Einführung in die Datenbanken

Felix Leitl

23. Juli 2024

Inhaltsverzeichnis

Grundlagen

Modellierung

Ein Modell ist ein zweckgerichtetes Abbild der Wirklichkeit
Zweck:

- Spezifizieren
- Konstruieren
- Visualisieren
- Dokumnetieren

Warum Datenbanken

- Große Software-Systeme
- Viele Anwendungen/Benutzer arbeiten mit den gleichen Daten
- Daten sollen auch nach Ende eines Programms verfügbar bleiben
- Daten sollen vor Verlust geschützt werden
- Daten sollen konsistent bleiben

Vorteile einer Datenbank

- Anwendungsneutralität
- Vermeidung redundanter Daten
- Zentrale Kontrolle der Datenintegrität
- Synchronisation im Mehrnutzerbetrieb
- Fehlertoleranz
- Perfomance
- Skalierbarkeit
- Verkürzte Entwicklungszeiten für Anwendungen
- Umsetzung von Standarts

Nachteile

- Hohe initiale Kosten
- General purpose software
- Signifikanter Overhead

Begriffe

Datenbank

Eine Datenbank ist eine Sammlung zusammenhängender Daten.

- repräsentiert einen Ausschnitt der realen Welt (Miniwelt)
- Logisch kohärente Sammlung von Daten
- Hat definierten Zweck

Datenbank-Management-System

Sammlung von Programmen zur Verwaltung einer Datenbank

- Erzeugung von DB
- Wartung von DB
- Konsistenter Zugriff auf DB

Datenbanksystem

- DB + DBMS

Datenbankanwendung

- DBS + Anwendungsprogramme

Datenmodell

- Strukturierungsvorschrift für Daten (z.B. Tabellenform)

Datenbankschema

- Beschreibung einer konkreten Datenbank

Nutzdaten

- Eigentliche Datenbank

Metadaten

- Struktur der DB
- Information über Speicherungsstrukturen

Konzeptionelles Schema

- Beschreibt sämtliche Daten auf logischer Ebene
- z.B. `Patient (NR. Krankenkasse, Laborwerte)`

Externes Schema

- Beschreibt den für die Anwendung relevanten Teil einer DB auf logischer Ebene
- z.B. für den Artzt: `Patient (Nr., Laborwerte)` und für die Verwaltung: `Patient (Nr., Krankenkasse)`

Internes Schema

- Beschreibt die interne Speicherungsstrukturen einer Datenbank
- Unsichtbar für Anwendung
- z.B. Index über Attribut `Nr.` von `Patient`

Phasen des Datenbankentwurfs

- Konzeptioneller Entwurf
  - Abbildung auf Semantisches Datenmodell (z.B. E/R-Modell)
- Logischer Entwurf
  - Abbildung auf Datenmodell

ERM

Siehe Vorlesungsfolien

Relationenmodell

Bestandteile eines Datenmodells

- einfache Datentypen und Konstruktoren für zusammengesetzte Datentypen
- Konsitenzregeln:
  - inhärente Konsistenzregeln:
    gelten für ein Datenmodell per Konvention
  - explizite Konsistenzregeln:
    werden für eine Anwendung im Zuge der Datendefinition festgelegt
- Bennenungskonvention für die Bezeichnung von Datenbankelementen

Begriffe

- Relation: Menge von gleichartig aufgebauten Tupeln
- Tupel: Zeile einer Tabelle
- Kardinalität: Anzahl der Tupel in einer Relation
- Attribut: Spalte einer Tabelle

- Grad: Anzahl der Attribute
- Relationenschema:
  - Beschreibung einer Relation
  - besteht aus Relationennamen (z.B. `Personen`)
  - und einer Menge von Attributen (z.B. `{PNr, Vorname, Nachname}`)
  - Jedes Attribut wird definiert über einen Attributnamen und einen Wertebereich
  - z.B. `Personen (PRn, Vorname, Nachname)`
- Relationales Datenbankschema: Menge von Relationalendatenbankschemata
- Wertebereich: zulässige Attribute
- Superschlüssel: definiert ein Tupel eindeutig
- Schlüsselkandidat: Minimaler Superschlüssel
- Primärschlüssel: Ausgewählter Schlüsselkandidat
- Fremdschlüssel: Attribut, dass mit Primärschlüssel einer Tabelle auf ein bestimmtes Tupel verweist

Erweiterte Atributdefinition

- NOT NULL
- UNIQUE
- PRIMARY KEY

Sicherstellung der Referenziellen Integrität

Löschen eines referenzierten Primärschlüssels

- RESTRICTED: ablehnen der Operation
- CASCADES: Alle referenzierenden Tupel werden auch gelöscht
- NULLIFIE: Referenzen werden auf NULL gesetzt
- SET DEFAULT

Ändern eines referenzierten Primärschlüssels

- RESTRICTED
- CASCADES

Integritätsbedingungen

„System-enforced Integrity“

- Primärschlüsseleigenschaft
- Referenzielle Integrität

Benutzerdefinierte oder „globale“ Integritätsbedingung

- Bedingungen aus der Anwendungsdomäne, die explizit formuliert werden müssen
- Kontrolliert durch das DBMS
- Operationen, die die Integritätsbedingungen verletzen werden abgelehnt

Mapping

Abbildungskonzepte

ER-Modell	Relationenmodell
Entity-Typ	„Entity“-Relation
1:1- oder 1:N-Beziehungstyp	Fremdschlüssel oder
M:N-Beziehungstyp	Beziehungstabelle mit 2 FS
N-ärer Beziehungstyp	Beziehungstabelle mit N FS
Einfaches Attribut	Attribut
Zusammengesetztes Attribut	Menge von Attributen
Mehrwertiges Attribut	„Attribut“-Relation mit FS
Wertebereich	Wertebereich
Schlüsselattribut	Schlüsselkandidat → Primärschlüssel

Algorithmus

Reguläre Entity-Typen

- Erzeuge eine Relation R, die alle einfachen Attribute von E umfasst
  - Bei zusammengesetzten Attributen nur Komponenten als eigenständige Attribute
- Wähle aus Schlüsselkandidaten einen Primärschlüssel
  - zusammengesetzt → Komponenten bilden zusammen den Primärschlüssel
  - Jeder Schlüsselkandidat, außer PS wird UNIQUE & NOT NULL

Schwache Entity-Typen

- Erzeuge eine Relation, die alle einfachen Attribute von W umfasst
- Füge als Fremdschlüssel alle PS-Attribute der Owner-Typen ein
- PS wird Kombination aller FSA, zusammen mit partiellem Schlüssel (falls vorhanden)

M:N-Beziehungen

- Erzeuge Relation die alle einfachen Attribute von X umfasst
- FS → PSA der beidem Relationen
- PS ist Kombination der FSA

N:1-Beziehungen

- identifiziere die Relation, die dem Entity-Typ E auf der N-Seite des Beziehungstyps entspricht
- Füge den PS des anderen ET als FS in R ein
- Füge alle einfachen Attribute des Beziehungstyps X als Attribute in R ein

1:1-Beziehungen

- Identifiziere Relationen R & S
- Nehme den PS von S bzw. R als FS von R bzw. S auf UNIQUE
- Füge alle einfachen Attribute in R bzw. S ein

Mehrwertige Attribute

- Erzeuge Relation R mit folgenden Attributen:
  - Ein Attribut A, dass dem abzubildenden Attribut A entspricht
  - Den PS K der Relation S, die zu E gehört, als FS auf S
- Der PS der Relation R ist die Kombination von A & K

Mehrstellige Beziehungen

- Erzeuge Relation R, die alle einfachen Attribute von B umfasst
- FS $\rightarrow$ PS aller Relationen
- PS $\rightarrow$ Kombination aller FS

Generalisierung/Spezialisierung

siehe VL

Kategorien

siehe VL

Normalisierung

Anomalien

- Einfüge-Anomalie (ohne hinzufügen von Info B, geht Info A nicht)
- Lösch-Anomalie
- Änderungs-Anomaile

Funktionale Abhänigkeit $X \to Y$

Y ist funktional abhängig von X, wenn es keine Tupel geben darf, in denen für gleiche X-Werte verschiedene Y-Werte auftreten
Linke Seite der FA wird „Determinante“ genannt

Volle Funktionale Abhängigkeit

Y ist voll funktional abhängig von X, wenn es keine echte Teilmenge $Z \subset X$ gibt, für die gilt $Z \to Y$

Normalformen

Erst Normalform (1NF)

Eine Relation, die nur atomare Attributwerte besitzt (keine Mengen als Attributwert)

Zweite Normalform (2NF)

Eine Relation, in 1NF & deren Nicht-Schlüsselattribute voll funktional von jedem Schlüsselkandidaten abhängen

Dritte Normalform (3NF)

Eine Relation, deren Nicht-Schlüsselkandidaten nicht transitiv abhängig von einem Schlüsselkandidaten sind

Boyce-Codd-Normalform (BCNF)

Eine Relation, bei welcher jede Determinante einer FA ein Superschlüssel ist

Vierte Normalform (4NF)

Eine Relation R ist in 4NF, wenn für jede nicht-triviale mehrwertige Abhängigkeit $X \twoheadrightarrow A \in R$ gilt: X ist Superschlüssel von R
Eine mehrwerte Abhängigkeit gilt, wenn die Attributwerte von C nur von A und nicht von B abhängig sind
$A \twoheadrightarrow C$ ist trivial, wenn $C \in A$ oder $B = \emptyset$

Denormalisierung

Normalisierung kostet Zugriffszeit

Wann ist eine Denormalisierung angebracht?

- Seltene Änderungen
- Viele Joins

Bei weiteren Fragen Anhang VL_06 lesen

Relationenalgebra

SQL

Grundstruktur

```
SELECT Personalnummer, Name
FROM Mitarbeiter
WHERE Name = 'Müller'
[GROUP BY]
[HAVING]
ORDER BY Geburtsdatum DESC;
```

Neue Spalten

```
SELECT MNR, Gehalt * 1.1 AS Gehaltsprognose
FROM Angestellte;

SELECT MNR, Gehalt + Werbeeinnahmen AS Einkünfte
FROM Angestellte;

(        SELECT Name, Vorname, Gehalt
        FROM Angestellte)
UNION
(        SELECT Name, Vorname, NULL AS Gehalt
        FROM Kunde);
```

Duplikate

```
SELECT DISTINCT Wohnort
FROM Angestellte;
```

IN

```
SELECT *
FROM Angestellte
WHERE AbtNr IN (6, 4, 2);

SELECT Nachname
FROM Angestellte
WHERE AbtNr IN
        (
                SELECT AbtNr
                FROM Abteilungen
                WEHRE Ort = 'Erlangen'
        );
```

EXISTS

```
SELECT *
FROM Angestellte
WHERE EXISTS (SELECT * FROM Abteilungen WHERE Ort = 'Erlangen');
```

Inner Anfrage muss Bezug zur äußeren Anfrage haben

Mengenvergleiche und Quantoren

```
SELECT *
FROM Angestellte
WHERE Wohnort = ANY (SELECT Ort FROM Abteilungen);

SELECT *
FROM Angestellte
WHERE Gehalt >= ALL (SELECT Gehalt FROM Angestellte);
```

Join

FROM-Klausel

```
SELECT PersNr, Wohnort, Bezeichnung
FROM Angestellte, Abteilung
WHERE Angestellte.AbtNr = Abteilung.AbtNr
        AND Gehalt > 30000
        AND Ort = 'Nürnberg';
```

Auto-Join und Alias-Namen

```
SELECT m.Nachname AS Mitarbeiter, v. Nachname AS Chef
FROM Angestellte [AS] m, Angestellte [AS] v
WHERE m.VorgesNr = v.PersNr
AND m.Gehalt > v.gehalt;
```

Cross Join

```
SELECT * FROM Angestellte, Abteilung;
SELECT * FROM Angestellte CROSS JOIN ABteilung
```

Θ-Join

```
        SELECT * FROM Angestellte, Abteilungen
        WHERE Angestellte.AbtNr = Abteilungen.AbtNr;
        SELECT * FROM Angestellte JOIN Abteilungen ON Angestellte.AbtNr = Abteilung.AbtNr;
```

Gleichverbund

```
SELECT * FROM Angestellte JOIN Abteilung USING (AbtNr);
```

Natürlicher Verbund

```
SELECT * FROM Angestellte NATURAL JOIN Abteilungen;
```

Äußerer Verbund

```
SELECT * FROM Linke NATURAL LEFT OUTER JOIN Rechte;
SELECT * FROM Linke LEFT JOIN Rechte USING (B);

SELECT * FROM Linke RIGHT JOIN Rechte;

SELECT * FROM Linke NATURAL FULL OUTER JOIN Rechte;
```

Sortierung

```
SELECT *  FROM Angestellte
WHERE AbtNr = 5
ORDER BY Gehalt ASC, Nachname DESC;
```

Mengenoperationen

AVG

```
SELECT AVG(Gehalt) FROM Angestellte WHERE ABtNr = 505;
```

COUNT

```
SELECT COUNT(DISTINCT Nachname) FROM Angestellte;
SELECT COUNT(*) FROM Angestellte;
```

SUM

```
SELECT SUM(Gehalt) FROM Angestellte;
```

GROUP BY

Nötig, wenn man Aggregationen auf Teilmengen durchführt

```
SELECT AbtNr, AVG(Gehalt)
FROM Angestellte
GROUP BY AbtNr
```

HAVING

Einschränkungen nach der Gruppenbildung

```
SELECT AbtNr, SUM(Gehalt)
FROM Angestellte
GROUP BY AbtNr
HAVING MAX(Gehalt) > 100000 OR MIN(Gehalt) < 20000;
```

Abarbeitung

1. FROM
2. WHERE
3. GROUP BY
4. HAVING
5. SELECT
6. ORDER BY

NULL

```
SELECT Name
FROM Mitarbeiter
WHERE Gehalt ISNULL
```

CASE

```
SELECT PerNr, Name,
CASE
                WHEN Gehalt > 100000 THEN 'Grossverdiener'
                WHEN Quantity > 30000 THEN 'Normalo'
                WHEN Gehalt ISNULL THEN 'unbekannt'
                ELSE 'ARM'
END AS Gehaltsklasse
FROM Angestellte;
```

WITH

```
WITH D AS (SELECT AVG(x.Gehalt) AS Durchschnitt FROM Angestellte x)
SELECT m.Nachname, m.Nachname
FROM Angestellte
WHERE Gehalt > (SELECT Durchschnitt FROM D);
```

Änderungen in SQL

Einfügen

```
INSERT INTO Angestellte (PersNr, Nachname, AbtNr)
VALUES (1467, 'Seiler', 505);

CREATE TABLE Spitzenverdiener (
        PersNr                INTEGER not null,
        Nachname        VARCHAR(30),
        Gehalt                INTEGER
);
INSERT INTO Spitzenverdiener
(        SELECT PersNr, Nachname, Gehalt
```

```
        FROM Angestellte
        WHERE Gehalt > 100000 );
```

Löschen

```
DELETE FROM Angestellte
WHERE PerNr = 704;

DELETE FROM Angestellte
WHERE AbtNr IN (
        SELECT AbtNr
        FROM Abteilungen
        WHERE Ort = 'Trotzdorf'
);
```

Update

```
UPDATE Angestellte SET AbtNr = 501
WHERE AbtNr >= 502 AND AbtNr <= 505 AND Gehalt > 60000;

UPDATE Angestellte SET Gehalt = Gehalt * 1.1
WHERE AbtNr IN (
        SELECT AbtNr
        FROM Abteilungen
        WHERE Ort = 'Nürnberg'
)
```

Integritätsbedingungen

```
CREATE TABLE Angestellte (
        PersNr                  INT,
        Vorname         VARCHAR(20),
        Name                VARCHAR(30),
        AbtNr                INT NOT NULL DEFAULT 1,
        VorgesNr        INT,
        CONSTRAINT        MitarbeiterPK
                PRIMARY KEY (PerNr),
        CONSTRAINT VorgesetzterFK
                FOREIGN KEY (VorgesNr) REFERENCES Angestellte (PersNr)
                        ON DELETE SET NULL
                        ON UPDATE CASCADE,
        CONSTRAINT AbteilungFK
                FOREIGN KEY (AbtNr) REFERENCES Abteilungen (AbtNr)
                        ON DELETE SET DEFAULT
                        ON UPDATE CASCADE,
);
```

VIEW

```
CREATE VIEW Arme-Angestellte (PerNr, Nachname, Lohn) AS
        SELECT PersNr, Nachname, Gehalt AS Lohn
        FROM Angestellte
        WHERER Gehalt < 400000;

SELECT AVG(Lohn)
FROM Arme-Angestellte;
```

Zugangskontrolle

```
GRANT SELECT (PersNr, Nachname, Gehalt), UPDATE (Gehalt)
ON Angestellte TO Schmidt;

REVOKE UPDATE (Gehalt)
ON Angestellte FROM Schmidt
```

Alter Table

```
ALTER TABLE flaeche
ADD COLUMN anteilSportFreizeit REAL CHECK (anteilSportFreizeit >= 0 AND anteilSportFreizeit <= 100);

ALTER TABLE flaeche
ADD COLUMN anteilWald REAL CHECK (anteilWald >= 0 AND anteilWald <= 100);
```

Multidimensionale Datenmodellierung

OLTP vs. OLAP

OLTP

Online Transaction Processing

OLAP

Online Analytical Processing

Relationenmodell vs. Multidimensionales Datenmodell

Relationenmodell

- Einfach, wenige Modellierungskonstrukte
- Anwendungsneutral
- Keine „eingebaute“ Anwendungssemantik

⇒ Nützlich in beliebigen Domänen, manchmal etwas komplizierter in der Anwendung

Multidimensionales Datenmodell

- Komplexer, mehr Modellierungskonstruke
- Speziell auf Anwendung zur Datenanalyse zugeschnitten

⇒ Nur nützlich für analytische Zwecke

Charakterisierung der Datenanalyse

- Qualifizierende und Quantifizierende Daten
  - Spezielle funktionale Abhängigkeiten ⇒ spezifische Repräsentation
- Klassifikationshierachien
  - Aggregierende Anfragen nutzen Hierarchien zu ihrem Vorteil
- Stabile Daten
  - Daten werden (fast) nie geändert
  - Nur neue Daten hinzugefügt
- Zugriff auf materialisierte Sichten
  - Voraggregierte Daten

Mikro-, Makro- und Meta-Daten

- Mikro-Daten
  - Einzelne Observationen, beschreiben Elementarereignisse
  - Ergebnis der Ladephase → Basisdaten
- Makro-Daten
  - Aggregierte Daten für die Datenanalyse
  - Ergebnis der Auswertungsphase → Data Warehouse, Data Mart
- Meta-Daten
  - Beschreibungsdaten
  - Beschreiben die Eigenschaften von Mikro-Daten und Makro-Daten
  - Beschreiben auch den Entstehungsprozess

Anforderungen

- Datenwürfel soll flexibel durchsucht werden können
- Qualifizierende Daten → Dimensionen des Würfels
- Quantifizierende Daten → Fakten (Zellen des Würfels)
- Dimensionen müssen unabhängig sein
- Eindeutige Trennung von Fakten

MD Entwurf

1. Benutzer-Anforderungen
2. Konzeptionelle Schema
   - semi-formal: mE/R, mUML
3. Logisches Schema
   - formal: Dimensionen, Cubes
4. Physisches Schema
   - Relationen, MD-Strukturen

Logisches Schema einer Dimension

- Partiell geordnete Menge D von Klassifikationsstufen
- Partielle Ordnung erlaubt parallele Hierarchie: „Pfade“
- Orthogonalität: Verschiedene Dimensionen sind unabhänig

Instanz einer Dimension

- Funktionale Abhängigkeiten $\rightarrow$ Baumstruktur auf Instanzebene
- Jeder Pfad im Schema einer Dimension definiert eine Klassenhierarchie
- Klassenhierarchie ist ein balancierter Baum
- Instanz einer Dimension ist die Menge aller Klassenhierarchien

Schema eines Datenwürfels

- Definition: Schema eines Datenwürfels C
  - Struktur: $C[G, M]$
  - Menge von Fakten: $M = (M_1, \ldots, M_m)$
  - Granularität: $G = (G_1, \ldots, G_n)$
  - Jedes G_i ist ein dimensionales Attribut
- Bsp.:
  - Sales und Turnover pro Article, Shop und Day
    - $C_{\text{sales}}[(P.\text{Article}, S.\text{Shop}, T.\text{Day}), (\text{Sales}, \text{Turnover})]$
- Fakten (Kenngrößen)
  - können auch Eigenschaften zugesprochen werden
  - sind aber keine Datenstruktur an sich, eher analog zu einem Wertebereich
- Aggregatstyp

  - nicht-triviale Eigenschafen neben Name und Wertebereich → definiert, welche Aggregationsoperationen auf einer Kenngröße ausgeführt werden dürfen
    1. beliebig aggregierbar (Sales, Turnover, …): FLOW
    2. nicht temporal summierbar (Stock, Inventory, …): STOCK
    3. nicht summierbar (Preis, Steuer, i.Allg. Faktoren): VPU (Value per Unit)
  - MIN, MAX & AVG können immer durchgeführt werden

Instanz eines Würfels

- Alle Zellen aus dem Definitionsbereich des Datenwürfels werden als existierend angenommen, egal ob ein Datensatz physisch vorhanden ist
- Gegenüberstellung: Im relationalen Datenmodell herrscht eine andere Grundannahme vor (→ „closed world"-Prinzip): Nichts wird angenommen, was nicht explizit als Datensatz vorhanden ist (→ „Intension vs. Extension")

Multidimensionale Operatoren

- Slice
- Dice
- Drill-Down: Abstieg in der Klassifikationshierarchie zu feinerem Granulat
- Roll-Up: Aufstieg in der Klassifikationshierarchie hin zu gröberem Granulat
- Drill-Across: Verknüpfung mehrerer Datenwürfel mit gemeinsamen Dimensionen
- Drill-Through: Wechsel zu den Originaldaten
- Pivotisierung: Wechsel der Darstellung in einer Pivottabelle, entspricht Drehen des Würfels

Aggregation

- Zusammenfassen mehrerer Zellen
- Notwendig beim Roll-Up
- Bsp.: vom Tag zum Monat, vom Produkt zur Kategorie
- Standart
  - SUM
  - AVG
  - MIN
  - MAX
  - COUNT
- Ordnungsbasiert
  - cumulating
  - ranking

MD Schemaentwurf (Kimball)

1. Auswahl eines Geschäftsprozesses →Subjektorientierung
2. Auswahl der Erfassungsgranularität
3. Auswahl der Dimensionen
4. Auswahl der Kennziffern

ROLAP

- Idee für die Speicherung multidimensionaler Daten
  - Tabelle mit zusammengesetztem Primärschlüssel aus den Dimensionen
  - (Nur) für jede vorhandene Datenzelle wird ein Tupel abgespeichert
- Trennung von Struktur und Inhalt führt zur Aufteilung in
  - zentrale „Fact Table“ und
  - Dimensionstabellen

Star Schema

- Eine Tabelle für jede Dimension

Snowflake Schema

- Normalisierung der Dimensionstabellen
- Viele Tabellen je Dimension

Schichtenmodell

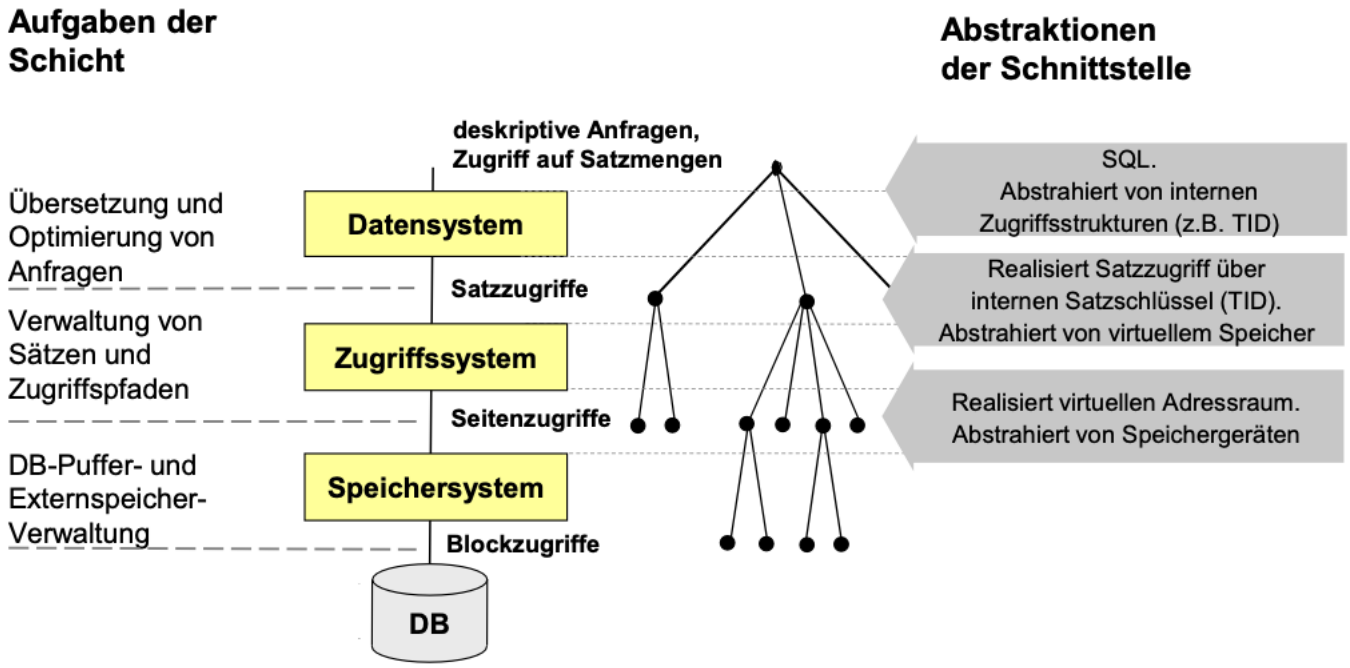
Konsequenzen

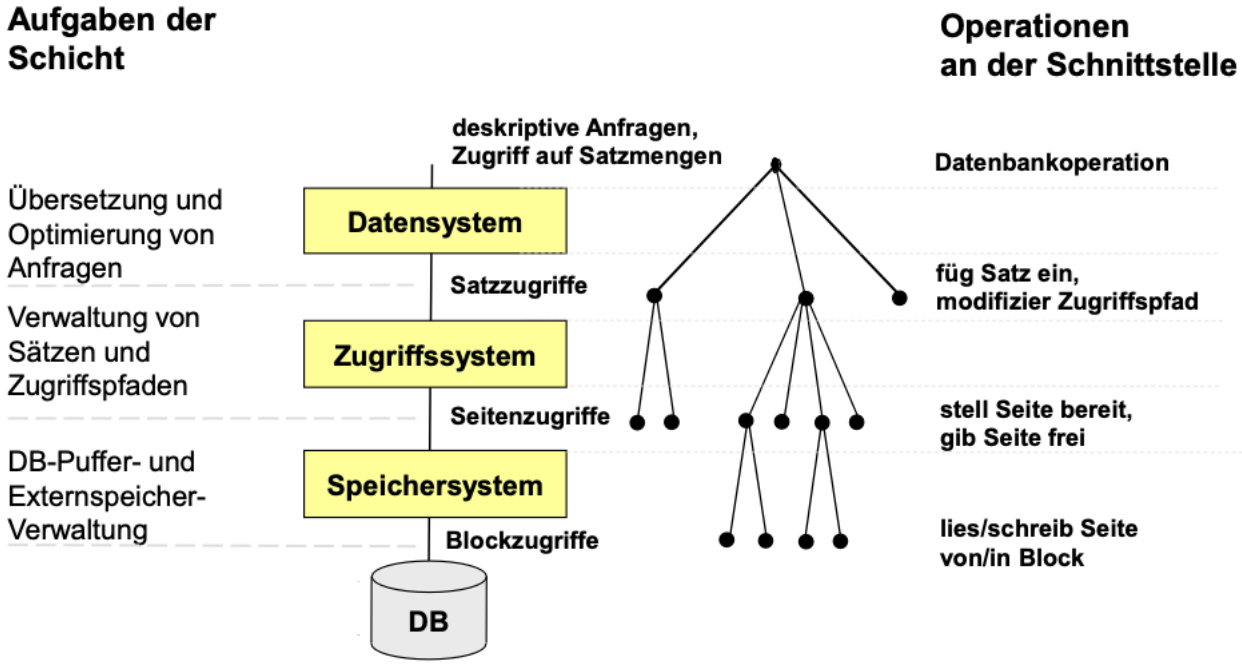
- Höhere Ebenen werden einfacher
- Änderungen auf höheren Ebenen haben keinen Einfluss auf niedrigere
- Änderungen sind unproblematisch, solange die Schnittstelle gleich bleibt
- Ebenen sind wiederverwendbar
- Tiefere Ebenen können vor höheren getestet werden

⇒

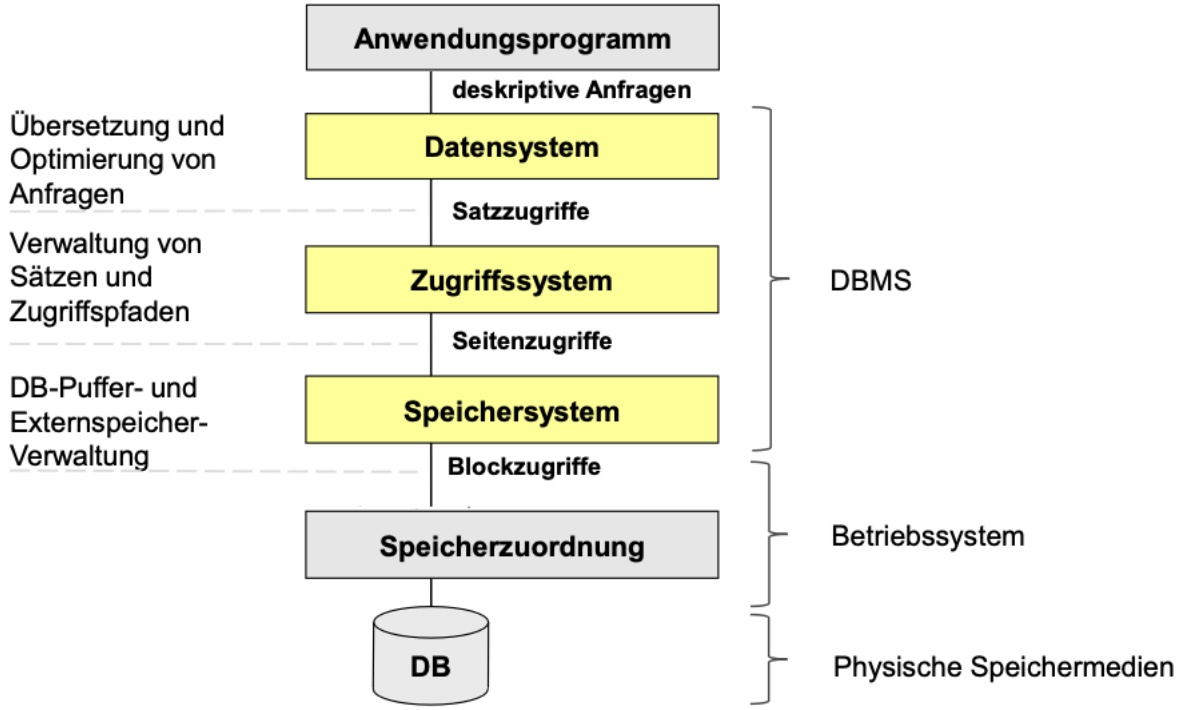
- Reduzierte Komplexität
- Verbesserung der Wartbarkeit
- Verbesserung der Portierbarkeit
- Verbesserung der Wiederverwendbarkeit

Schichtenmodell eines DBVS

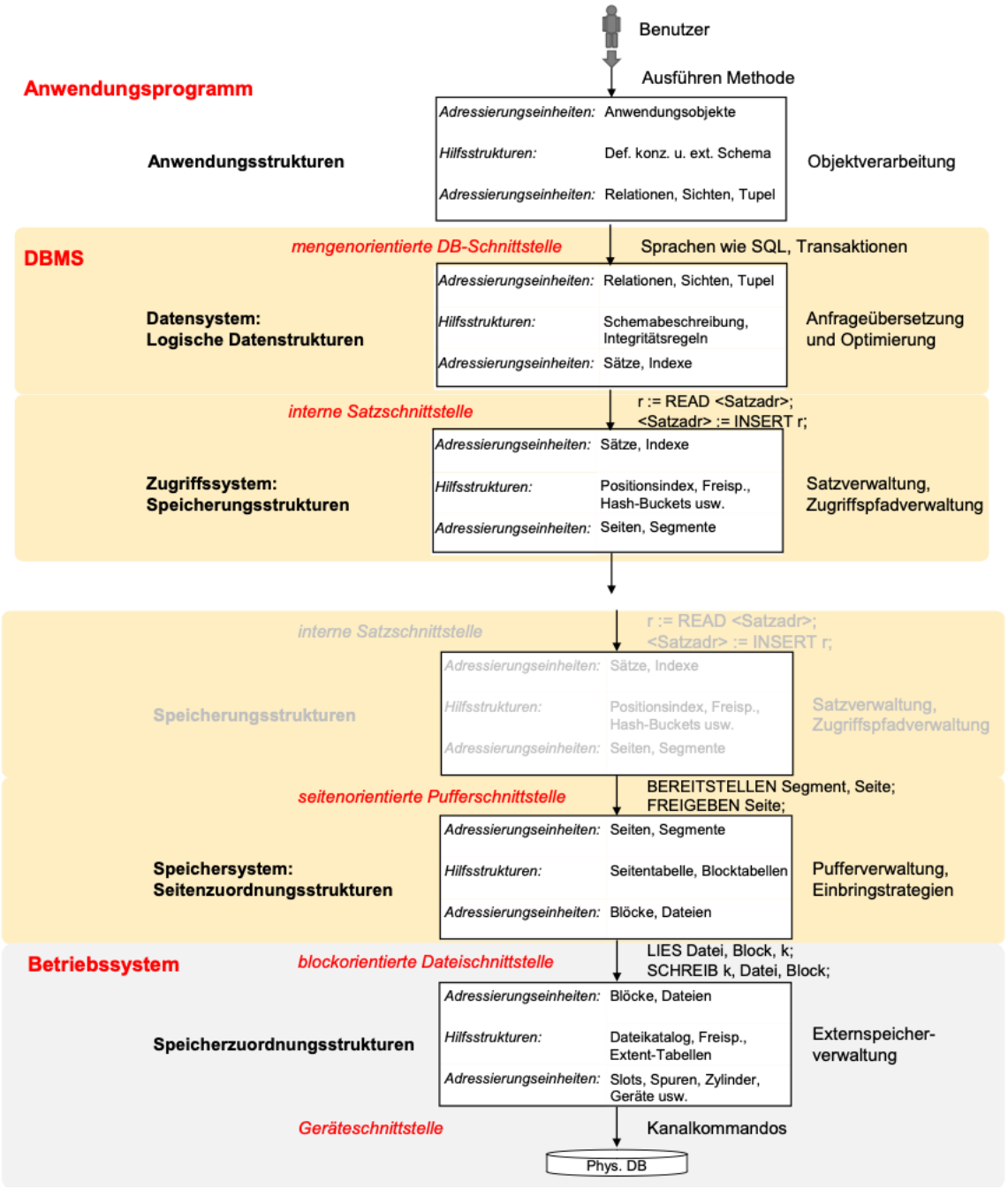




Aufgaben der Schicht



Erweitertes Schichtenmodell



Satzadresse

Eine Satzadresse sollte

- eindeutig

- unveränderlich
- Paar aus Seitennummer und Feldindex

sein

Transaktionen

Erwünschte Zustände auf einer Platte

Physische Konsistenz

- Korrektheit der Speicherungskonstrukte
- Alle Verweise und Adressen (TIDs) stimmen
- Alle Indexe sind vollständig und stimmen mit Primärdaten überein

Logische Konsistenz

- Korrektheit der Dateninhalte
- Alle im Datenbankschema formulierten Integritätsbedingungen sind erfüllt

Annahmen

- Alle vollständig ausgeführten DB-Operationen hinterlassen einen physisch konsistenten Zustand
- Alle vollständig ausgeführten Anwendungsprogramme hinterlassen einen logisch konsistenten Zustand

Nach einem Fehler

- Die Daten sind i.Allg. weder physisch noch logisch konsistent

Systemunterstützung

- zur Wiederherstellung eines logischen und physischen konsistenten Zustands der Daten nach einem Fehlerfall

Der herzustellende konsistente Zustand kann sein

- Vor Beginn der Änderungen eines unvollständig ausgeführten Programms
  - Rückgängigmachen der bereits ausgeführten Änderungen
- Nach Abschluss aller Änderungen eines Programms
  - Komplettieren der unvollständigen Änderungen bzw. Wiederholen verlorengegangener Änderungen

Voraussetzungen

- Geeignete Sicherungs- und Protokollierungsmaßnahmen im laufenden Betrieb (Log)
- Protokolldatei

Pufferverwaltung