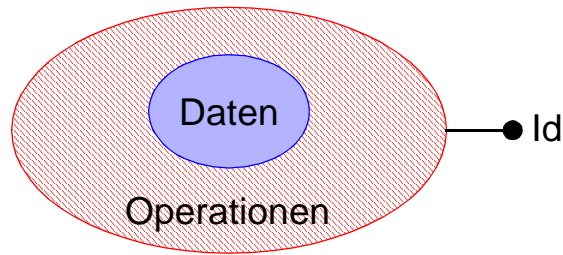
- **Wahlweise Aspekte:**

- Mehrfach-Vererbung, Typprüfung und -herleitung,
- Verteilung, Lange Transaktionen

2. M. P. Atkinson, et. al: „**The Object-Oriented Database System Manifesto**“, in: Won Kim, Jean-Marie Nicolas, and Shojiro Nishio (eds.), Proc. First Intl. Conf. on Deductive and Objekt-Oriented Databases, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1989.

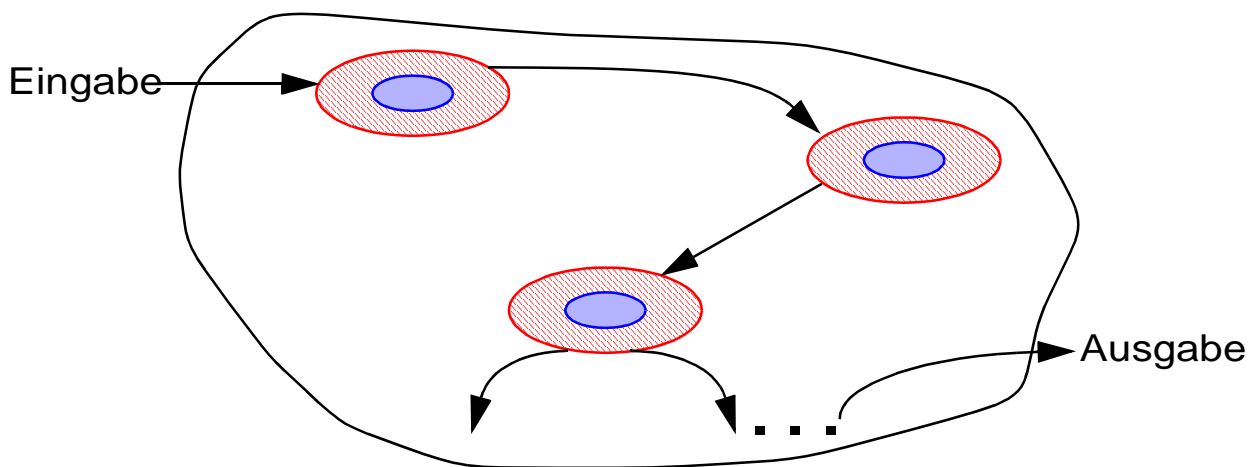
Fundamentale Idee

- „Alles“ ist ein Objekt?



- **Objekteigenschaften**

- Objekte haben einen Identifikator
- Objekte haben einen internen Zustand, beschrieben durch Attribute (Variable, Slots, . . .)
- Objekte haben eine Schnittstelle zur externen Welt, definiert durch die Menge an Operationen
- Objekte kommunizieren über Nachrichten



- **Verarbeitungsaspekte**

- Suchen/Aktualisieren durch Methodenaufrufe
- Integritätskontrolle
- Autorisierung/Zugriffskontrolle

➔ **Ist diese Sichtweise bei DBS angemessen?**
(Deskriptivität, Mengenorientierung, Wertbezug usw.)

Objektidentität

- **Objektidentität**

- keine anwendungsspezifischen Werte (wie im RM)
- Identitätskonzept des Relationenmodells zu schwach (identity thru contents)
- sondern durch eindeutige Objekt-Identifikatoren (Surrogate)

- **Objekt-Identifikatoren (OIDs, Surrogate)**

- tragen keine Semantik (\leftrightarrow Primärschlüssel im RM)
- während der Objektlebensdauer konstant
- üblicherweise systemverwaltet

- **Eigenschaften/Konsequenzen**

- Existenz des Objektes ist unabhängig von seinem Objektzustand
 - Änderungen beliebiger Art (auch des Primärschlüssels im RM) ergeben *dasselbe* Objekt
- Identität \neq Gleichheit (beides ist ausdrückbar)
 - Objekte können **identisch** (dasselbe Objekt) oder **gleich** (derselbe Wert) sein
- OID zur Darstellung von Referenzen/Beziehungen
 - Realisierung gemeinsamer Teilobjekte ohne Redundanz möglich (referential sharing)
 - keine irreführenden Referenzen auf Objekte

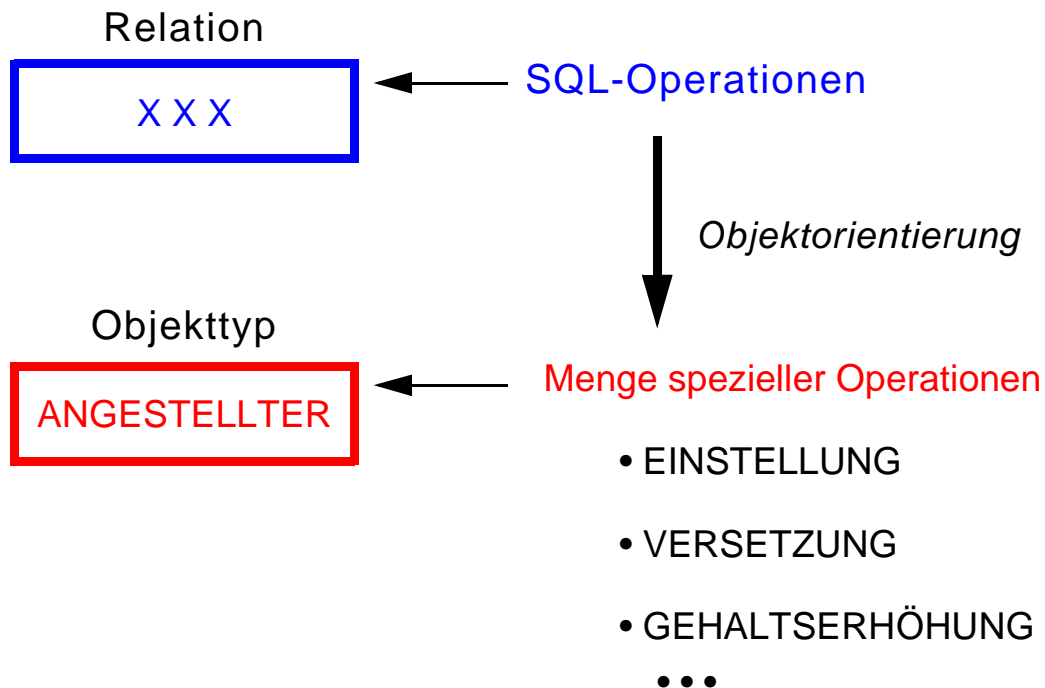
Komplexe (strukturierte) Objekte

- **Anwendung von Typkonstruktoren –**
Wünschenswerte Konstruktoren:
 - ARRAY-Konstruktor (VECTOR)
 - RECORD / TUPLE
 - LIST / SEQUENCE
 - SET
 - MULTISSET / BAG
- **Eigenschaften:**
 - Orthogonalität der Konstruktoren
 - beliebige (rekursive) Kombination von Konstruktoren zum Aufbau komplex strukturierter Objekte
 - Operationen zur Verarbeitung der (beliebig) strukturierten Objekte
- **Ein OODBS sollte wenigstens unterstützen:**
 - die Typkonstruktoren TUPLE, LIST und SET und
 - ihre beliebige Kombination

ADTs / Kapselung – Beispiele

- Objektebene

- Unterschied zum RM



- Attributebene: Erzeugung problembezogener Datentypen

mit zugeschnittenen Operatoren und Funktionen

Beispiel: ADT 'DATE', Operator '–'

	Normalfall	Finanzwelt
15. April – 15. März	31	30
15. März – 15. Febr.	28	30

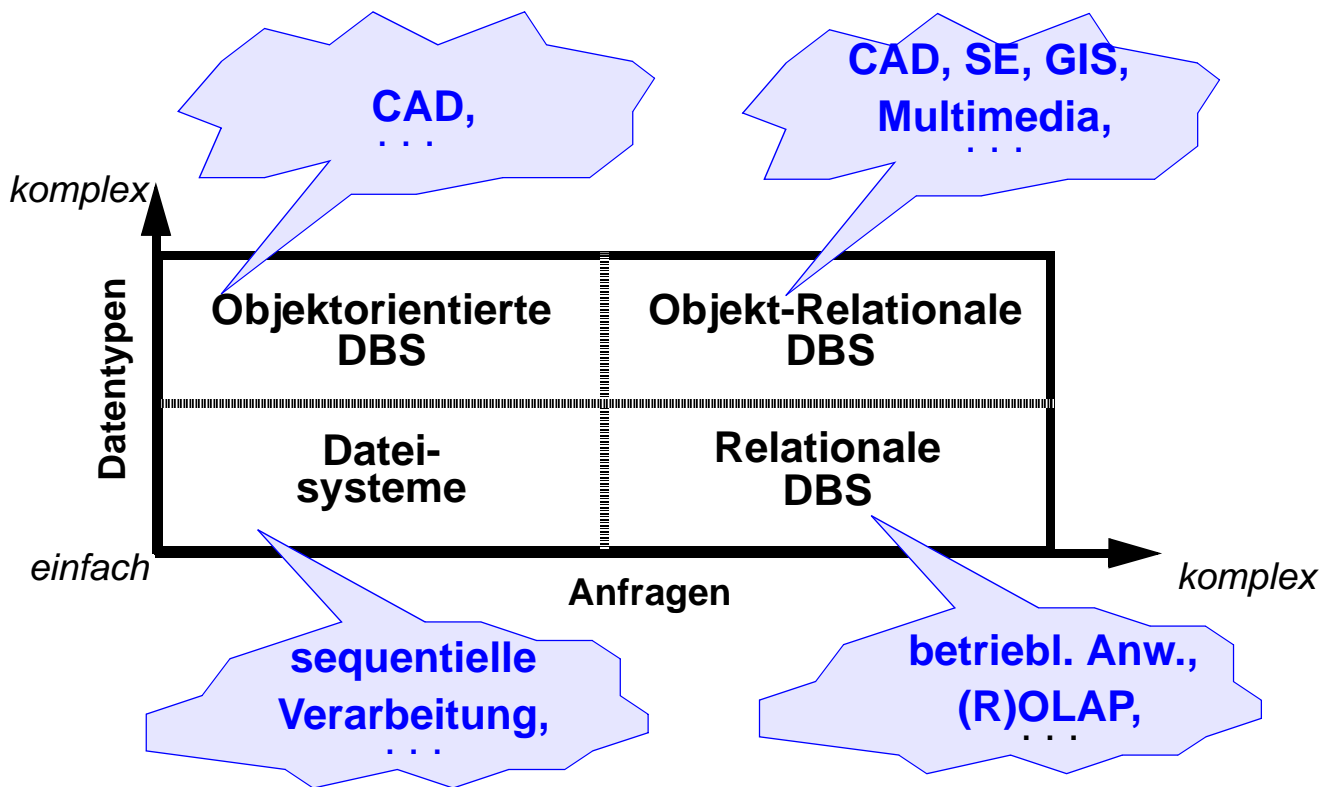
SELECT 'Beschäftigungsdauer:', HEUTE () – P.EDATUM
FROM PERS P

- erhöhte Datenunabhängigkeit

- Verwaltung der Funktionen im DBS (stored procedures)

➔ **reduzierter Kommunikationsaufwand mit DBS**

Objekt-Relationale DBS – Vision



- **Erwünschte Eigenschaften von Objekt-Relationalen DBS (ORDBS)**

- **Eigenschaften von RDBS**

- + ADTs/Kapselung
- + Klassen, Vererbung
- + mengenwertige Attribute, OIDs/Referenzen
- + benutzerdefinierte Funktionen
- + navigierende, prozedurale Verarbeitung
- + Multimedia-Integration
- + Erweiterbares Typsystem und Erweiterungsinfrastruktur
- + Client/Server-Verarbeitung
- + Offenheit
- + ... ?

- **Integration**

(Leistungsverhalten, Skalierbarkeit, Bereitstellung auf Client)?

Objekt-Relationale DBS – Entwicklungstrend

Daten- strukturen	komplex	OODBS	Universal Server
	einfach	Dateisysteme Video-Server	
		einfach	komplex
Anfragen			

- **DBS**, die VITA-Daten (*Video, Image, Text, Audio*) handhaben können, werden auch **Universal Server** genannt; viele Erweiterungen (*spatial types, time series, ...*) werden laufend entwickelt
- **Erweiterbare DBS erfordern erweiterbare Konzepte**
 - Integration von AW-Funktionen (in 3GL) in den DB-Server (Weiterentwicklung des Konzeptes der Stored Procedures)
 - Benutzung einer CALL-Schnittstelle oder von eingebettetem SQL
 - C++-Programmierer können Klassenbibliotheken heranziehen
 - Window-Technik zusammen mit OLE wird unterstützt
 - 4G-Sprachen (z. B. NewEra) lassen sich erweitern mit C++ and OLE
 - Plattformunabhängigkeit lässt sich durch Web-Applikationen erzielen
 - Java-Client-Applikationen können für sich Anwendungscode in Form von Java-Applets aus dem Web laden
 - Java-Applets werden in Intranets oder im Internet gespeichert
 - Applets laufen als Client-Applikationen ab
- **Wettbewerber**
 - Oracle 11i, Informix Dynamic Server, IBM DB2 Universal Database V8.2
 - Sybase Adaptive Server, CA Associates (OpenIngres ++?)
 - SAG (Adabas D++), Microsoft SQLServer, . . .

Objekt-Relationale DB-Konzepte: Motivation

- **Relationale Datenbankverwaltungssysteme bieten**

- eine Menge von Datentypen, um Anwendungsdaten darstellen zu können
- eine Menge von Operationen, um diese Datentypen manipulieren zu können

- **Beispiele:**

Datentypen

Funktionen

INTEGER

+, -, *, /, AVG, SUM, ...

CHARACTER

Manipulation von Zeichenketten:
suchen, anfügen, ...

DATE

Tag, Monat, Jahr, +, -, ...

- **Neue Anwendungen erfordern neue Datentypen und Funktionen!**

- **Beispiele:**

Datentypen

Funktionen

TEXT

Volltextsuche,
Rechtschreibkorrektur, ...

POLYGON

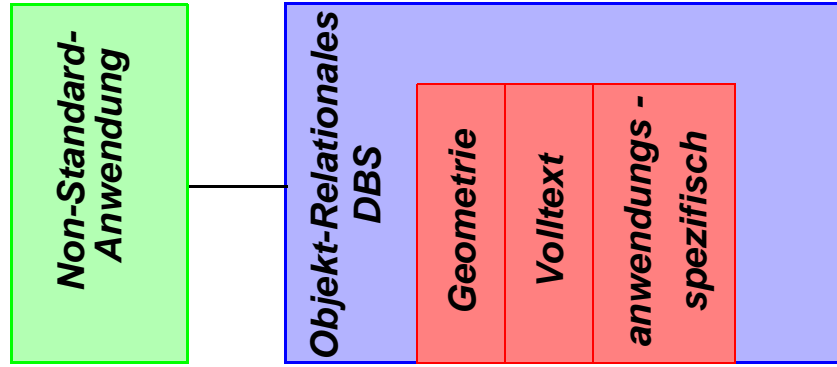
Durchmesser, Schnitt
von Polygonen, Fläche, ...

RASTER

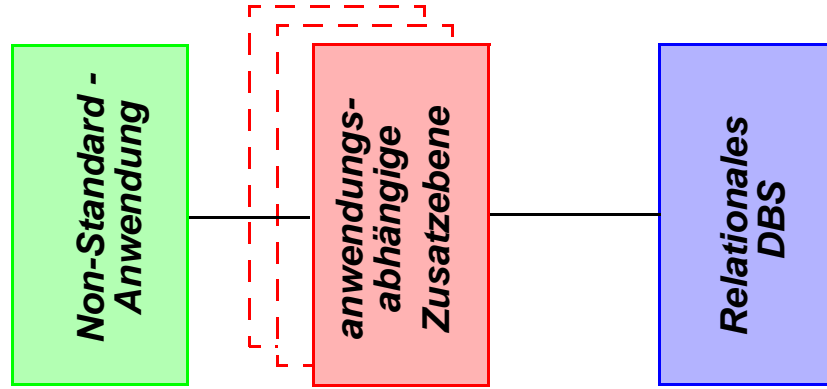
Konversion zwischen
Formaten, Farbanalyse

Drei verschiedene DBS-Architekturen

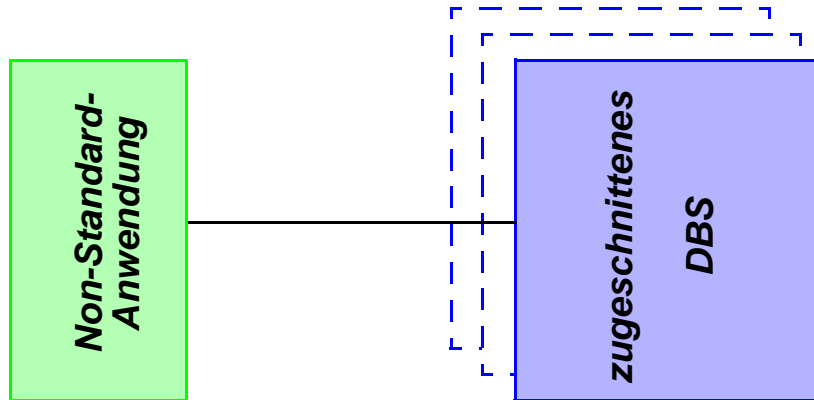
Erweiterbares DBS



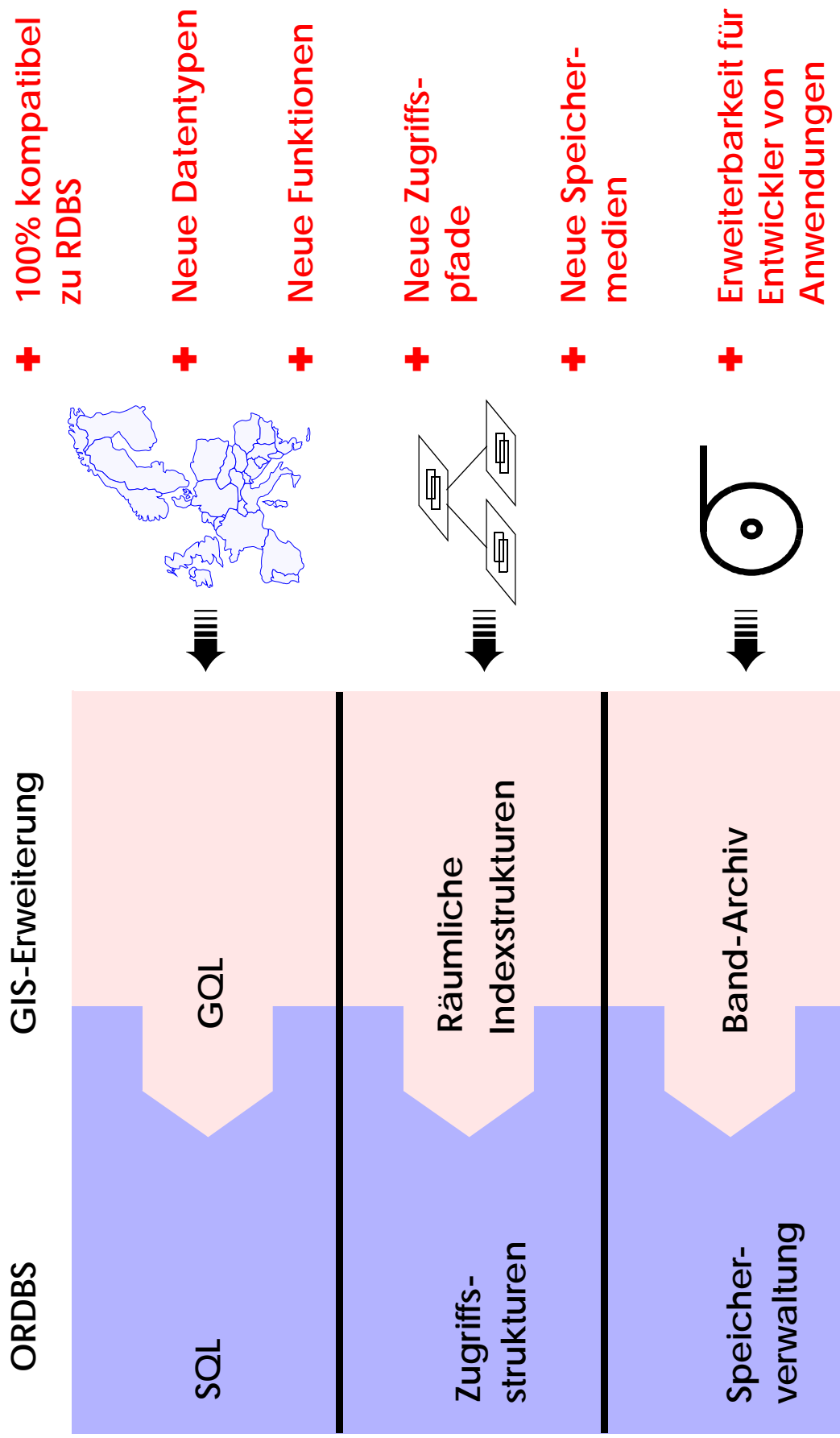
DBS mit Zusatzebene



Spezial-DBS



Objekt-Relationale DB-Technologie am Beispiel Geographische Informationssysteme (GIS)



Objekt-Relationale DB-Technologie

- **Funktionalität wird derzeit im wesentlichen durch den Standard SQL:1999 beschrieben**
- **Erhöhung der Anfragemächtigkeit**
 - Allgemeine Tabellenausdrücke
 - Rekursion
 - Große Objekte
- **Unterstützung von benutzerdefinierten Typen (UDT) bzw. Objektorientierung**
 - komplexe Datenstrukturen mit
 - komplexer Funktionalität definierbar
 - Vererbungshierarchie
 - . . .

➔ **Repräsentation von Anwendungswissen im DB-System (Klassen-Bibliotheken)**
- **Erweiterung von herkömmlichen Tabellen**
 - komplexe Spalten (Attribute, Wertebereiche)
 - Schachtelung
 - Referenzierung/Dereferenzierung
 - Tabellen mit Typbindung (typed tables) und Tabellenhierarchien
 - . . .
- **Erweiterungsinfrastruktur**
 - benutzerdefinierte Datentypen und Funktionen lassen sich in das ORDBS integrieren und sind in SQL nutzbar
 - Unterstützung durch spezielle Zugriffspfade und Speicherungsstrukturen
 - Integration mit DBS-Komponenten wie Anfrageoptimierer, Synchronisation, Logging und Recovery

Standardisierung von SQL

- **Standardisierung durch ISO JTC 1/SC 32/WG 3 DBL**

SC 32: Data Management and Interchange

WG 3: Database – Rapporteur Groups

DBL: Database Languages

- **Geschichte der SQL-Normung:**

SQL-86	ISO 9075	1987
SQL-89	ISO/IEC 9075	1989
SQL-92	(SQL2)	ISO/IEC 9075 1992
SQL:1999	(SQL3)	ISO/IEC 9075-1/2 1999
SQL:2003 ³	(SQL4)	ISO/IEC 9075-1/2 2003

(IEC= Intl. Electrotechnical Commission)

- **Arbeit seit 1990 an SQL:1999**

- weitreichende Erweiterung von SQL-92

- **Parallel dazu: vorbereitende Arbeiten an SQL:200n seit 1996**

3. Information Technology – Database Language SQL - Part 1 and Part 2: Framework (for SQL:200n) and Foundation (SQL:200n), International Standard, Dezember 2003 (www.jtc1sc32.org)

SQL:1999 als richtungsweisender DB-Standard

- **Standardisierungsprozess**

- Teilnehmer: DB-Hersteller und Anwender, mehr als 20 Länder, ANSI
- Konsens zwischen Teilnehmern wird angestrebt

- **SQL:1999 hat mehrere Teile**

- SQL/Foundation (Part 2), SQL/CLI (Part 3), SQL/PSM (Part 4)
- SQL/Language Bindings (Part 5), **SQL/MED** (Mgmt. of External Data) (Part 9)
- SQL Object Language Bindings (Part 10)
- SQL/JRT (Part 13), . . .
- für SQL:200n zusätzlich noch: SQL/Schemata (Part11), SQL/XML (Part 14)

- **Weiterer auf SQL:1999 aufbauender Standard:**

- SQL Multimedia and Application Packages (SQL/MM)**

- Framework, Full-Text
- Spatial, Still Image
- Data Mining

SQL als Datenbanksprache: DDL, DML, DCL

- **DDL: Definition von Daten**

Wie sehen die Daten der Anwendung aus?

- **DML: Manipulation von Daten**

Wie können die Daten abgefragt und manipuliert werden?

- **DCL: Kontrolle des Datenbankzugriffs**

Wer hat Zugriff auf welche Daten?

- **Administration von Datenbanken**

Leistung des Systems, ...

Objekt-Relationale Anfragemöglichkeiten – Beispiel

- **Integrierte Suche über Inhalt**

- SQL ermöglicht den einheitlichen Zugriff auf herkömmliche und neue Datentypen
- Eine Anfrage kann sich auf ALLE Datentypen zugleich erstrecken
- Es können dabei benutzerdefinierte Datentypen und Funktionen ausgenutzt werden

- **Intuitives Anfragebeispiel**

„Finde die Kunden und ihre Versicherungsnummern, die Unfälle hatten, wobei Motorhauben von roten Autos schwer beschädigt wurden und die sich innerhalb von 5 km von Ausfahrten der Autobahn 61 ereigneten“

SELECT Kundenname, Versicherungsnummer

FROM Unfälle U, Autobahnausfahrten A

WHERE **CONTAINS**(U.Bericht, “Schaden”

Textdaten

IN SAME SENTENCE AS

“schwer” **AND** (“Motorhaube” **OR** “Blech”))

AND A.Nummer = 61

herkömmliche Attribute

AND **SCORE**(U.Bild, “rot”) > 0.6

Bilddaten

AND **DISTANCE**(A.Ausfahrt, U.Ort) < km (5);

räumliche Daten

Allgemeine Tabellenausdrücke

- Gegeben: Pers (Pnr, Anr, Mnr, Gehalt, Bonus)
- Q1: Finde Abteilung (Anr) mit höchster Gehaltssumme
- Versuch einer Lösung für Q1

```
CREATE VIEW Gehaltsliste (Anr, Gesamt) AS
  SELECT Anr, SUM (Gehalt) + SUM (Bonus)
  FROM Pers
  GROUP BY Anr;
```

- Viele DBS erlauben auch komplexe Anfragen auf Sichten (ggf. über eine Sichtenmaterialisierung)
- Beispiel:

Gehaltsliste	Anr	Gesamt
	K03	389 K
	K51	794 K
	K55	1012 K

- **Referenz auf Sicht**

```
SELECT Anr, Gesamt
FROM Gehaltsliste
WHERE Gesamt = (SELECT MAX(Gesamt) FROM Gehaltsliste);
```

- Sicht muss nur für die Anfrage im Systemkatalog angelegt und wieder gelöscht werden
 - ➔ Umständliche Vorgehensweise
- Gibt es, auch für die mehrfache Verwendung von Sichten, bessere Lösungen?

Allgemeine Tabellenausdrücke (2)

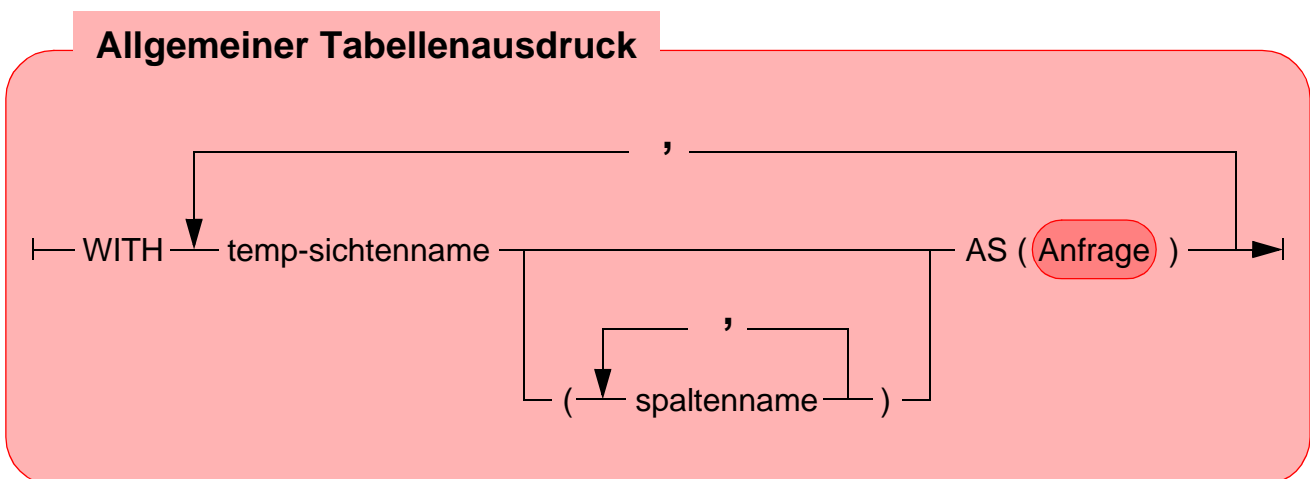
- **Geschlossene Lösung für Q1**

```
SELECT Anr, Gesamt
FROM ( SELECT Anr, SUM (Gehalt) + SUM (Bonus) AS Gesamt
      FROM Pers
      GROUP BY Anr) AS Gehaltsliste1

WHERE Gesamt =
      ( SELECT MAX (Gesamt)
        FROM ( SELECT Anr, SUM (Gehalt) + SUM (Bonus) AS Gesamt
              FROM Pers
              GROUP BY Anr) AS Gehaltsliste2);
```

- Derselbe Tabellenausdruck wird in einer Anfrage mehrfach ausgewertet
- Auswertung erfolgt unabhängig, was zu Inkonsistenzen führen kann (bei einer Konsistenzstufe schwächer als „Repeatable Read“)

- **Neues Konzept**



- erlaubt mehrfache Referenz, ohne eine Sicht materialisieren zu müssen
 - ➔ **Allgemeiner Tabellenausdruck definiert eine oder mehrere Sichten für die Verarbeitung der SQL-Anweisung**

Allgemeine Tabellenausdrücke (3)

- **Neuformulierung von Q1**

```
WITH Gehaltsliste (Anr, Gesamt) AS  
  ( SELECT Anr, SUM (Gehalt) + SUM (Bonus)  
    FROM Pers  
    GROUP BY Anr)
```

```
SELECT Anr, Gesamt  
FROM Gehaltsliste  
WHERE Gesamt =  
  ( SELECT MAX (Gesamt)  
    FROM Gehaltsliste);
```

- einmalige Auswertung der Sicht, Optimierung durch das DBS

- **Größere Flexibilität**

- Explizite Sichten sind im Systemkatalog „kontextlos“ definiert und erlauben keine Parametrisierung
- WITH-Sichten sind im Kontext einer SQL-Anweisung definiert
 - Parametrisierung möglich, z. B. alle Abteilungen kleiner x
- Wann werden die Wirtsvariablen gebunden?
- Verbunde und Selbstverbunde sind möglich
(Abteilungen mit mehr als der doppelten Gehaltssumme als andere)

Rekursion

- **Was ist rekursives SQL?**

- Ein allgemeiner Tabellenausdruck ist rekursiv, falls er in seiner Definition (WITH-Klausel) auf sich selbst Bezug nimmt
- Einsatz von selbstreferenzierenden Tabellenausdrücken
 - bei temporären und permanenten Sichten
 - bei INSERT-Anweisungen

- **Warum nutzt man Rekursion in SQL?**

- **deskriptive und mengenorientierte Formulierung**
 - Gewinn an Ausdrucksmächtigkeit
 - verbessertes Leistungsverhalten
- **Traversierung von Baum- und Netzwerkstrukturen**
 - Stücklistenauflösung
 - Wegesuche in Graphen

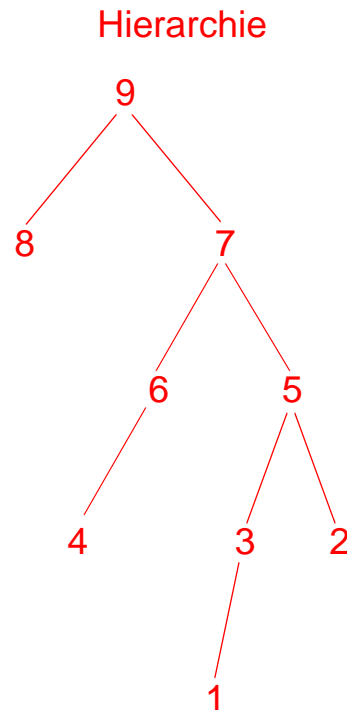
- **Integration in SQL**

- Syntax analog zu DataLog
- lineare Rekursion, verschränkte Rekursion
- Graphtraversierung mit „depth first“ oder „breadth first“ möglich
- **Herausforderungen**
 - Integration mit verschiedenen Verbundoperationen
 - Zulassung von Duplikaten
 - Zykluskontrolle

Rekursion (2)

- **Beispiel**

Pers	Pnr	Gehalt	Mnr
	9	180 K	–
	8	110 K	9
	7	70 K	9
	6	120 K	7
	5	50 K	7
	4	150 K	6
	3	90 K	5
	2	50 K	5
	1	110 K	3



- **Q2: Finde alle Angestellten, deren direkter Manager MNR = 7 hat und die mehr als 100 K verdienen**

```
SELECT Pnr, Gehalt
FROM Pers
WHERE Mnr = 7 AND Gehalt > 100 K;
```

- **Q3 mit Erweiterung: Manager mit MNR = 7 kann höherer Manager sein**

- **Lösungsstrategie**

- Bilde anfängliche Sicht mit direkten Untergebenen (initial subquery)
- Erweitere diese Sicht rekursiv um die Untergebenen der Untergebenen solange, bis keine Untergebenen mehr hinzukommen (rekursive subquery)
- **UNION ALL** erlaubt die rekursive Ausführung

Rekursion (3)

- Lösung für Q3**

```

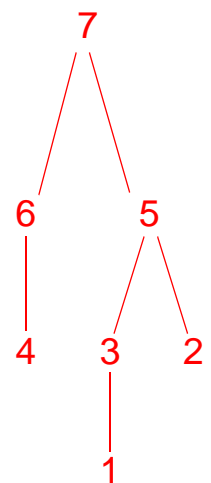
WITH RECURSIVE Untergebene (Pnr, Gehalt) AS
  ( ( SELECT Pnr, Gehalt
    FROM Pers
    WHERE Mnr = 7)
  UNION ALL
  ( SELECT P.Pnr, P.Gehalt
    FROM Untergebene AS U, Pers AS P
    WHERE P.Mnr = U.Pnr) )

SELECT Pnr
FROM Untergebene
WHERE Gehalt > 100 K;
  
```

- Auswertung**

Pers	Pnr	Gehalt	Mnr
	9	180 K	–
	8	110 K	9
	7	70 K	9
	6	120 K	7
	5	50 K	7
	4	150 K	6
	3	90 K	5
	2	50 K	5
	1	110 K	3

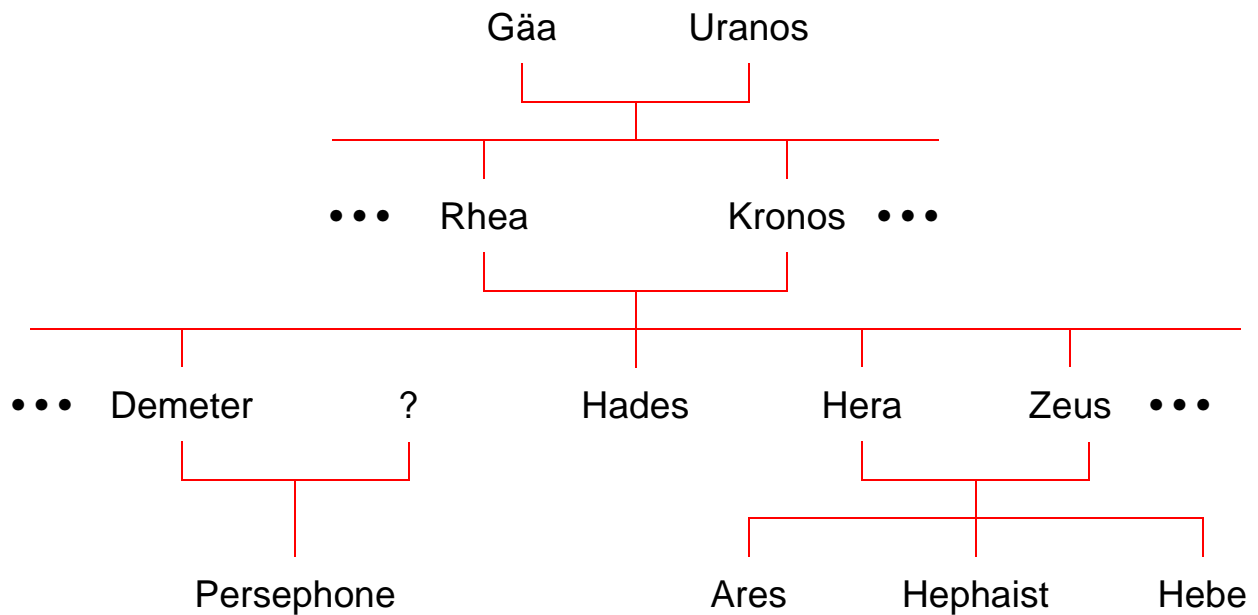
Untergebene	Pnr	Gehalt
	6	120 K
	5	50 K
	4	150 K
	3	90 K
	2	50 K
	1	110 K



Ergebnis	Pnr

Rekursion (4)

- Weltausschnitt



- Q4: Finde alle Vorfahren

Gegeben: Eltern (Kind, Elternteil)

Gesucht: Vorfahren (Kind, Vorfahr)

WITH RECURSIVE Vorfahren (Kind, Vorfahr) AS

((SELECT Kind, Elternteil FROM Eltern)

UNION ALL

(SELECT V.Kind, E.Elternteil

FROM Vorfahren AS V, Eltern AS E

WHERE V.Vorfahr = E.Kind))

SELECT *

FROM Vorfahren;

Rekursion (5)

- **Rekursive Sicht**

Verwendung einer rekursiven Anfrage innerhalb von CREATE VIEW

- **Q5: Finde alle Vorfahren von Ares (als rekursive Sicht Ahnen)**

```
CREATE VIEW Ahnen (Kind, Vorfahr) AS
  WITH RECURSIVE Vorfahren (Kind, Vorfahr) AS
  ( ( SELECT Kind, Elternteil FROM Eltern)
  UNION ALL
  ( SELECT V.Kind, E.Elternteil
    FROM Vorfahren AS V, Eltern AS E
    WHERE V.Vorfahr = E.Kind) )
```

```
SELECT *
FROM Vorfahren
WHERE Kind = 'Ares';
```

- Optimierung und Ergebnis

Eltern	Kind	E-teil
	A	H
	A	Z
	H	R
	H	K
	Z	R
	Z	K
	R	G
	R	U
	K	G
	K	U

Rekursion (6)

- **Rekursives Einfügen**

- Ergebnis einer rekursiven Anfrage kann mit INSERT in eine Tabelle eingefügt werden
- Technik zur Erzeugung synthetischer Tabellen

- **Beispiel**

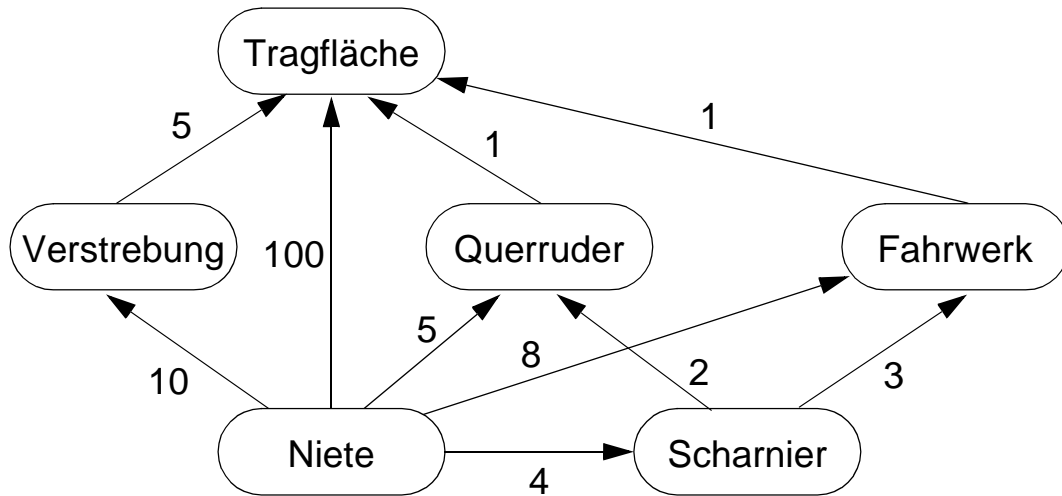
```
CREATE TABLE Zahlen (Zähler Integer, Zufall Integer);
```

```
INSERT INTO Zahlen (Zähler, Zufall)
  WITH RECURSIVE Temp(n) AS
    ( (VALUES (1))
      UNION ALL
      ( SELECT n+1 FROM Temp
        WHERE n < 1000) )
  SELECT n, integer (rand ( ) * 1000)
  FROM Temp;
```

- Ergebnis

Rekursion mit Berechnungen

- Gozinto-Graph



- Q6: Wie viele Nieten werden insgesamt für eine Tragfläche benötigt?

- Abbildung des Gozinto-Graph

Teil (Tnr, Bezeichnung, ...)

Struktur (Otnr,	Utnr,	Anzahl)
T	V	5
T	Q	1
T	F	1
T	N	100
V	N	10
Q	N	5
Q	S	2
F	N	8
F	S	3
S	N	4

Rekursion mit Berechnungen (2)

- **Temporäre rekursive Sicht Tragflächenteile (TFT)**

WITH RECURSIVE Tragflächenteile (Utnr, Anzahl) AS

((SELECT Utnr, Anzahl

FROM Struktur

WHERE Otnr = 'T')

UNION ALL

(SELECT S.Utnr, T.Anzahl * S.Anzahl

FROM Tragflächenteile T, Struktur S

WHERE S.Otnr = T.Utnr));

- **Ableitung von TFT**

Struktur (Otnr, Utnr, Anzahl)

TFT (Utnr, Anzahl)

T V 5

T Q 1

T F 1

T N 100

V N 10

Q N 5

Q S 2

F N 8

F S 3

S N 4

Rekursion mit Berechnungen (3)

- **Q7: Bestimme die Gesamtzahl der Nieten in einer Tragfläche**

```
WITH RECURSIVE Tragflächenteile (Utnr, Anzahl) AS
  ( ( SELECT Utnr, Anzahl
      FROM Struktur
      WHERE Otnr = 'T')
    UNION ALL
    ( SELECT S.Utnr, T.Anzahl * S.Anzahl
      FROM Tragflächenteile T, Struktur S
      WHERE S.Otnr = T.Utnr ) )
```

```
SELECT SUM (Anzahl) AS NAnzahl
FROM Tragflächenteile
WHERE Utnr = 'N';
```

- Ergebnis: NAnzahl

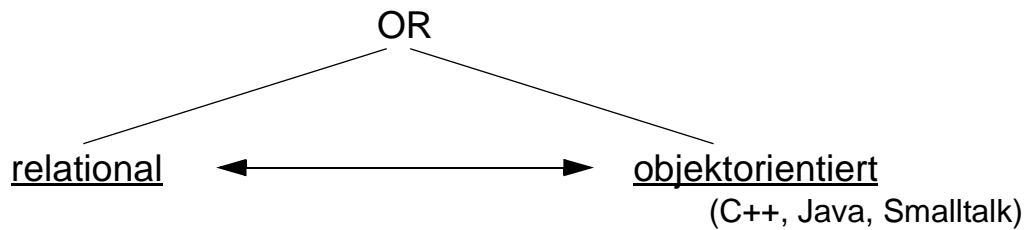
- **Q8: Bestimme alle für eine Tragfläche benötigten Teile, zusammen mit der jeweiligen Anzahl**

```
WITH RECURSIVE Tragflächenteile (Utnr, Anzahl) AS
  ( ( SELECT Utnr, Anzahl
      FROM Struktur
      WHERE Otnr = 'T')
    UNION ALL
    ( SELECT S.Utnr, T.Anzahl * S.Anzahl
      FROM Tragflächenteile T, Struktur S
      WHERE S.Otnr = T.Utnr ) )
```

```
SELECT Utnr, SUM (Anzahl) AS TAnzahl
FROM Tragflächenteile
GROUP BY Utnr;
```

- Ergebnis: Utnr, TAnzahl

Vergleich von Begriffen/Konzepten



Intensional:

- Relationenschema
- Objekttyp

Extensional:

- Relation
- Klasse/Kollektion

Struktur:

- sichtbar im Schema
- unsichtbar:
gekapselt, Signatur

Sprache:

- generische Operationen
(„Insert into Pers“)
- typspezifische Operationen
(„Einstelle Angestellter“)

Identität:

- wertbasiert (Primärschlüssel)
- objektbasiert (OID)

Zugriff:

- mengenorientiert
(n Tupel)
- deskriptiv
(Anfragen über n Relationen)
- n-mengenorientiert
- satzorientiert
(1 Objekt)
- navigierend
(Iterator mit Suchargument)
- 1-mengenorientiert

Zusammenfassung

- **OODM liefern leistungsfähige Konzepte für den Umgang mit komplexen Objekten und mächtigen Operationen**
 - Sie eignen sich für Non-Standard-Anwendungen
 - Es gibt bereits leistungsfähige Implementierungen von OODBS
- **OO-Manifesto ist nicht allgemein anerkannt**
 - Wieviele Eigenschaften sind essentiell?
 - Welche Eigenschaften sind eher ergänzend?
 - ➔ **Es werden noch viele weitere Forderungen gestellt!**
- **Es gibt ein durch SQL:1999 standardisiertes ORDM**
 - Es wurden die wesentlichen OODM-Konzepte übernommen
 - Typkonstruktoren, benutzerdefinierte Typen und Funktionen
 - Typ- und Tabellenhierarchien sowie Referenzen
 - Regelsystem (Triggerkonzept)
 - Erweiterungsinfrastruktur
 - ...
- **Deskriptive Anfragesprache von SQL:1999 ist sehr mächtig**
 - Nutzung von allgemeinen Tabellenausdrücken
 - Einsatz von Rekursion
 - Rekursion mit Berechnungen