

# Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

## Kapitel 2: Data-Warehouse-Entwurf

Folien teilweise übernommen von Matthias Gimbel

2

## Datenbankentwurf: Schritte

- Entwurfsschritte
  - Anforderungsanalyse
  - konzeptioneller DB-Entwurf
    - konzeptionelles Schema  
(unabhängig vom Zieldatendatenmodell)
  - logischer DB-Entwurf
    - logisches Schema  
(in konkretem Datenmodell)
  - physischer DB-Entwurf
    - internes/physisches Schema  
(in konkretem Datenbanksystem)
- iterativer Entwurfsprozess
- konzeptueller und logischer DB-Entwurf nicht immer leicht zu trennen

## Datenbankentwurf: Vergleich

|                          | <b>Relationaler DB-Entwurf</b>                                    | <b>Multidimensionaler DB-Entwurf</b>                       |   |
|--------------------------|---|--|---|
| konzeptuelles Schema     | E/R-Modellierung, UML   | ME/R, mUML, ...  |   |
| logisches Schema         | Relationen mit Attributen   | Datenwürfel mit Summenattributen:<br>Fakten und Kennzahlen |   |
|                          |   | Dimensionshierarchien<br>mit Kategorienattributen          |   |
| internes/phisches Schema | Speicherorganisation:<br>Indexstrukturen,<br>Partitionierung, ... | Relationale Speicherorgani-<br>sation (ROLAP)              | Multidimensionale Speicherorgani-<br>sation (MOLAP) |

## Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

Kapitel 2: Data-Warehouse-Entwurf  
- Konzeptueller Datenbankentwurf -

## Datenmodell für Data Warehouses

Woran ist ein Analyst interessiert?

- an **Kennzahlen**
  - Umsatz, Gewinn, Menge, Kilometer
- gruppiert nach **Dimensionen**
  - **Produkt**: Produktkategorie, Produktklasse, Produktgruppe, Produktabteilung
  - **Region**: Filiale, Gemeinde, Landkreis, Bundesland, Staat
  - **Zeit**: Tag, Woche, Monat, Quartal, Jahr
  - **Auftraggeber/Kunde**: Alter, Geschlecht, Beruf, Einkommen, ...
  - ...
  - ... und allen sinnvollen **Kombinationen**

## Datenmodell für Data Warehouses

- Datenmodell muss zwei Arten von Informationen unterscheiden:
  - **Quantifizierende** Informationen (Kennzahlen)
  - **Qualifizierende** Informationen: (Dimensionen)

## Quantifizierende Informationen

Quantifizierende Informationen sind oft **numerisch** und bestehen aus:

- **Fakten** („Basiskennzahlen“)
  - z. B.: Einnahmen aus einer Dienstleistung
- **Kennzahlen** („abgeleitete Kennzahlen“)
  - Berechnungsvorschrift über existierende Fakten
    - Zählung: `count()`
    - Summierung: `sum()`
    - Mittelwertbildung: `avg()`
    - Minimum: `min()`
    - Maximum: `max()`
    - Varianz
    - Standardabweichung
    - ...

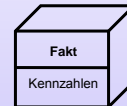
## Konzeptueller DB-Entwurf

- Erweiterung bestehender Entwurfstechniken an Anforderungen durch Multidimensionalität
  - ME/R  
multidimensionales E/R
  - mUML  
multidimensionales UML

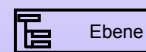
## ME/R-Modellierung

### ■ Erweiterung des E/R-Modells um multidimensionale Konstrukte:

- Fakt



- Dimensionsebene



- Klassifikationsbeziehung

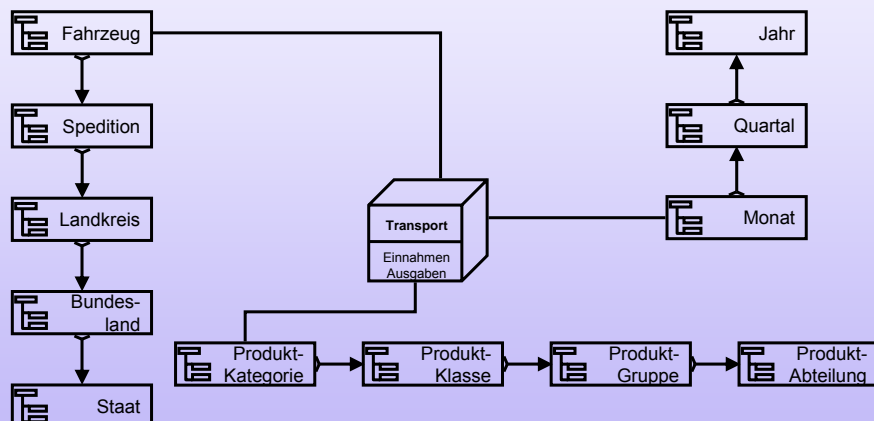


- Faktbeziehung

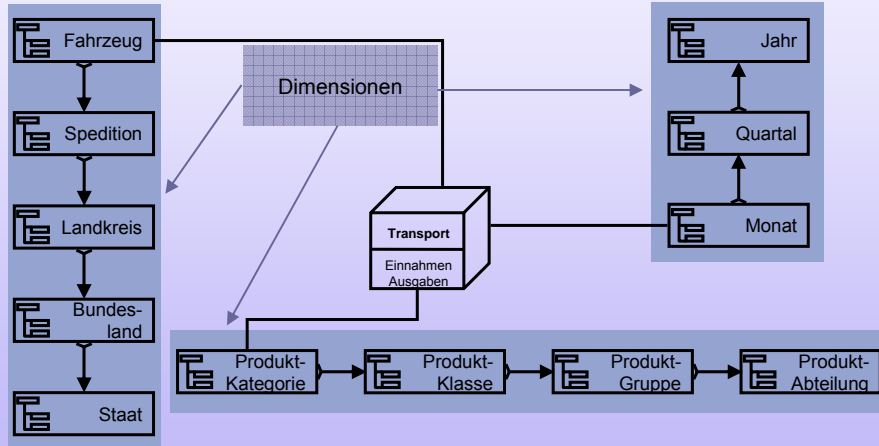


Aus E/R-Notation  
übernommen

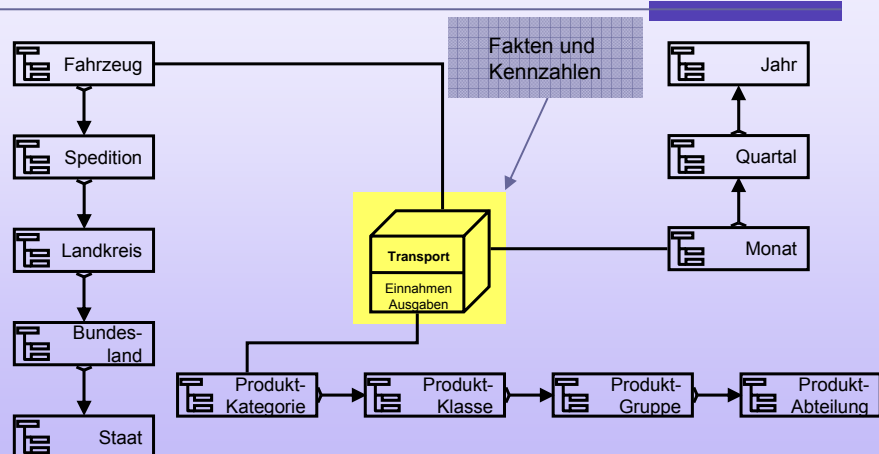
## ME/R-Modellierung: Beispiel



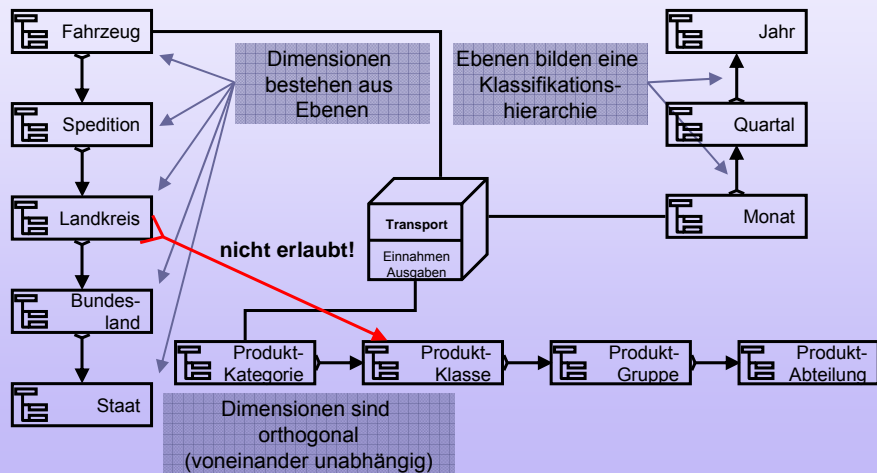
# ME/R-Modellierung: Beispiel



# ME/R-Modellierung: Beispiel



## ME/R-Modellierung: Beispiel



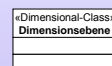
SS 2005

Heiko Scheppeler - Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

## mUML-Modellierung

### ■ Erweiterung des UML-Klassendiagramms um multidimensionale Konstrukte durch Stereotypen:

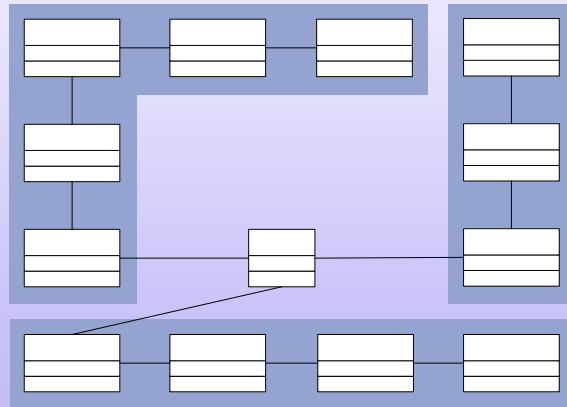
- Fakt
- Dimensionsebene
- Klassifikationsbeziehung
- Faktbeziehung



SS 2005

Heiko Scheppeler - Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

## mUML-Modellierung: Beispiel



SS 2005

Heiko Schepperle - Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

«Dimensional-Class»  
**Landkreis**

«RollUp»

«Dimensional-Class»  
**Bundesland**

«Ro

«RollUp»

## Qualifizierende Informationen

### ■ Dimensionen

- Dimensionen sind **orthogonal** (voneinander unabhängig)
- Dimensionen bestehen aus **Dimensionsebenen**
- Dimensionsebenen bilden eine **Klassifikationshierarchie**

SS 2005

Heiko Schepperle - Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

«Dimension»

«Fact-C  
Transp

«Dimension»

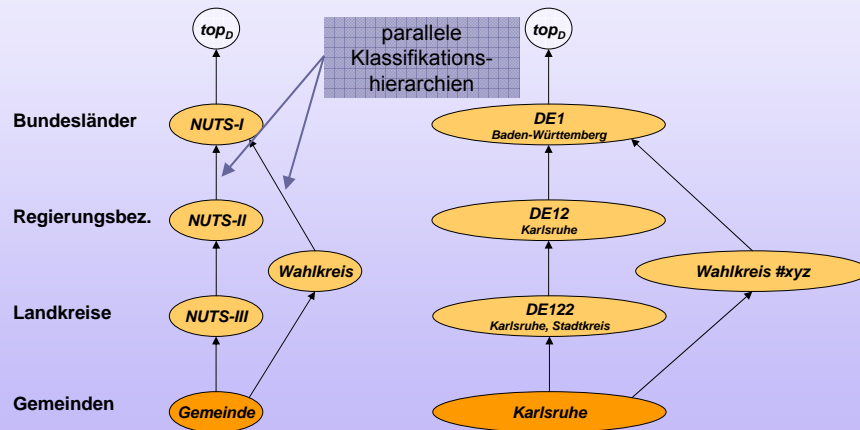
RollUp»

«Dimensional-Class»  
**Produkt-Klasse**

«Ro



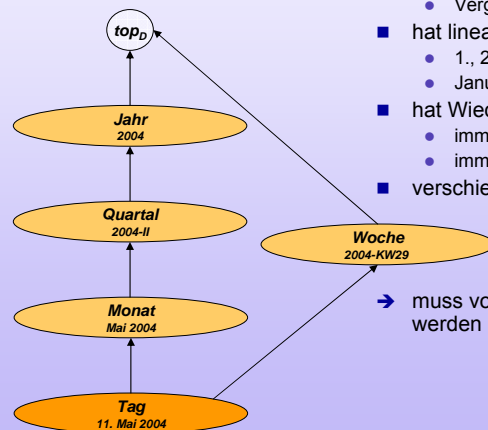
## Dimension: Ebenen



SS 2005

Heiko Schepperle - Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

## Dimension: Zeit



- kommt in fast jeder Anfrage vor:
  - Vergleich Quartal mit Vorjahresquartal
- hat linearen Charakter
  - 1., 2., 3., ...
  - Januar, Februar, März, ...
- hat Wiederholungscharakter
  - immer montags
  - immer im 4. Quartal
- verschiedene Klassifikationspfade denkbar

→ muss von jedem Analysesystem unterstützt werden

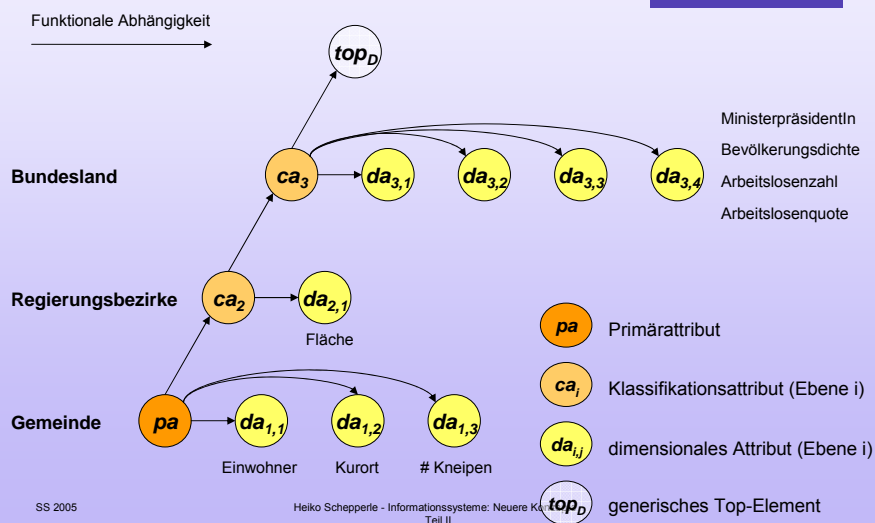
SS 2005

Heiko Schepperle - Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

## Funktionale Abhängigkeiten

- Funktionale Abhängigkeit  
= functional dependency (FD)
  - Zwischen zwei Attributen A und B existiert eine funktionale Abhängigkeit ( $A \rightarrow B$ ) genau dann, wenn **für jedes a aus A genau ein b aus B** existiert.
  - Für Attribute A, B, C:
    - Man schreibt  $AB \rightarrow C$ , wenn für jedes Paar (a,b) mit a aus A und b aus B genau ein c aus C existiert.
    - Man schreibt  $A \rightarrow BC$ , wenn  $A \rightarrow B$  und  $A \rightarrow C$  gilt.

## Dimension: Kategorieattribute



# Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

## Kapitel 2: Data-Warehouse-Entwurf - Logischer Datenbankentwurf -

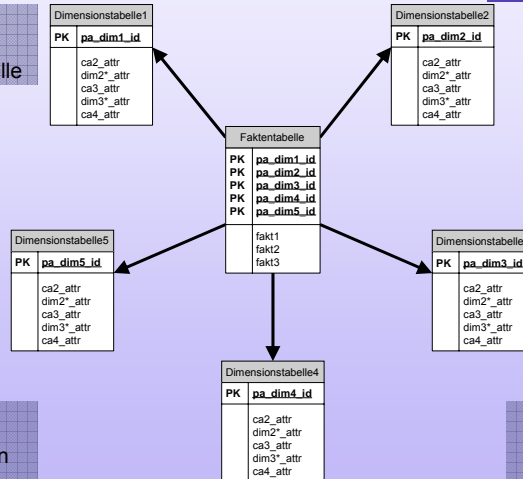
22

## Relationale Abbildung

- Wie lassen sich Kennzahlen und Dimensionen gut in einem relationalen Schema abbilden?
  - möglichst gut verständlich
  - auch relationales Schema sollte Zusammenhänge (z. B. Fakt- und Klassifikationsbeziehungen) abbilden
  - möglichst **performante Anfragebearbeitung**
  - möglichst redundanzfrei

# Star-Schema

Dimensionen  
sternförmig  
um Faktentabelle



1 Tabelle  
pro Dimension

1 Tabelle  
für alle Fakten

SS 2005

Heiko Schepperle - Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

# Faktentabelle

- Faktentabelle = fact table
- enthält Analysegegenstand, eigentliche Geschäftsdaten
- Tupel besteht aus
  - Zeigern auf Dimensionstabellen (Fremdschlüssel), die den Kontext des Tupels eindeutig bestimmen
  - den eigentlichen Kennzahlen
- Schlüssel der Faktentabelle = Gesamtheit der Dimensionszeiger
- Faktentabelle kann viele Millionen Tupel enthalten

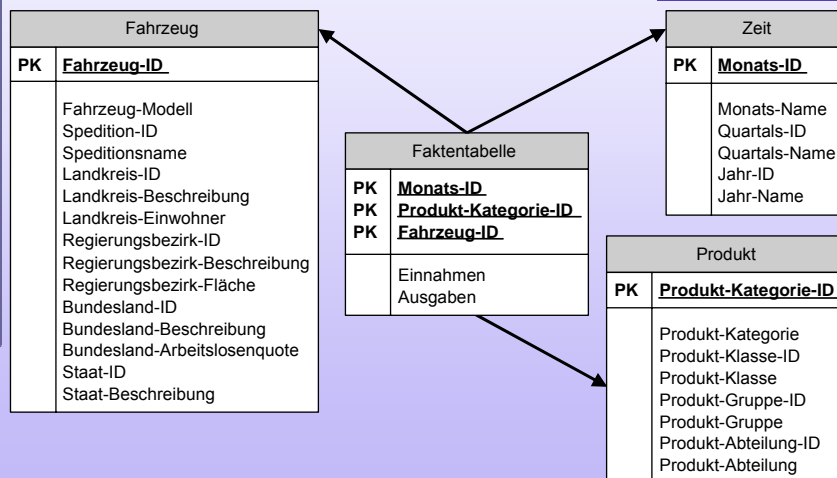
SS 2005

Heiko Schepperle - Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

## Dimensionstabelle

- Dimensionstabelle = dimensional table
- pro Dimension existiert eine Dimensionstabelle
- Dimensionstabelle enthält
  - einen eindeutigen Schlüssel (Primärattribut), z.B. Produktnummer, Datums-ID, ...
  - weitere (beschreibende) Attribute der Dimension (Klassifikations- und dimensionale Attribute)
- Dimensionstabelle deutlich kleiner als Faktentabelle

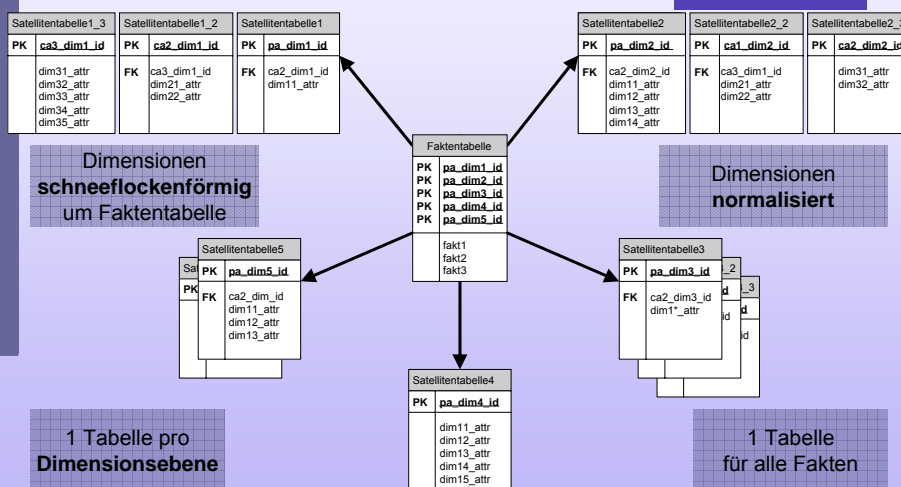
## Star-Schema: Beispiel



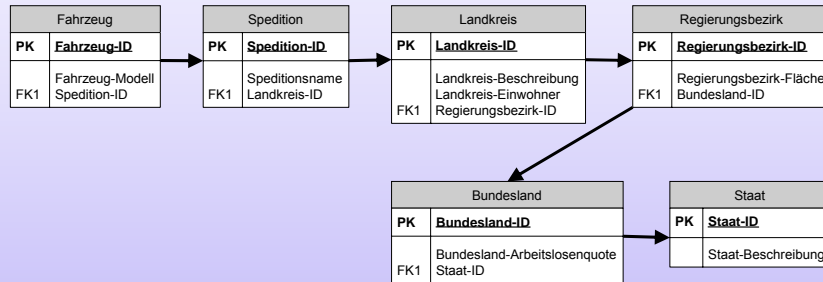
## Star-Schema

- Eigenschaften
  - sehr übersichtlich
  - einfach erweiterbar
  - recht performante Anfragebearbeitung
- Probleme
  - **denormalisierte Dimensionstabellen**  
eventuell immer noch groß und redundant
  - **Dimensionsklassifikationen nicht explizit modelliert**

## Snowflake-Schema



## Snowflake-Dimension: Beispiel



## Snowflake-Schema

- Warum muss jetzt alles ID heißen?
  - Eindeutigkeit der Referenzkette in der Klassifikationshierarchie:
    - Eine Monats-ID aus der Faktentabelle gehört zu einem bestimmten Quartal in einem bestimmten Jahr
    - „2. Quartal“ reicht dafür nicht, weil das Jahr nicht mehr herausgefunden werden kann
- gegebenfalls sind zu den IDs in den Satellitentabellen noch Beschreibungen zu ergänzen (Speditionsname, Landkreis-Beschreibung, ...)

## Snowflake-Schema

- Probleme
  - weniger übersichtlich
  - weniger performante Anfragebearbeitung
- Eigenschaften
  - **normalisierte Dimensionstabellen**
  - Dimensionsklassifikationen explizit modelliert

## Star- vs. Snowflake-Schema

- Welche Variante ist besser?
  - Welches Schema geeignet ist, hängt vom Anwendungsprofil ab!
  - Dennoch wird sehr häufig ein Star-Schema oder ein leicht modifiziertes Star-Schema verwendet.



# Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

## Kapitel 2: Data-Warehouse-Entwurf - Physischer Datenbankentwurf -

34

## Speicherorganisation

- ROLAP  
relationale Speicherorganisation
- MOLAP  
multidimensionale Speicherorganisation
- HOLAP  
hybride Speicherorganisation

## ROLAP

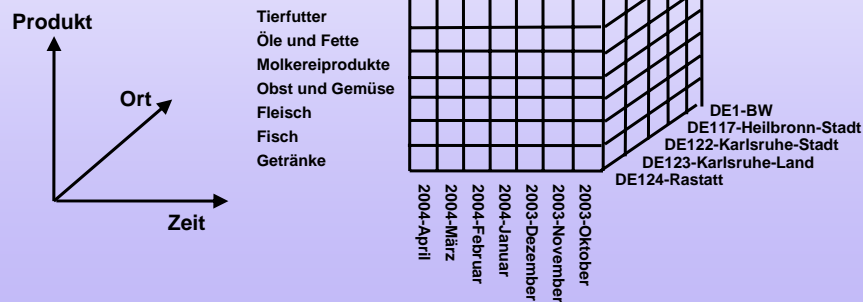
- ROLAP = Relational OLAP
- relationale Speicherung des multidimensionalen Datenmodells
- Speicherung der aggregierten Daten in Relationen
- geringere Performanz
- „unbegrenzt“ skalierbar

## MOLAP

- MOLAP = Multidimensional OLAP
- multidimensionale Speicherung des multidimensionalen Datenmodells
- Speicherung der aggregierten Daten in speziellen multidimensionalen Datenstrukturen
- hohe Performanz
- begrenzte Skalierbarkeit

## Multidimensionale Speicherung

- Würfel („Hypercube“)
- Dimensionen:
  - Produkt, Ort, Zeit



SS 2005

Heiko Schepperle - Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

## Multidimensionale Speicherung

- Array-Speicherung multidimensionaler Daten
- Linearisierung

- Dimensionen  $D_1, D_2, D_3, \dots, D_m$
- Punkt  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$

$$z = 1 + \sum_{i=1}^n ((x_i - 1) \prod_{j=1}^{i-1} |D_j|)$$

- Beispiel:  $n=3, |D_1|=3, |D_2|=4, |D_3|=2; x=(2,3,1)$

$$z = 1 + (x_1 - 1) + (x_2 - 1)|D_1| + (x_3 - 1)|D_1||D_2|$$

$$z = 1 + (2 - 1) + (3 - 1) * 3 + (1 - 1) * 3 * 4$$

SS 2005

Heiko Schepperle - Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

## Multidimensionale Speicherung

### ■ Probleme

- Reihenfolge der Dimensionen spielt eine Rolle
- Nachbarschaftsbeziehung geht verloren
- bei dünn besetztem Würfel hoher Speicherbedarf
  - dicht besetzt (dense) bei hohem Füllgrad
  - dünn besetzt (sparse) bei niedrigem Füllgrad
  - Füllgrad =  $\frac{\text{Anzahl der nicht leeren Zellen}}{\text{Anzahl aller Zellen}}$
  - Eine Zelle mit dem Wert „0“ ist nicht leer!

## ROLAP vs. MOLAP

|                 | <b>ROLAP</b>                                   | <b>MOLAP</b>  |
|-----------------|--|---|
|                 | relationales OLAP                              | multidimensionales OLAP                               |
| Speicherung     | relationale Speicherstruktur (Tabellen, Tupel) | spezielle multidimensionale Speicherstruktur (Arrays) |
| Speicherzugriff | über Schlüssel, über Indizes, ...              | über Berechnungsvorschrift                            |
| Performanz      | mittel   | hoch  |
| Skalierbarkeit  | „unbegrenzt“                                   | begrenzt  |

## HOLAP

- Hybrides OLAP
- Kombination von ROLAP und MOLAP
- Problem
  - MOLAP gut für dicht besetzte Würfel (leere Zellen belegen unnötig Speicher)
  - ROLAP gut für dünn besetzte Würfel (jedes Tupel speichert Schlüsselattribute)
- Zwei-Ebenen-Datenstruktur

## Zwei-Ebenen-Datenstruktur

- Unterscheidung in dünn- (sparse) und dichtbesetzte (dense) Dimensionen
- speichere Relation für dünn besetzte Dimensionen mit Zeiger auf einen Block
- Block ist Würfel aus dicht besetzten Dimensionen
- falls alle Dimensionen dünn besetzt sind und relational gespeichert werden:
  - Block besteht aus einer Zelle
  - äquivalent zu ROLAP
- falls alle Dimensionen dicht besetzt sind und in einem Block gespeichert werden:
  - Relation ist leer bzw. enthält Zeiger auf genau einen Block
  - äquivalent zu MOLAP

## Weitere Elemente

- Es existieren weitere Elemente des physische Datenbankentwurfs
  - Indexstrukturen
  - Materialisierung
  - Partitionierung

## Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

Kapitel 2: Data-Warehouse-Entwurf  
- Indexstrukturen -

## Indexstrukturen

- Wie werden die gewünschten Tupel einer Tabelle gefunden?
  - lineare Suche?
    - linearer Aufwand
  - Binärsuche?
    - logarithmischer Such-Aufwand, aber teure Sortierung nötig
  - geht's besser?
    - durch Einsatz von Indexstrukturen(=Indizes)

## Indexstrukturen

- Aufgabe einer Indexstruktur
  - effizienter, wertbasierter Zugriff auf
    - einzelne Tupel
      - EMQ=Exact Match Query (assoziativer/wertbasierter Zugriff)
    - mehrere Tupel über Wertebereichen
      - RQ = Range Query (Assoziativer Zugriff und sequentielles Lesen)
      - Beispiel: WHERE Jahrgang = 1998

## Indexstrukturen

- Ziel:
  - Minimierung des zu übertragenden Datenvolumens (Seiten)
    - Festplattenzugriff hat den größten Einfluss auf Antwortzeit
    - auf Festplatte erfolgt Zugriff in Blöcken
    - Indexstrukturen arbeiten auf Seiten (4kB – 8kB) (hier kann 1:1-Zuordnung zu Blöcken angenommen werden)
  - Minimierung der wahlfreien Zugriffe
    - wahlfreier Zugriff  
Zugriff auf Blöcke unabhängig von der Reihenfolge der Speicherung
    - sequentieller Zugriff  
Zugriff auf Blöcke in der Reihenfolge der Speicherung

## Varianten ...

- Lineare Strukturen
  - Listen
    - einfach-verkettet
    - doppelt-verkettet
  - Arrays
- Hashtabellen
- Bäume
  - B-Baum
  - B\*-Baum

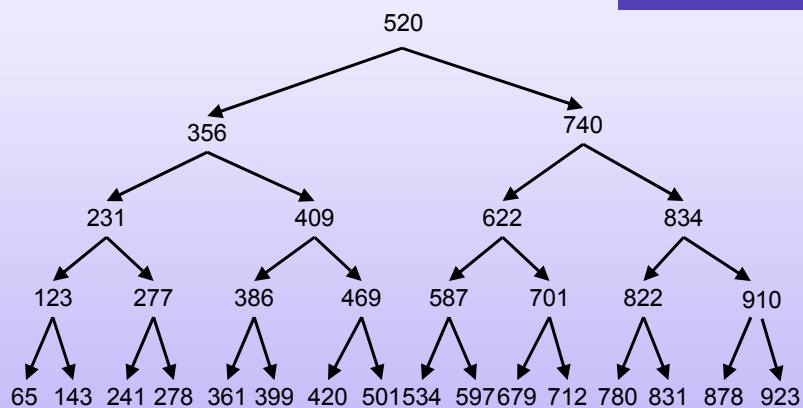


## ... im Vergleich

|           | Einfügen<br>Löschen | assoziativer<br>Zugriff | Index-<br>zugriff | sequentielles<br>Lesen |
|-----------|---------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|
| Listen    | ++                  | --                      | -                 | +                      |
| Array     | --                  | +                       | ++                | ++                     |
| Hashtable | +                   | ++                      | -                 | --                     |
| Baum      | +                   | +                       | -                 | +(+)                   |

- Einfügen/Löschen sowie sequentielles Lesen benötigt meist zusätzlich noch assoziativen Zugriff zum Auffinden der korrekten Position
  - bei Listen problematisch
  - meist Bäume als Zugriffsstruktur

## Binärbaum



## Binärbaum: Eigenschaften

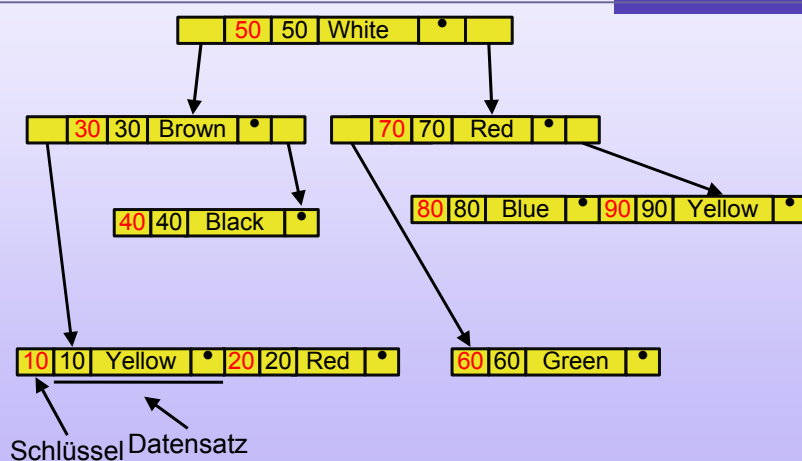
### ■ Probleme:

- Sehr viele Navigationen bei Direktzugriff
- Aufteilung auf Seiten unklar
- Balancierung?

### ■ Idee: Mehrwegbaum:

- Anzahl der Elemente pro Knoten  $> 1$
- Knotenelemente in Sortierreihenfolge (wegen sequentieller Verarbeitung)
- garantierter Füllgrad (Splitten und Vereinigen von Knoten)

## B-Baum



## B-Baum

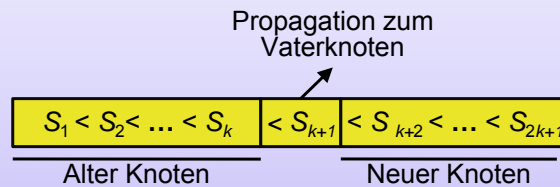
- Jeder innere Knoten hat  $n+1$  Söhne mit  $k \leq n < 2k$ , Ausnahme: Wurzel ( $1 \leq n < 2k$ )
- Jeder Knoten ist mit  $n$  sortiert angeordneten Schlüsseln belegt
- Seien  $S_1, \dots, S_n$  die Schlüssel, so gilt:
  - $Z_0$  weist auf den Unterbaum mit Schlüsseln  $< S_1$
  - $Z_j$  (für  $j=1 \dots n-1$ ) weisen auf Unterbäume, deren Schlüssel echt zwischen  $S_j$  und  $S_{j+1}$  liegen.
  - $Z_n$  weist auf den Unterbaum, dessen Schlüssel größer als  $S_n$  sind.
- Jeder Weg von der Wurzel zu einem Blatt hat die gleiche Länge (= Höhe des Baumes)

## B-Baum: Einfügen

- Suche nach dem Schlüssel des neuen Datensatzes (notfalls bis zum Blatt).
- Falls gefunden: Einfügen des neuen Datensatzes in den entsprechenden Knoten des B-Baums (bei nicht eindeutigen Schlüssel).
- Falls nicht gefunden: Einfügen des neuen Datensatzes in das bei der Suche erreichte Blatt.
- Bei Überlauf eines Knotens wird der Knoten gespalten, d.h. die Einträge des Knotens werden auf zwei Knoten verteilt.

## B-Baum: Überlauf/Unterlauf

- Der Datensatz, der in der Mitte des übergelaufenen Knotens liegt, wird zum Vaterknoten propagiert.

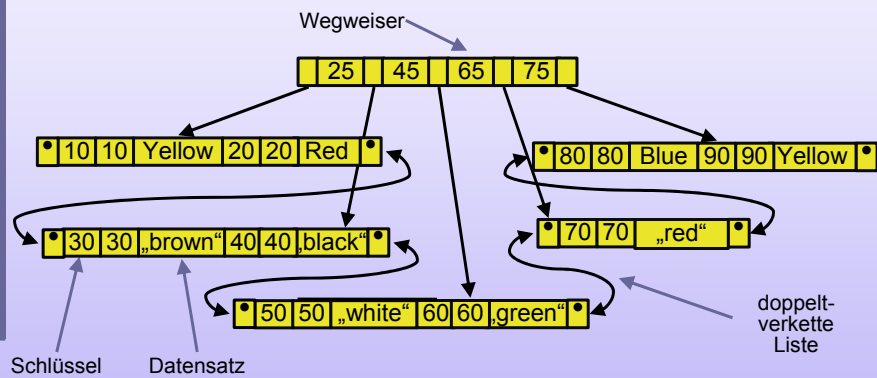


- Bei Unterlauf ( $n < k$ ) werden zuerst Elemente aus Nachbarknoten verschoben
- Falls dort ebenfalls Unterlauf  $\rightarrow$  Knoten wird mit Nachbarknoten verschmolzen

## B-Baum: Eigenschaften

- Probleme
  - Höhe = Anzahl Zugriffe =  $\log_s(n)$
  - Verzweigungsgrad  $s = \text{Knotengröße} / (\text{Schlüssel-} + \text{Datensatzgröße})$
  - $s$  und damit Baumhöhe abhängig von Datensatzlänge
  - immer noch Ineffizienz beim sequentiellen Lesen
- Lösung
  - "hohler Baum", Daten nur an den Blattknoten
  - Verkettung der Blattknoten

## B\*-Baum



- Regeln zum Über-/Unterlauf wie beim B-Baum

## Indexarten

- Primärindex  
Index über eindeutiges Attribut (ID=Schlüsselattribut) der Datenkollektion
- Sekundärindex  
Index über nicht eindeutiges Attribut (ID≠Schlüsselattribut) der Datenkollektion
- Clusterindex  
Datenkollektion ist physisch in der Reihenfolge der Indexwerte angeordnet
- geclusterte Primärindizes
- geclusterte Sekundärindizes

## Was es sonst noch gibt

- Mehrdimensionale Datenstrukturen
  - Anwendungsfelder:
    - Geographische Datenbanken (GIS)
    - CAD-Datenbanken (EDM/PDM)
    - Data Warehouses
  - Beispiele:
    - UB-Baum: space filling curve + B-Baum
    - Bitmap-Index
    - R\*-Baum: Bounding Rectangle in inneren Knoten
    - k-d-B-Baum: achsenparallele Splits

## Indizes im Data Warehouse

- Welche Indexstrukturen unterstützen Data-Warehouse-Anfragen besonders gut?
- Problem
  - Filterung auf der Faktentabelle
- Anforderung
  - Effiziente Verknüpfung von Einschränkungen der Faktentabelle auf disjunkten Attributmengen

## Indizes im Data Warehouse

- Variante 1
  - 1 B-Baum auf einer Dimension
  - Restliche Einschränkungen werden zu normalen Selektionsbedingungen
  - Viel zu viele Tupel gelesen!
- Variante 2
  - 1 B-Baum für jede Dimension
  - für jede Dimension IDs der selektierten Tupel bestimmen
  - Schnittmenge bilden
  - hoher Wartungsaufwand (pro Insert bis zu 50 Indizes anzupassen)
- Variante 3
  - Multidimensionale Indizes

## Multidimensionale Indizes

- Immer Kompromiss zwischen
  - Füllgrad
  - Überlappungsfreiheit
  - Balancierung des Baumes
  - Clusterung benachbarter Daten

## Bitmap-Index

- Bitmap-Index besteht aus einer **Menge von Bitvektoren**
- Struktur
  - 1 Bitmap-Index pro Dimension
  - 1 Bitvektor pro Attributwert
  - Länge des Bitvektors = #Tupel der Faktentabelle
  - Eintrag 1 in Position i eines Bitvektors → Tupel i hat entsprechenden Wert
  - Eintrag 0 in Position i eines Bitvektors → Tupel i hat nicht entsprechenden Wert
- Verwendung
  - zuerst innerhalb der Dimension ODER-Verknüpfung aller passenden Bitvektoren
  - dann UND-Verknüpfung der resultierenden Bitvektoren verschiedener Dimensionen

## Bitmap-Index

| Nr. | Monats-ID | Produkt-ID | Fahrzeug-ID | Einnahmen | Ausgaben |
|-----|-----------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1   | 2004-Jan  | 5          | 1           | 1235      | 879      |
| 2   | 2004-Jan  | 7          | 3           | 5321      | 6345     |
| 3   | 2004-Feb  | 3          | 2           | 543       | 367      |
| 4   | 2004-Mar  | 4          | 1           | 235       | 198      |
| 5   | 2004-Apr  | 3          | 3           | 5432      | 5399     |

- alle Lebensmittel-Transporte (Produkt-ID=3)
  - 00101 (Tupel Nr. 3 und Nr. 5)
- alle Lebensmittel-Transporte (Produkt-ID=3) von Fahrzeug 3
  - 00101 UND 01001 = 00001 (nur Tupel Nr. 5)
- alle Kleidungs- (Produkt-ID=5) und Schuh-Transporte (Produkt-ID=7) im Januar 2004
  - (10000 ODER 01000) UND 11000 = 11000 UND 11000 = 11000 (Tupel Nr. 1 und Nr. 2)

| Produkt-ID | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ... |
|------------|---|---|---|---|---|-----|
| 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |     |
| 2          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |     |
| 3          | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |     |
| 4          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |     |
| 5          | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |     |
| 6          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |     |
| 7          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |     |

| Monats-ID | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ... |
|-----------|---|---|---|---|---|-----|
| 2004-Jan  | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |     |
| 2004-Feb  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |     |
| 2004-Mar  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |     |
| 2004-Apr  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |     |

| Fahrzeug-ID | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ... |
|-------------|---|---|---|---|---|-----|
| 1           | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |     |
| 2           | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |     |
| 3           | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |     |



## Bitmap-Index

### ■ Problem

- Bitmap-Index braucht Platz
  - #Anzahl benötigter Bytes = Kardinalität (Anzahl der verschiedenen Werte) der Domäne \* Anzahl Tupel der Faktentabelle / 8
  - Unterstützung für Range Queries nicht optimal

### ■ Verbesserungsansätze

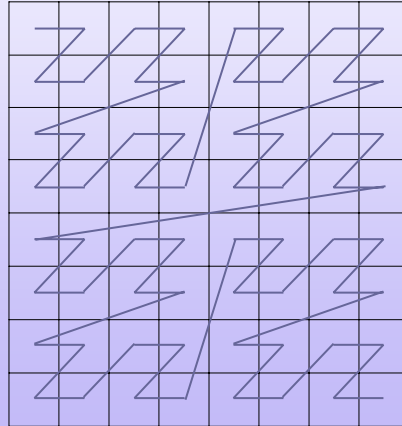
- Bereichsbasierte Kodierung (range-based encoding)
- Komprimierung von Bitvektoren

## UB-Baum

- Linearisierung des mehrdimensionalen Raums durch „space filling curve“, anschließend Verwendung eines eindimensionalen Index (B\*-Baum)
- Nachbarschaftsbeziehung bleibt besser erhalten als einfache Linearisierung (wie bei MOLAP beschrieben)
- Beispiel Z-Kurve

## UB-Baum

- Reihenfolge der Dimensionen:  
erst →, dann ↓
- Z-Wert:  
Position in der Z-Kurve
- Z-Region:  
Anfangs- und Endpunkt  
als Paar von Z-Werten



## Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

Kapitel 2: Data-Warehouse-Entwurf  
- Materialisierung -

## Materialisierung

- Faktentabelle durchsuchen und Berechnung von Aggregationen kostet Zeit
- Idee
  - häufig gebrauchte aggregierte Zwischenergebnisse materialisieren (physisch ablegen, speichern)
- Systematisches Vorgehen
  - Dimensionshierarchien aufstellen
  - Häufigkeit der Zugriffe auf die einzelnen Aggregationsstufen protokollieren
  - Modell aufstellen, welche Ergebnisse von welchem Zwischenergebnis profitieren
  - kostenbasierte Entscheidung treffen (Speicherplatz ↔ Lesezugriff ↔ Schreibzugriff)

## Materialisierung

- Kostenmodell
  - Speicherplatzkosten
  - Update-Kosten
    - also Kosten für Anpassung materialisierter Zwischenergebnisse bei Datenänderung
    - wobei Update auch von Materialisierung profitieren kann
- Nichttriviales Problem: Query Rewriting
  - also Umschreiben von Anfragen, so dass bestehende Materialisierungen genutzt werden können

## Materialisierung: Beispiel

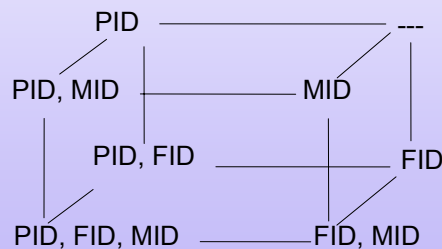
| Monats-ID | Produkt-ID | Fahrzeug-ID | Einnahmen | Ausgaben |
|-----------|------------|-------------|-----------|----------|
| 2004-Jan  | 5          | 1           | 1235      | 879      |
| 2004-Jan  | 7          | 3           | 5321      | 6345     |
| 2004-Feb  | 3          | 2           | 543       | 367      |
| 2004-Mar  | 4          | 1           | 235       | 198      |
| 2004-Apr  | 3          | 3           | 5432      | 5399     |
| 2004-Jan  | 2          | 2           | 745       | 4536     |
| 2004-Feb  | 2          | 3           | 346       | 636      |
| 2004-Jan  | 4          | 1           | 6246      | 3677     |
| 2004-Apr  | 1          | 2           | 326       | 436      |
| 2004-Apr  | 2          | 2           | 6436      | 7858     |
| 2004-May  | 4          | 3           | 8658      | 6356     |
| 2004-Jun  | 5          | 1           | 568       | 456      |
| 2004-May  | 4          | 3           | 5868      | 3167     |
| 2004-Jun  | 5          | 2           | 8762      | 6788     |

| Quartals-ID | Produkt-ID | Einnahmen |
|-------------|------------|-----------|
| 2004-I      | 2          | 1091      |
| 2004-I      | 3          | 543       |
| 2004-I      | 4          | 6481      |
| 2004-I      | 5          | 1235      |
| 2004-I      | 7          | 5321      |
| 2004-II     | 1          | 326       |
| 2004-II     | 2          | 6436      |
| 2004-II     | 3          | 5432      |
| 2004-II     | 4          | 14526     |
| 2004-II     | 5          | 9330      |

- Wie sieht eine Anfrage nach den Einnahmen bei Lebensmittel-Transporten (Produkt-ID=3) pro Quartal mit und ohne Einsatz der aggregierten Tabelle aus?
- Star- oder Snowflake-Schema?

## Materialisierung: Beispiel

- Aggregationsdimensionen:
  - Produkt (PID), Fahrzeug (FID), Monat (MID)



## Materialisierung

- Erweiterung um mehrstufige Aggregationshierarchien (wie z.B. Monat → Quartal im Beispiel) und gegebenenfalls Dimensionseinschränkungen führen zu explosionsartigem Wachstum der Möglichkeiten!

## Informationssysteme: Neuere Konzepte - Teil II

Kapitel 2: Data-Warehouse-Entwurf  
- Data-Warehouse-Werkzeuge -

## Data-Warehouse-Werkzeuge

### ■ ETL-Werkzeuge

- Werkzeuge zur **Unterstützung des Aufbaus und der Wartung** eines Data Warehouse
- Beispiele:
  - DataJunction
  - DataStage (Ascential)
  - ...

### ■ OLAP-Werkzeuge

- Werkzeuge zur **multidimensionalen Datenanalyse**
- Beispiele:
  - Hyperion Essbase
  - BusinessObjects
  - Cognos
  - MicroStrategy
  - ...

## Vergleich DW-Werkzeuge

*Funktionsumfang der Business-Intelligence-Werkzeuge*

|                   | Daten-<br>integration | Datenbank-<br>management 1) | Online-<br>analyse 2) | Webapplikations-<br>aufbau |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Arcplan           |                       |                             |                       | •                          |
| Ascential         | •                     |                             |                       |                            |
| Brio              |                       |                             |                       | •                          |
| Business Objects  | +                     |                             |                       | •                          |
| Cognos            | •                     |                             | •                     | •                          |
| Crystal Decisions |                       |                             | •                     | •                          |
| Hyperion          | ▶                     |                             | •                     | +                          |
| IBM               | ▶                     | •                           |                       |                            |
| Informatica       | •                     |                             |                       | +                          |
| Microsoft         | ▶                     | •                           | •                     |                            |
| Microstrategy     |                       |                             | •                     |                            |
| MIK               |                       |                             | •                     |                            |
| MIS               |                       |                             | •                     |                            |
| NCR Teradata      |                       | •                           |                       | ▶                          |
| Oracle            | ▶                     | •                           | •                     |                            |
| SAP               |                       | •                           | •                     | +                          |
| SAS               | ▶                     | •                           | •                     | ▶                          |

1) Relationales Datenbank-Management-System (RDBMS)

2) Online Analytical Processing (OLAP), Datenbank oder explizites Werkzeug

## Literatur

- A. Bauer, H. Günzel: **Data Warehouse Systeme**. Architektur, Entwicklung, Anwendung. dpunkt.verlag, 2001.
- W. Lehner: **Datenbanktechnologie für Data-Warehouse-Systeme**. dpunkt.verlag, 2003.

## Anfragebearbeitung: SQL

- Beispiel SQL  
SELECT <Felder>  
FROM <Tabellen>  
WHERE <Einschränkungen>  
GROUP BY <Gruppierungsfelder>  
HAVING <Gruppeneinschränkungen>
- Oder  
UPDATE <Tabelle>  
SET <Feld> = <Wert>  
WHERE <Einschränkungen>

## Anfragebearbeitung: SQL

- Zum Aufwärmen:
  - SELECT Name, Vname, AVG(Note) AS Schnitt
  - FROM Klausuren, Schüler
  - WHERE Jahrgang = 1998
  - AND Schüler.ID = Klausuren.SID
  - GROUPBY Name, Vname
  - HAVING Schnitt > 4.0
- Was macht diese Anfrage?