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 – Überblick[1]**
- **SQL:1999 – Neue Funktionalität**
- **Unterstützung für LOBs mit Einschränkungen**
  - Auswertung von Prädikaten
  - Verarbeitung und Indexierung
- **Lokator-Konzept**
  - „Verweis” auf in DB gespeicherten LOB
  - Kapselung des Zugriffs
- **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, ... 2006-02-13: >1320 Dokumente

DBS-Markt

Datenstrukturen		Anfragen: einfach	Anfragen: komplex
	komplex	OO n*10^8 $	OR ?
	einfach	Dateisysteme Video-Server	RM (SQL) k*10^{10} $

- **Einfache Daten, einfache Anfragen**
  - Datenstruktur ist dem System nicht bekannt
  - Künftig werden solche Systeme wahrscheinlich mit Anfrage-möglichkeiten (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
- . . .

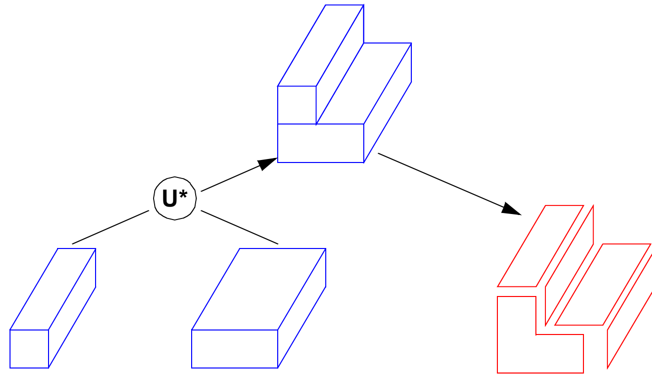
➥ **Wie wirkt sich das bei komplexen Anwendungen aus?**

Beispiel: CAD-Systeme

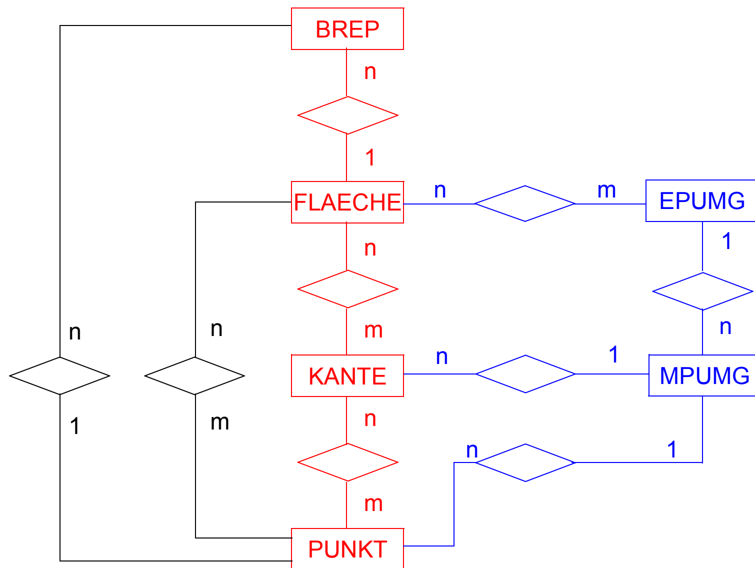
- **Eigenschaften der Daten**
  - Technische Objekte sind i. Allg. **dreidimensional.**
  - Die räumlichen Daten bilden nur einen kleinen, aber wichtigen Teil der Daten des Systems.
  - Die **interaktive Arbeitsweise erfordert einen schnellen Zugriff auf die räumlichen Daten** (Zeichnen am Bildschirm).
  - 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

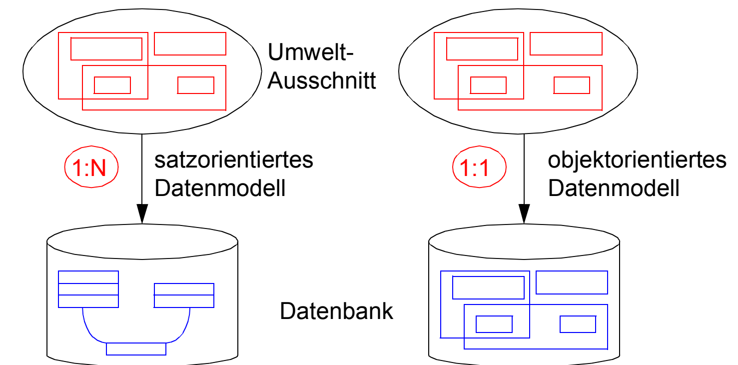
- **Fazit**
  - Komplexes Objekt durch heterogene Tupelmenge verkörpert.
    In vielfältiger Weise über Wertegleichheit von Attributen verknüpft
  - **„Atomisierte” Sicht** einzelner Tupeln
  - Verlorengegangen:
    ganzheitliche Sicht des 3D-Körpers und
    die Möglichkeit seiner integrierten Behandlung
    - **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?**

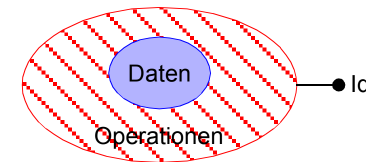
Definition eines objektorientierten DBS[2]

- **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

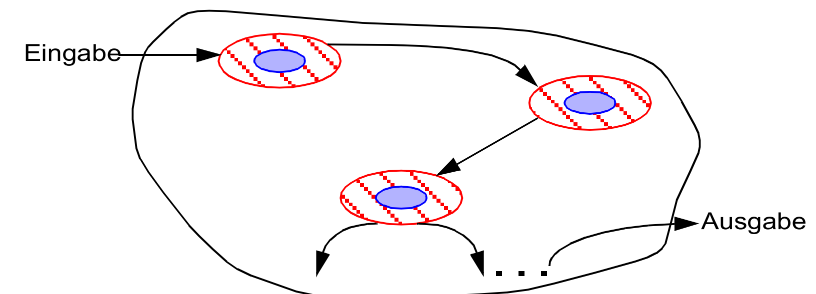
2. M. P. Atkinson, et. al: „The Object-Oriented Database System Manifesto", in: Won Kim, Jean-Marie Nicolas, and Shojiro Nishio (eds.), Proc. First Intl. Conf. on Deductive and Objekt-Oriented Databases, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1989.

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

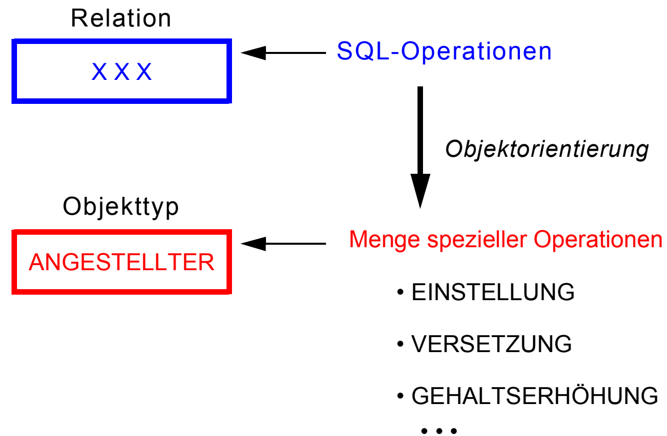
- **Objektidentität**
  - keine anwendungsspezifischen Werte (wie im RM)
  - Identitätskonzept des Relationenmodells zu schwach (identity thru contents)
  - sondern durch eindeutige Objekt-Identifikatoren (Surrogate)
- **Objekt-Identifikatoren (OIDs, Surrogate)**
  - **tragen keine Semantik** (↔ Primärschlüssel 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
  - Identitaet ≠ 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
  - MULTISET / 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

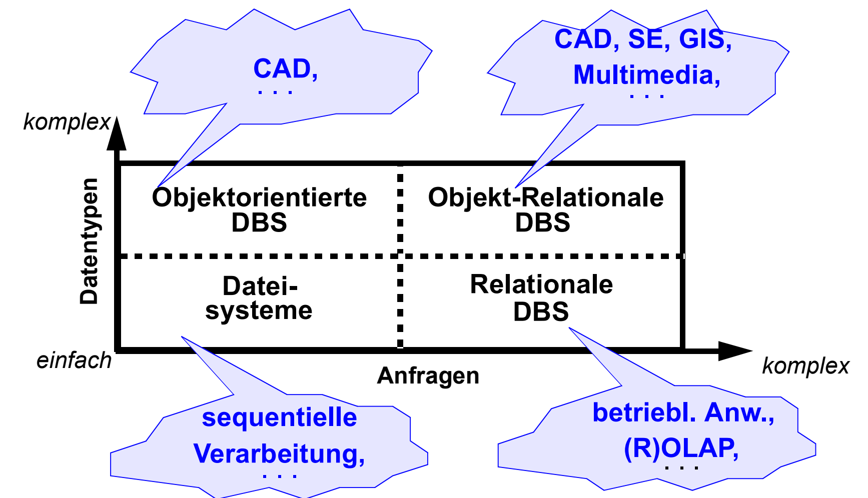
Beispiel: ADT 'DATE' , Operator '–'

	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

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

- **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
  - 4G-Sprachen (z. B. NewEra) lassen sich erweitern mit C++ und 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 (10g Express Edtion für Studenten), Informix Dynamic Server, IBM DB2 Univ. Database V8.2 (5 Produktlinien u. a. Enterprise Server Edition
  - Sybase Adaptive Server, CA Associates (OpenIngres ++?)
  - SAG (Adabas D++), Microsoft SQLServer, . . .

Objekt-Relationale DB-Konzepte: Motivation

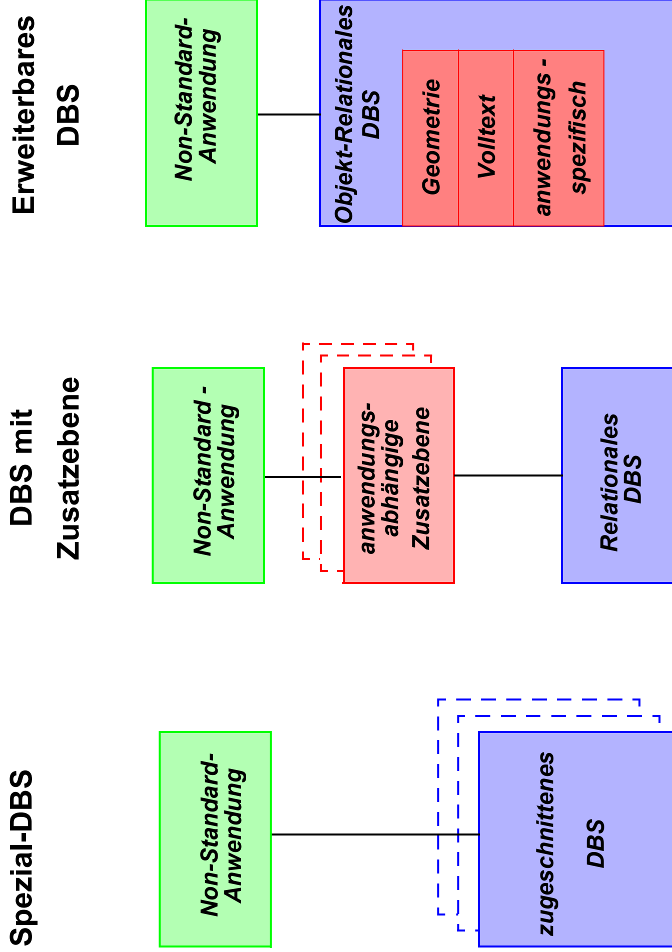
- **Relationale Datenbankverwaltungssysteme bieten**
  - eine Menge von Datentypen, um Anwendungsdaten darstellen zu können
  - eine Menge von Operationen, um diese Datentypen manipulieren zu können
- **Beispiele:**

Datentypen	Funktionen
INTEGER	+, - , *, /, AVG, SUM, ...
CHARACTER	Manipulation von Zeichenketten: suchen, anfügen, ...
DATE	Tag, Monat, Jahr, +, -, ...

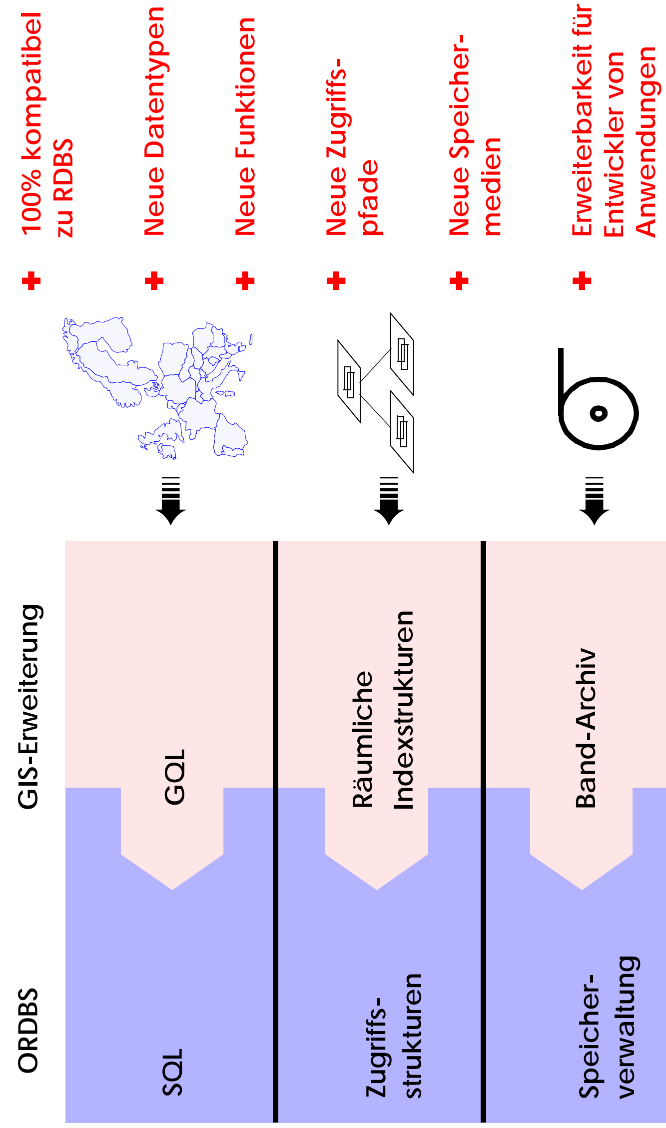
- **Neue Anwendungen erfordern neue Datentypen und Funktionen!**
- **Beispiele:**

Datentypen	Funktionen
TEXT	Volltextsuche, Rechtschreibkorrektur, ...
POLYGON	Durchmesser, Schnitt von Polygonen, Fläche, ...
RASTER	Konversion zwischen Formaten, Farbanalyse

Drei verschiedene DBS-Architekturen



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:2003 seit 1996 und jetzt an SQL:2007**

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
```

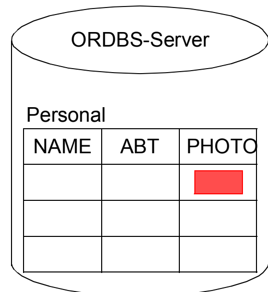
Große Objekte

- **Anforderungen**
  - idealerweise keine Größenbeschränkung
  - allgemeine Verwaltungsfunktionen
  - zugeschnittene Verarbeitungsfunktionen, . . .

- **Beispiele für große Objekte (heute bis n (=2) GByte)**
  - Texte, CAD-Daten
  - Bilddaten, Tonfolgen
  - Videosequenzen, . . .

- **Prinzipielle Möglichkeiten der DB-Integration**

Speicherung als LOB in der DB (meist indirekte Speicherung)

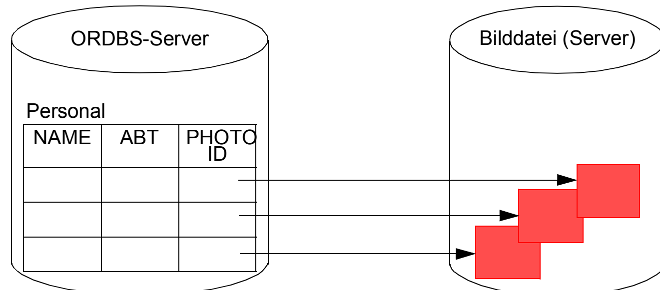


BLOB - *Binary Large Object für Tonfolgen, Bilddaten usw.*

CLOB - *Character Large Object für Textdaten*

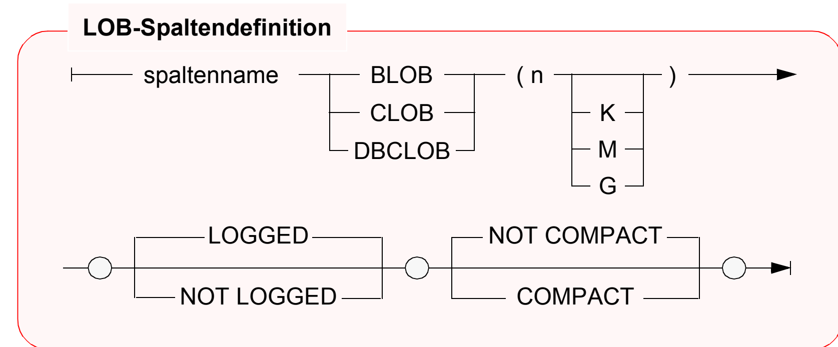
DBCLOB - *Double Byte Character Large Object (DB2) für spezielle Graphikdaten usw.*

Speicherung mit DataLinks-Konzept in externen Datei-Servern



Große Objekte (2)

- **Erzeugung von LOB-Spalten**[4]



- **Beispiele**

```
CREATE TABLE      Absolvent
  (Lfdnr          Integer,
  Name            Varchar (50),
  . . .
  Photo           BLOB (5 M) NOT LOGGED COMPACT,        -- Bild
  Lebenslauf      CLOB (16 K) LOGGED NOT COMPACT);      -- Text

CREATE TABLE      Entwurf
  (Teilnr         Char (18),
  Änderungsstand  Timestamp,
  Geändert_von    Varchar (50)
  Zeichnung       BLOB (2 M) LOGGED NOT COMPACT);       -- Graphik

ALTER TABLE       Absolvent
  ADD COLUMN      Diplomarbeit CLOB (500 K)
                  LOGGED NOT COMPACT;
```

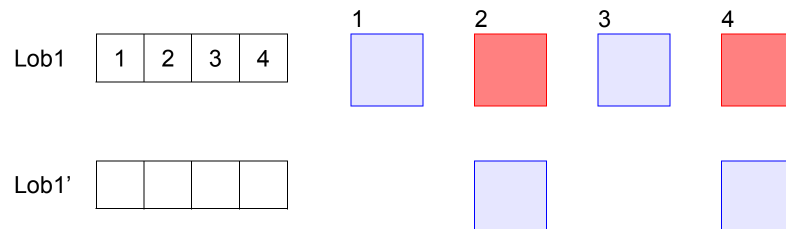
4. Die Realisierungsbeispiele beziehen sich auf DB2 – Universal Database

Große Objekte (3)

- **Spezifikation von LOBs erfordert Sorgfalt**
  - **maximale Länge**
    - Reservierung eines Anwendungspuffers
    - Clusterbildung und Optimierung durch indirekte Speicherung; Deskriptor im Tupel ist abhängig von der LOB-Länge (72 Bytes bei <1K - 316 Bytes bei 2G)
    - bei kleinen LOBs (< Seitengröße) direkte Speicherung möglich
  - **kompakte Speicherung**
    - COMPACT reserviert keinen Speicherplatz für späteres Wachstum

      ➥ Was passiert bei einer LOB-Aktualisierung?
    - NOT COMPACT ist Default
  - **Logging**
    - LOGGED: LOB-Spalte wird bei Änderungen wie alle anderen Spalten behandelt (ACID!)

      ➥ Was bedeutet das für die Log-Datei?
    - NOT LOGGED: Änderungen werden nicht in der Log-Datei protokolliert. Sog. Schattenseiten (shadowing) gewährleisten Atomarität bis zum Commit



➥ Was passiert bei Gerätefehler?

Große Objekte (4)

- **Wie werden große Objekte verarbeitet?**
  - BLOB und CLOB sind keine Typen der Wirtssprache

  ➥ Spezielle Deklaration von BLOB, CLOB, ... durch SQL TYPE ist erforderlich, da sie die gleichen Wirtssprachentypen benutzen. Außerdem wird sichergestellt, dass die vom DBS erwartete Länge genau eingehalten wird.

- **Vorbereitungen im AWP erforderlich**
  - SQL TYPE IS CLOB (2 K) c1 (oder BLOB (2 K)) wird durch C-Precompiler übersetzt in

```
static struct c1_t
    {
    unsigned long length;
    char data [2048];
    } c1;
```

  - Erzeugen eines CLOB

```
    c1.data = ‘Hello’;
    c1.length = sizeof (‘Hello’)-1;
```

  kann durch Einsatz von Makros (z. B. c1 = SQL_CLOB_INIT(‘Hello’);) verborgen werden

- **Einfügen, Löschen und Ändern**
  kann wie bei anderen Typen erfolgen, wenn genügend große AW-Puffer vorhanden sind

- **Hole die Daten des Absolventen mit Lfdnr. 17 ins AWP**

```
. . .
SELECT Name, Photo, Lebenslauf
INTO :x, :y :yindik, :z :zindik
FROM Absolvent
WHERE Lfdnr = 17;
```

Große Objekte (5)

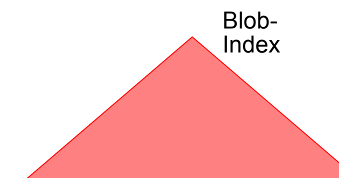
```
void main ( )                                   /*  Beispielprogramm                   */
  {                                             /*  Verarbeitung von Filmkritiken auf  */
                                                /* Tabelle Filme (Titel, Besetzung, Kritik) */
  EXEC SQL INCLUDE SQLCA;
  EXEC SQL BEGIN DECLARE SECTION;
      char dbname[9] = "Filmdb";                /*  Name der Datenbank*/
      char msgbuffer[500];                      /*  Puffer für DB2-Fehlermeldungen*/
      char titel[100];                          /*  für Varchar-Daten*/
      SQL TYPE is CLOB (50 K) kritik;           /*  Ausgabe-Clob-Struktur*/
      SQL TYPE is CLOB (50 K) neuekritik;       /*  Eingabe-Clob-Struktur*/
      short indikator1, indikator2;             /*  Indikator-Variable */
  EXEC SQL END DECLARE SECTION;
  EXEC SQL WHENEVER SQLERROR GO TO schlechtenachrichten;
  EXEC SQL CONNECT TO :dbname;

  strcpy (neuekritik.data, "Bullet ist ein ziemlich guter Film.");
  neuekritik.length = strlen (neuekritik.data);
  indikator1 = 0;
  EXEC SQL
      UPDATE Filme
      SET       Kritik = :neuekritik :indikator1
      WHERE   Titel = 'Bullet';
  EXEC SQL COMMIT;
  EXEC SQL DECLARE f1 CURSOR FOR
      SELECT Titel, Kritik
      FROM     Filme
      WHERE   Besetzung LIKE '%Steve McQueen%';
  EXEC SQL WHENEVER NOT FOUND GO TO close_f1;
  EXEC SQL OPEN f1;
  WHILE (1)
      {
      EXEC SQL FETCH f1 INTO :titel, :kritik :indikator2;
      /* Angabe eines eigenen Nullterminierers */
      kritik.data[kritik.length] = '\0';
      printf("\nTitel: %s\n", titel);
      if   (indikator2 < 0)
          printf ("Keine Kritik vorhanden\n");
      else
          printf("%s\n", kritik.data);
      }
  close_f1:
      EXEC SQL CLOSE f1;
      return;
  schlechtenachrichten:
      printf ("Unerwarteter DB2-Return-Code.\n");
      sqlaintp (msgbuffer, 500, 70, &sqlca);
      printf ("Message: &s\n", msgbuffer);
      }   /* End of main */
```

Große Objekte (6)

- **Welche Operationen können auf LOBs angewendet werden?**
  - Vergleichsprädikate: =, <>, <, <=, >, >=, IN, BETWEEN
  - LIKE-Prädikat
  - Eindeutigkeit oder Reihenfolge bei LOB-Werten
    - PRIMARY KEY, UNIQUE, FOREIGN KEY
    - SELECT DISTINCT, . . ., COUNT (DISTINCT)
    - GROUP BY, ORDER BY
  - Einsatz von Aggregatfunktionen wie MIN, MAX
  - Operationen
    - UNION, INTERSECT, EXCEPT
    - Joins von LOB-Attributen
  - Indexstrukturen über LOB-Spalten
- **Wie indexiert man LOBs?**
  - Benutzerdefinierte Funktion ordnet LOBs Werte zu
  - **Funktionswert-Indexierung**

f(blob1) = x



Große Objekte (7)

- **Verarbeitungsanforderungen bei LOBs**
  - Verkürzen, Verlängern und Kopieren
  - Suche nach vorgegebenem Muster, Längenbestimmung
  - Stückweise Handhabung (Lesen und Schreiben), . . .

    ➥ Einsatz von Funktionen bietet manchmal Ersatzlösungen

- **Funktionen für CLOBs und BLOBs**
  - string1 | | string2 oder CONCAT (string1, string2)
  - SUBSTRING (string FROM start [FOR length])
  - LENGTH (expression)
  - POSITION (search-string IN source-string)
  - OVERLAY (string1 PLACING string2 FROM start [FOR length])
  - TRIM ([[{LEADING | TRAILING | BOTH}] [string1] FROM] string2)
  - . . .

Große Objekte (8)

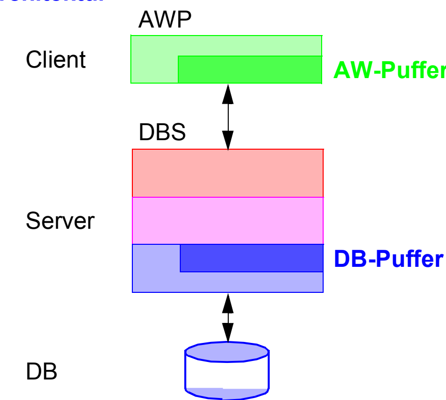
- **Ist die direkte Verarbeitung von LOBs im AWP realistisch?**

```
Bücher
 ( Titel          Varchar (200),
   BNR            ISBN,
   Kurzfassung    CLOB (32 K),
   Buchtext       CLOB (20 M),
   Video          BLOB (2 G))
```

```
EXEC SQL
  SELECT Kurzfassung, Buchtext, Video
  INTO :kilopuffer, :megapuffer, :gigapuffer

  FROM Bücher
  WHERE Titel = ‘American Beauty’
```

- **Client/Server-Architektur**



  - Allokation von Puffern?
  - Transfer eines ganzen LOB ins AWP?
  - Soll Transfer über DBS-Puffer erfolgen?
  - „Stückweise“ Verarbeitung von LOBs durch das AWP erforderlich!

    ➥ Lokator-Konzept für den Zugriff auf LOBs

Lokator-Konzept

- **Ziel**
  - Minimierung des Datenverkehrs zwischen Client und Server:
    Es sollen „stückweise“ **so wenig** LOB-Daten **so spät wie möglich** ins AWP übertragen werden
  - **noch besser:** Bereitstellung von Server-Funktionen
    Durchführung von Operationen auf LOBs durch das DBMS
- **Lokator-Datentyp**
  - Wirtsvariable, mit der ein LOB-Wert referenziert werden kann
    - In C wird long als Datentyp benutzt (4-Byte-Integer)
    - Jedoch Typisierung erforderlich

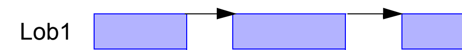
      SQL TYPE IS BLOB_LOCATOR
      SQL TYPE IS CLOB_LOCATOR
  - Identifikator für persistente und flüchtige DB-Daten
- **Anwendung**

```
EXEC SQL BEGIN DECLARE SECTION;
  SQL TYPE IS BLOB_LOCATOR Video_Loc;
EXEC SQL END DECLARE SECTION;
EXEC SQL
  SELECT   Video
  INTO     :Video_Loc
  FROM     Bücher
  WHERE    Titel = ‘American Beauty’
```

  - Ein Lokator kann überall dort eingesetzt werden, wo ein LOB-Wert verwendet werden kann
    - Wirtsvariable (z. B. in UPDATE-Anweisung)
    - Parameter von Routinen
    - Rückgabewerte von Funktionen
  - Wie lange ist eine Lokator-Referenz gültig?

Lokator-Konzept (2)

- **Lokatoren können LOB-Ausdrücke repräsentieren**
  - Innerhalb des DB-Servers entspricht jeder Lokator einer Art „**Rezept**“ zum Zusammenbau eines LOB-Wertes aus an unterschiedlichen Stellen gespeicherten Fragmenten

Lob1 

Lob2

  - Ein LOB-Ausdruck ist ein Ausdruck, der auf eine LOB-Spalte verweist oder einen LOB-Datentyp als Ergebnis hat. Er kann LOB-Funktionen beinhalten.
  - LOB-Ausdrücke können andere Lokatoren referenzieren.
- **Beispiel**

```
SELECT
  SUBSTRING    (Buchtext FROM
     POSITION  (‘Kapitel 1’ IN Buchtext) FOR (
     POSITION  (‘Kapitel 2’ IN Buchtext) –
     POSITION  (‘Kapitel 1’ IN Buchtext)))
INTO     : Kap1Loc
FROM     Bücher
WHERE    Titel = ‘American Beauty’
```

Lokator-Konzept (3)

- **Mächtigkeit des Lokator-Konzeptes**
  - Ein Lokator repräsentiert immer einen konstanten Wert
  - Operationen auf LOBs werden nach Möglichkeit indirekt mit Hilfe ihrer Verweise („Rezepte“) vorgenommen

    CONCAT (:loc1, :loc2) erzeugt einen neuen Verweis, ohne die physische Konkatenation der LOBs vorzunehmen
  - Ein Anlegen oder Kopieren von LOBs erfolgt nur
    - beim Aktualisieren einer LOB-Spalte
    - bei der Zuweisung eines LOB-Wertes zu einer Wirtsvariablen

- **Einsatz von Lokator-Variablen**
  - LENGTH (:loc1)
  - POSITION (‘Schulabschluss’ IN :loc2)
  - SUBSTRING (:loc3 FROM 1200 FOR 200)
  - EXEC SQL VALUES

    SUBSTRING (:loc1 FROM POSITION (‘Schulabschluss’ IN :loc1)

    FOR 100) INTO :loc2

- **Lebensdauer von Lokatoren**
  - Explizite Freigabe

    EXEC SQL

    FREE LOCATOR :loc1, :loc2;
  - Transaktionsende (non-holdable locators)
  - Sitzungsende

    EXEC SQL

    HOLD LOCATOR :loc1;

Lokator-Konzept (4)

- **Beispielprogramm Theaterstück:**

  Korrektur eines Textes in Tabelle Theaterstücke (Titel, Text, ...)

```
void main ( )
  {
  EXEC SQL INCLUDE SQLCA;

  EXEC SQL BEGIN DECLARE SECTION;
       char dbname[9] = “Stückedb“;          /*   Name der Datenbank            */
       char msgbuffer[500];                  /*   Puffer für DB2-Fehlermeldungen */
       SQL TYPE IS CLOB_LOCATOR loc1, loc2;
       long n;
  EXEC SQL END DECLARE SECTION;
  EXEC SQL WHENEVER SQLERROR GO TO schlechtenachrichten;
  EXEC SQL CONNECT TO :dbname;
  EXEC SQL      SELECT   Text INTO :loc1
                FROM     Theaterstücke
                WHERE    Titel = ‘As You Like It’;
  EXEC SQL VALUES POSITION ( ‘colour’ IN :loc1 ) INTO :n;

  while (n > 0)
       {
       EXEC SQL VALUES SUBSTRING ( :loc1 FROM 1 FOR :n-1) ||  'color’
                                  ||  SUBSTRING (:loc1 FROM :n+6) INTO :loc2;
       /*
       ** Gib alten Lokator frei und behalte den neuen.
       */
       EXEC SQL FREE LOCATOR :loc1;
       loc1 = loc2;
       EXEC SQL VALUES POSITION ( ‘colour’ IN :loc1 ) INTO :n;
       }
  /*
  ** Es wurden noch keine Daten bewegt; es wurden lediglich neue Lokatoren erzeugt.
  */
  EXEC SQL  UPDATE Theaterstücke SET Text = :loc1
            WHERE Titel = ‘As You Like It’;
  /*
  ** Jetzt wird der neue Text zusammengesetzt
  ** und der DB-Tabelle Theaterstücke zugewiesen.
  */
  EXEC SQL COMMIT;
  return;
  . . .
```

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?**

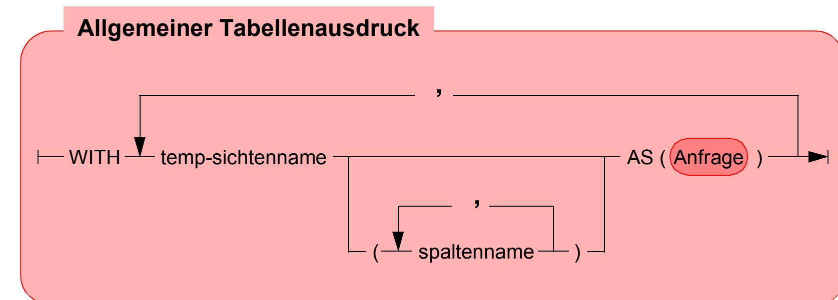
Allgemeine Tabellenausdrücke (2)

- **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

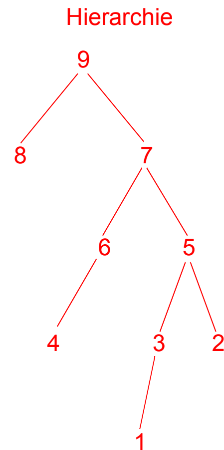
- **Warum nutzt man Rekursion in SQL?**
  - deskriptive und mengenorientierte Formulierung
    - Gewinn an Ausdrucksmächtigkeit
    - verbessertes Leistungsverhalten
  - Traversierung von Baum- und Netzwerkstrukturen
    - Stücklistenauflösung
    - Wegesuche in Graphen

- **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)

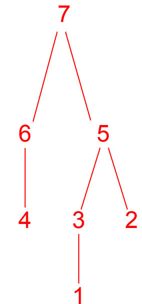
- **Lösung für Q3**

```
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

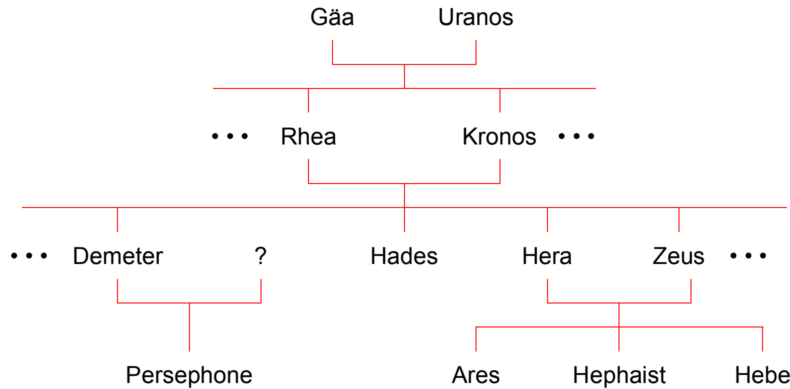
Unter-gebene	Pnr	Gehalt
	6	120 K
	5	50 K
	4	150 K
	3	90 K
	2	50 K
	1	110 K



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

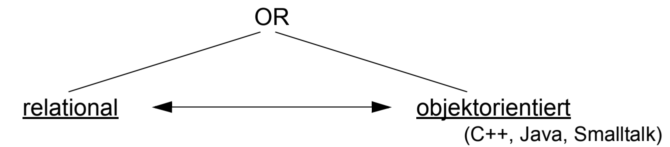
- **Beispiel**

```
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

Vergleich von Begriffen/Konzepten



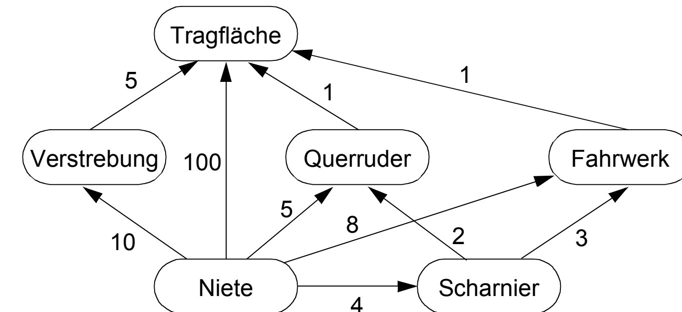
	relational	objektorientiert
Intensional:	Relationenschema	Objekttyp
Extensional:	Relation	Klasse/Kollektion
Struktur:	sichtbar im Schema	unsichtbar: gekapselt, Signatur
Sprache:	generische Operationen („Insert into Pers”)	typspezifische Operationen („Einstelle Angestellter“)
Identität:	wertbasiert (Primärschlüssel)	objektbasiert (OID)
Zugriff:	mengenorientiert (n Tupel)	satzorientiert (1 Objekt)
	deskriptiv (Anfragen über n Relationen)	navigierend (Iterator mit Suchargument)
	n-mengenorientiert	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, . . .
- **Spezifikation großer Objekte hat großen Einfluss auf die DB-Verarbeitung**
  - Speicherungsoptionen, Logging
  - Einsatz benutzerdefinierter und systemspezifischer Funktionen
  - Deklarative SQL-Operationen, aber Cursor-basierte und „navigierende“ Verarbeitung von LOB-Werten
- **Lokator-Konzept**
  - Identifikation von LOBs oder Positionen in LOBs
  - Minimierung des Datenverkehrs zwischen Client und Server
  - Bereitstellung von Server-Funktionen bei der LOB-Verarbeitung
- **Deskriptive Anfragesprache von SQL:1999 ist sehr mächtig**
  - Nutzung von allgemeinen Tabellenausdrücken
  - Einsatz von Rekursion
  - Rekursion mit Berechnungen

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)

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 (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