

Datenbanksysteme

Vorlesung im SS 2009

zehnte, überarbeitete Auflage

Oliver Vornberger

Patrick Fox

Institut für Informatik

Universität Osnabrück

Literatur

- Date, C.J.:
An Introduction to Database Systems,
Addison-Wesley, 6. Auflage 1995.
- Elmasri R. & S. Navathe:
Fundamentals of Database Systems,
Addison Wesley, 3. Auflage 2000
- Greenspan, J. & B. Bulger:
MySQL/PHP-Datenbankanwendungen,
mitp, 1. Auflage 2001.
- Hamilton G., R. Cattell, M. Fisher:
JDBC Datenbankzugriff mit Java,
Addison-Wesley, Bonn, 1998
- Heuer, A. & G. Saake:
Datenbanken - Konzepte und Sprachen,
International Thompson Publishing, 2. Auflage 2000.
- Kemper, A. & A. Eickler:
Datenbanksysteme - Eine Einführung
Oldenbourg, 4. Auflage 2001.
- Schlageter, G. & W. Stucky:
Datenbanksysteme: Konzepte und Modelle
Teubner Studienbuch Informatik, 2. Auflage 1983
- Ullman, J. D.:
Principles of Data and Knowledge-Base Systems,
Computer Science Press, 1988.
- Riordan, R.:
Microsoft SQL Server 2000 - Programmierung Schritt für Schritt,
Microsoft Press, 2001
- Cuber, U.:
Microsoft SQL Programmierung - Schritt für Schritt,
Microsoft Press, 2002

Die Vorlesung orientiert sich überwiegend an dem Buch von Kemper/Eickler. Zahlreiche Beispiele und Grafiken wurden von dort übernommen. 10 Exemplare sind in der Lehrbuchsammlung vorhanden (Standort: N-LB, Signatur: TWY/Kem).

HTML-Version

Der Inhalt dieser Vorlesung und die dazu gehörenden Übungsaufgaben können online abgerufen werden unter <http://www-lehre.inf.uos.de/~dbs/2009>

Danksagung

Wir danken ...

... Astrid Heinze für sorgfältiges Erfassen zahlreicher Texte, Grafiken und Tabellen.

... Friedhelm Hofmeyer, Ralf Kunze und Olaf Müller für die Installation und Erprobung diverser Software-Pakete.

Osnabrück, im März 2009



Oliver Vornberger



Patrick Fox

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einführung | 11 |
| 1.1 | Definition | 11 |
| 1.2 | Motivation | 11 |
| 1.3 | Datenabstraktion | 12 |
| 1.4 | Transformationsregeln | 13 |
| 1.5 | Datenunabhängigkeit | 14 |
| 1.6 | Modellierungskonzepte | 14 |
| 1.7 | Architektur | 16 |
| 2 | Konzeptuelle Modellierung | 19 |
| 2.1 | Das Entity-Relationship-Modell | 19 |
| 2.2 | Schlüssel | 20 |
| 2.3 | Charakterisierung von Beziehungstypen | 20 |
| 2.4 | Die (<i>min</i> , <i>max</i>)-Notation | 21 |
| 2.5 | Existenzabhängige Entity-Typen | 22 |
| 2.6 | Generalisierung | 23 |
| 2.7 | Aggregation | 24 |
| 2.8 | Konsolidierung | 25 |
| 2.9 | UML | 28 |
| 3 | Logische Datenmodelle | 31 |
| 3.1 | Das Hierarchische Datenmodell | 31 |
| 3.2 | Das Netzwerk-Datenmodell | 34 |
| 3.3 | Das Relationale Datenmodell | 35 |
| 3.4 | Das Objektorientierte Modell | 36 |
| 4 | Physikalische Datenorganisation | 37 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.1 | Grundlagen | 37 |
| 4.2 | Heap-File | 40 |
| 4.3 | Hashing | 40 |
| 4.4 | ISAM | 43 |
| 4.5 | B*-Baum | 46 |
| 4.6 | Sekundär-Index | 49 |
| 4.7 | Google | 50 |
| 5 | Mehrdimensionale Suchstrukturen | 53 |
| 5.1 | Problemstellung | 53 |
| 5.2 | k-d-Baum | 54 |
| 5.3 | Gitterverfahren mit konstanter Gittergröße | 57 |
| 5.4 | Grid File | 57 |
| 5.5 | Aufspalten und Mischen beim Grid File | 58 |
| 5.6 | Verwaltung geometrischer Objekte | 62 |
| 6 | Das Relationale Modell | 65 |
| 6.1 | Definition | 65 |
| 6.2 | Umsetzung in ein relationales Schema | 66 |
| 6.3 | Verfeinerung des relationalen Schemas | 67 |
| 6.4 | Abfragesprachen | 71 |
| 6.5 | Relationenalgebra | 72 |
| 6.6 | Relationenkalkül | 77 |
| 6.7 | Der relationale Tupelkalkül | 77 |
| 6.8 | Der relationale Domänenkalkül | 78 |
| 6.9 | Query by Example | 78 |
| 6.10 | SQL | 80 |
| 7 | SQL | 81 |
| 7.1 | SQL-Server | 81 |
| 7.2 | Sprachphilosophie | 82 |
| 7.3 | Datentypen | 83 |
| 7.4 | SQL-Statements zur Schemadefinition | 83 |
| 7.5 | Aufbau einer SQL-Query zum Anfragen | 85 |
| 7.6 | SQL-Queries zum Anfragen | 86 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 7.7 | SQL-Statements zum Einfügen, Modifizieren und Löschen | 91 |
| 7.8 | SQL-Statements zum Anlegen von Sichten | 92 |
| 7.9 | SQL-Statements zum Anlegen von Indizes | 93 |
| 7.10 | Load data infile | 94 |
| 7.11 | SQL-Scripte | 94 |
| 8 | Datenintegrität | 97 |
| 8.1 | Grundlagen | 97 |
| 8.2 | Referentielle Integrität | 97 |
| 8.3 | Referentielle Integrität in SQL | 98 |
| 8.4 | Statische Integrität in SQL | 100 |
| 8.5 | Trigger | 103 |
| 9 | Datenbankapplikationen | 105 |
| 9.1 | ODBC | 105 |
| 9.2 | Microsoft Visio | 106 |
| 9.3 | Microsoft Access | 107 |
| 9.4 | Embedded SQL | 111 |
| 9.5 | JDBC | 114 |
| 9.6 | Java-Servlets | 121 |
| 9.7 | Java Server Pages | 123 |
| 9.8 | Cold Fusion | 127 |
| 9.9 | PHP | 143 |
| 10 | XML | 155 |
| 10.1 | Strukturierte Texte | 156 |
| 10.2 | Strukturierte Daten | 160 |
| 10.3 | XML-Ausgabe auf Web-Seiten | 165 |
| 10.4 | XML vom Microsoft SQL Server 2000 | 172 |
| 10.5 | XQuery | 174 |
| 10.6 | Apache Xindice | 175 |
| 10.7 | Web Services | 176 |
| 11 | Relationale Entwurfstheorie | 181 |
| 11.1 | Funktionale Abhängigkeiten | 181 |
| 11.2 | Schlüssel | 182 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 11.3 | Bestimmung funktionaler Abhängigkeiten | 183 |
| 11.4 | Schlechte Relationenschemata | 186 |
| 11.5 | Zerlegung von Relationen | 186 |
| 11.6 | Erste Normalform | 188 |
| 11.7 | Zweite Normalform | 188 |
| 11.8 | Dritte Normalform | 190 |
| 11.9 | Boyce-Codd Normalform | 191 |
| 12 | Transaktionsverwaltung | 193 |
| 12.1 | Begriffe | 193 |
| 12.2 | Operationen auf Transaktionsebene | 193 |
| 12.3 | Abschluß einer Transaktion | 194 |
| 12.4 | Eigenschaften von Transaktionen | 194 |
| 12.5 | Transaktionsverwaltung in SQL | 194 |
| 12.6 | Zustandsübergänge einer Transaktion | 195 |
| 12.7 | Transaktionsverwaltung beim SQL-Server 2000 | 196 |
| 13 | Recovery | 197 |
| 13.1 | Fehlerklassen | 197 |
| 13.1.1 | Lokaler Fehler einer Transaktion | 197 |
| 13.1.2 | Fehler mit Hauptspeicherverlust | 197 |
| 13.1.3 | Fehler mit Hintergrundspeicherverlust | 198 |
| 13.2 | Die Speicherhierarchie | 199 |
| 13.2.1 | Ersetzen von Pufferseiten | 199 |
| 13.2.2 | Zurückschreiben von Pufferseiten | 199 |
| 13.2.3 | Einbringstrategie | 200 |
| 13.3 | Protokollierung der Änderungsoperationen | 200 |
| 13.3.1 | Rücksetzbare Historien | 200 |
| 13.3.2 | Struktur der Log-Einträge | 201 |
| 13.3.3 | Beispiel einer Log-Datei | 201 |
| 13.3.4 | Logische versus physische Protokollierung | 202 |
| 13.3.5 | Schreiben der Log-Information | 202 |
| 13.3.6 | WAL-Prinzip | 203 |
| 13.4 | Wiederanlauf nach einem Fehler | 203 |
| 13.5 | Sicherungspunkte | 205 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 13.6 | Verlust der materialisierten Datenbasis | 205 |
| 13.7 | Datensicherung beim SQL-Server 2000 | 206 |
| 14 | Mehrbenutzersynchronisation | 207 |
| 14.1 | Multiprogramming | 207 |
| 14.2 | Fehler bei unkontrolliertem Mehrbenutzerbetrieb | 207 |
| 14.2.1 | Lost Update | 207 |
| 14.2.2 | Dirty Read | 208 |
| 14.2.3 | Phantomproblem | 208 |
| 14.3 | Serialisierbarkeit | 209 |
| 14.4 | Theorie der Serialisierbarkeit | 211 |
| 14.5 | Algorithmus zum Testen auf Serialisierbarkeit: | 212 |
| 14.6 | Sperrbasierte Synchronisation | 214 |
| 14.7 | Verklemmungen (Deadlocks) | 216 |
| 14.8 | Hierarchische Sperrgranulate | 217 |
| 14.9 | Zeitstempelverfahren | 220 |
| 15 | Sicherheit | 223 |
| 15.1 | Legislative Maßnahmen | 223 |
| 15.2 | Organisatorische Maßnahmen | 223 |
| 15.3 | Authentisierung | 224 |
| 15.4 | Zugriffskontrolle | 224 |
| 15.5 | Auditing | 226 |
| 15.6 | Kryptographie | 227 |
| 15.6.1 | Public Key Systems | 228 |
| 15.6.2 | Das RSA-Verfahren | 228 |
| 15.6.3 | Korrektheit des RSA-Verfahrens | 228 |
| 15.6.4 | Effizienz des RSA-Verfahrens | 229 |
| 15.6.5 | Sicherheit des RSA-Verfahrens | 231 |
| 15.6.6 | Implementation des RSA-Verfahrens | 231 |
| 16 | Objektorientierte Datenbanken | 233 |
| 16.1 | Schwächen relationaler Systeme | 233 |
| 16.2 | Vorteile der objektorientierten Modellierung | 235 |
| 16.3 | Der ODMG-Standard | 236 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 16.4 | Eigenschaften von Objekten | 236 |
| 16.5 | Definition von Attributen | 237 |
| 16.6 | Definition von Beziehungen | 238 |
| 16.7 | Extensionen und Schlüssel | 242 |
| 16.8 | Modellierung des Verhaltens | 242 |
| 16.9 | Vererbung | 243 |
| 16.10 | Beispiel einer Typhierarchie | 245 |
| 16.11 | Verfeinerung und spätes Binden | 245 |
| 16.12 | Mehrfachvererbung | 247 |
| 16.13 | Die Anfragesprache OQL | 249 |
| 16.14 | C++-Einbettung | 251 |
| 17 | Data Warehouse | 255 |
| 17.1 | Datenbankentwurf für Data Warehouse | 256 |
| 17.2 | Star Join | 258 |
| 17.3 | Roll-Up/Drill-Down-Anfragen | 258 |
| 17.4 | Materialisierung von Aggregaten | 259 |
| 17.5 | Der Cube-Operator | 261 |
| 17.6 | Data Warehouse-Architekturen | 262 |
| 17.7 | Data Mining | 262 |

Kapitel 1

Einführung

1.1 Definition

Ein **Datenbanksystem** (auch *Datenbankverwaltungssystem*, abgekürzt *DBMS = data base management system*) ist ein computergestütztes System, bestehend aus einer Datenbasis zur Beschreibung eines Ausschnitts der Realwelt sowie Programmen zum geregelten Zugriff auf die Datenbasis.

1.2 Motivation

Die separate Abspeicherung von teilweise miteinander in Beziehung stehenden Daten durch verschiedene Anwendungen würde zu schwerwiegenden Problemen führen:

- **Redundanz:**
Dieselben Informationen werden doppelt gespeichert.
- **Inkonsistenz:**
Dieselben Informationen werden in unterschiedlichen Versionen gespeichert.
- **Integritätsverletzung:**
Die Einhaltung komplexer Integritätsbedingungen fällt schwer.
- **Verknüpfungseinschränkung:**
Logisch verwandte Daten sind schwer zu verknüpfen, wenn sie in isolierten Dateien liegen.
- **Mehrbenutzerprobleme:**
Gleichzeitiges Editieren derselben Datei führt zu Anomalien (*lost update*).
- **Verlust von Daten:**
Außer einem kompletten Backup ist kein Recoverymechanismus vorhanden.
- **Sicherheitsprobleme:**
Abgestufte Zugriffsrechte können nicht implementiert werden.
- **Hohe Entwicklungskosten:**
Für jedes Anwendungsprogramm müssen die Fragen zur Dateiverwaltung erneut gelöst werden.

Also bietet sich an, mehreren Anwendungen in jeweils angepaßter Weise den Zugriff auf eine gemeinsame Datenbasis mit Hilfe eines Datenbanksystems zu ermöglichen (Abbildung 1.1).

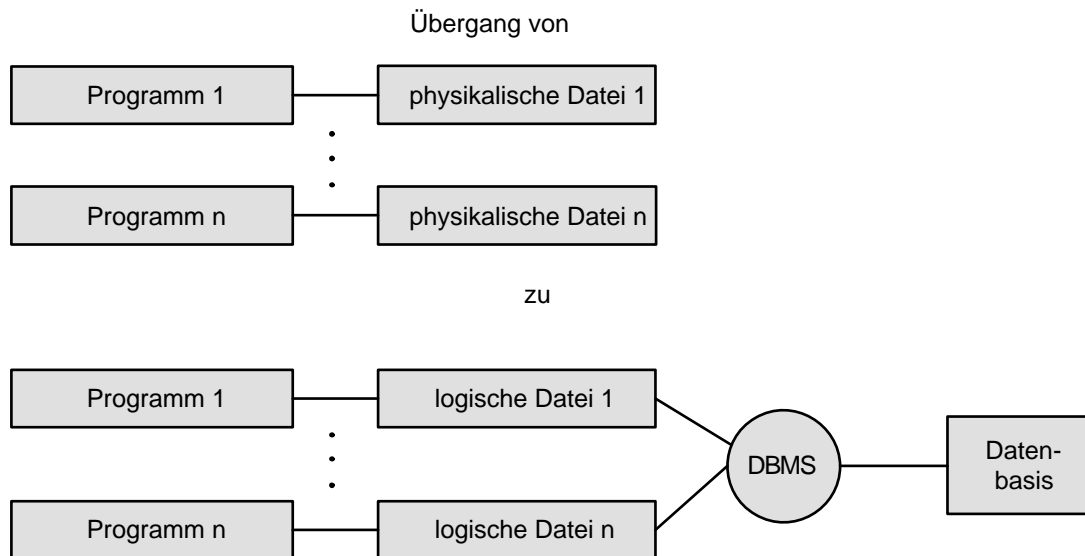


Abbildung 1.1: Isolierte Dateien versus zentrale Datenbasis

1.3 Datenabstraktion

Man unterscheidet drei Abstraktionsebenen im Datenbanksystem (Abbildung 1.2):

- **Konzeptuelle Ebene**

Hier wird, unabhängig von allen Anwenderprogrammen, die Gesamtheit aller Daten, ihre Strukturierung und ihre Beziehungen untereinander beschrieben. Die Formulierung erfolgt vom *enterprise administrator* mittels einer *DDL (data definition language)*. Das Ergebnis ist das konzeptuelle Schema, auch genannt Datenbankschema.

- **Externe Ebene**

Hier wird für jede Benutzergruppe eine spezielle anwendungsbezogene Sicht der Daten (*view*) spezifiziert. Die Beschreibung erfolgt durch den *application administrator* mittels einer *DDL*, der Umgang vom Benutzer erfolgt durch eine *DML (data manipulation language)*. Ergebnis ist das externe Schema.

- **Interne Ebene**

Hier wird festgelegt, in welcher Form die logisch beschriebenen Daten im Speicher abgelegt werden sollen. Geregelt werden record-Aufbau, Darstellung der Datenbestandteile, Dateiorganisation, Zugriffspfade. Für einen effizienten Entwurf werden statistische Informationen über die Häufigkeit der Zugriffe benötigt. Die Formulierung erfolgt durch den *database administrator*. Ergebnis ist das interne Schema.

Das *Datenbankschema* legt also die Struktur der abspeicherbaren Daten fest und sagt noch nichts über die individuellen Daten aus. Unter der *Datenbankausprägung* versteht man den momentan gültigen

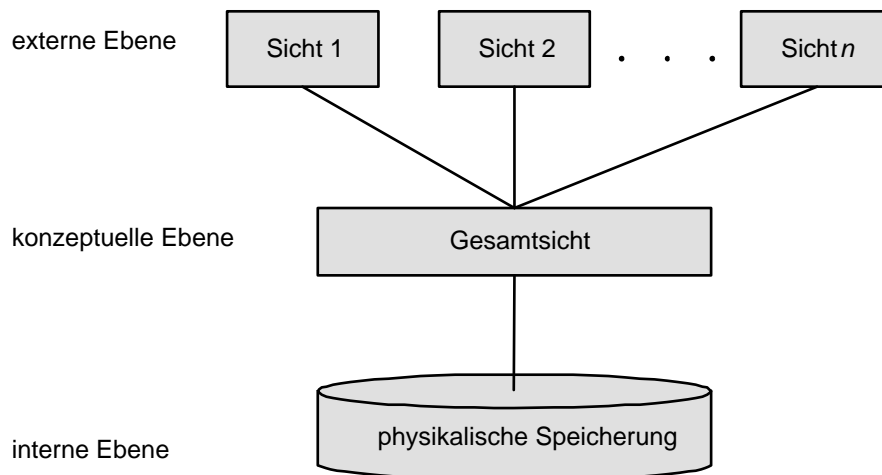


Abbildung 1.2: Drei Abstraktionsebenen eines Datenbanksystems

Zustand der Datenbasis, die natürlich den im Schema festgelegten Strukturbeschreibungen gehorchen muß.

1.4 Transformationsregeln

Die Verbindungen zwischen den drei Ebenen werden durch die *Transformationsregeln* definiert. Sie legen fest, wie die Objekte der verschiedenen Ebenen aufeinander abgebildet werden. Z. B. legt der *Anwendungsadministrator* fest, wie Daten der externen Ebene aus Daten der konzeptuellen Ebene zusammengesetzt werden. Der *Datenbank-Administrator (DBA)* legt fest, wie Daten der konzeptuellen Ebene aus den abgespeicherten Daten der internen Ebene zu rekonstruieren sind.

- **Beispiel Bundesbahn:**

Die Gesamtheit der Daten (d. h. Streckennetz mit Zugverbindungen) ist beschrieben im konzeptuellen Schema (Kursbuch). Ein externes Schema ist z. B. beschrieben im Heft *Städteverbindungen Osnabrück*.

- **Beispiel Personaldatei:**

Die konzeptuelle Ebene bestehe aus Angestellten mit ihren Namen, Wohnorten und Geburtsdaten. Das externe Schema *Geburtstagsliste* besteht aus den Komponenten *Name*, *Datum*, *Alter*, wobei das *Datum* aus Tag und Monat des Geburtsdatums besteht, und *Alter* sich aus der Differenz vom laufenden Jahr und Geburtsjahr berechnet.

Im internen Schema wird festgelegt, daß es eine Datei *PERS* gibt mit je einem record für jeden Angestellten, in der für seinen Wohnort nicht der volle Name, sondern eine Kennziffer gespeichert ist. Eine weitere Datei *ORT* enthält Paare von Kennziffern und Ortsnamen. Diese Speicherorganisation spart Platz, wenn es nur wenige verschiedene Ortsnamen gibt. Sie verlangsamt allerdings den Zugriff auf den Wohnort.

1.5 Datenunabhängigkeit

Die drei Ebenen eines DBMS gewähren einen bestimmten Grad von *Datenunabhängigkeit*:

- **Physische Datenunabhängigkeit:**
Die Modifikation der physischen Speicherstruktur (z. B. das Anlegen eines Index) verlangt nicht die Änderung der Anwenderprogramme.
- **Logische Datenunabhängigkeit:**
Die Modifikation der Gesamtsicht (z. B. das Umbenennen von Feldern) verlangt nicht die Änderung der Benutzersichten.

1.6 Modellierungskonzepte

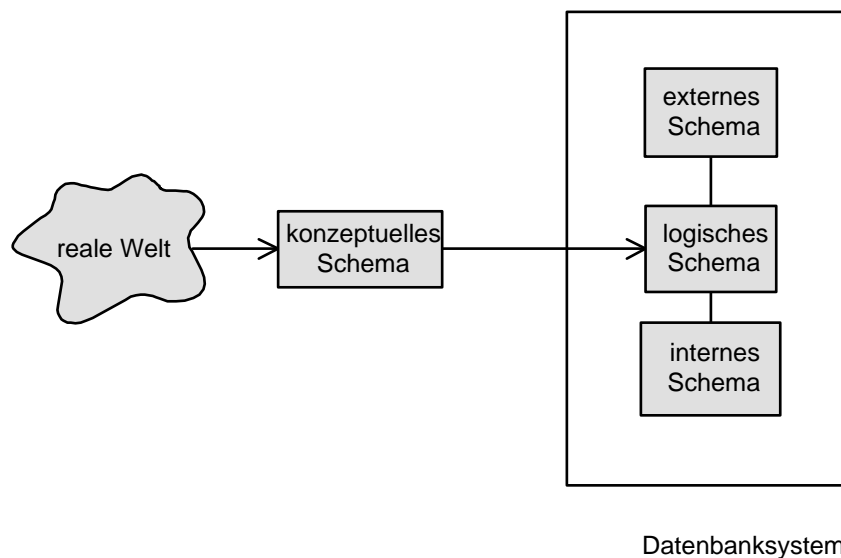


Abbildung 1.3: 2-stufige Modellierung

Das konzeptuelle Schema soll sowohl die reale Welt unabhängig von DV-Gesichtspunkten beschreiben als auch die Grundlage für das interne Schema bilden, welches natürlich stark maschinenabhängig ist. Um diesen Konflikt zu lösen, stellt man dem konzeptuellen Schema ein sogenanntes “logisches” Schema zur Seite, welches die Gesamtheit der Daten zwar hardware-unabhängig, aber doch unter Berücksichtigung von Implementationsgesichtspunkten beschreibt. Das logische Schema heißt darum auch implementiertes konzeptuelles Schema. Es übernimmt die Rolle des konzeptuellen Schemas, das nun nicht mehr Teil des eigentlichen Datenbanksystems ist, sondern etwas daneben steht und z. B. auch aufgestellt werden kann, wenn überhaupt kein Datenbanksystem zum Einsatz kommt (1.3).

Zur Modellierung der konzeptuellen Ebene verwendet man das **Entity-Relationship-Modell**, welches einen Ausschnitt der Realwelt unter Verwendung von *Entities* und *Relationships* beschreibt :

- **Entity:**
Gegenstand des Denkens und der Anschauung (z. B. eine konkrete Person, ein bestimmter Ort)

- **Relationship:**

Beziehung zwischen den entities (z. B. wohnen in)

Entities werden charakterisiert durch eine Menge von Attributen, die gewisse Attributwerte annehmen können. Entities, die durch dieselbe Menge von Attributen charakterisiert sind, können zu einer Klasse, einem Entity-Typ, zusammengefaßt werden. Entsprechend entstehen Relationship-Typen.

- **Beispiel:**

Entity-Typ Studenten habe die Attribute Matr.-Nr., Name, Hauptfach.

Entity-Typ Orte habe die Attribute PLZ, Name.

Relationship-Typ wohnen in setzt Studenten und Orte in Beziehung zueinander.

Die graphische Darstellung erfolgt durch Entity-Relationship-Diagramme (E-R-Diagramm). Entity-Typen werden durch Rechtecke, Beziehungen durch Rauten und Attribute durch Ovale dargestellt. Abbildung 1.4 zeigt ein Beispiel.

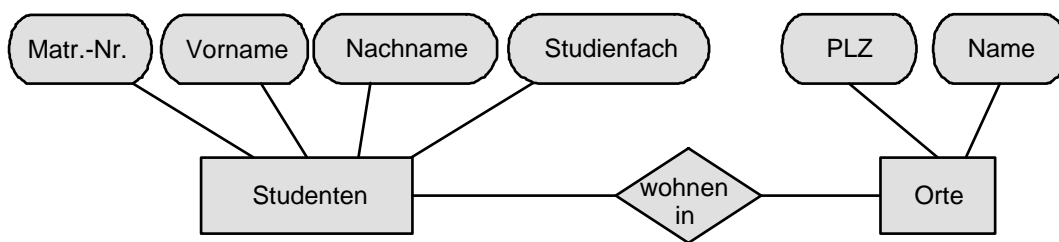


Abbildung 1.4: Beispiel für E-R-Diagramm

Zur Formulierung des logischen Schemas stehen je nach zugrundeliegendem Datenbanksystem folgende Möglichkeiten zur Wahl:

- Das hierarchische Modell (z. B. IMS von IBM)
- Das Netzwerkmodell (z. B. UDS von Siemens)
- Das relationale Modell (z. B. Access von Microsoft)
- Das objektorientierte Modell (z. B. O_2 von O_2 Technology)

Das hierarchische Modell (basierend auf dem Traversieren von Bäumen) und das Netzwerkmodell (basierend auf der Navigation in Graphen) haben heute nur noch historische Bedeutung und verlangen vom Anwender ein vertieftes Verständnis der satzorientierten Speicherstruktur. Relationale Datenbanksysteme (basierend auf der Auswertung von Tabellen) sind inzwischen marktbeherrschend und werden teilweise durch Regel- und Deduktionskomponenten erweitert. Objektorientierte Systeme fassen strukturelle und verhaltensmäßige Komponenten in einem Objekttyp zusammen und gelten als die nächste Generation von Datenbanksystemen.

1.7 Architektur

Abbildung 1.5 zeigt eine vereinfachte Darstellung der Architektur eines Datenbankverwaltungssystems. Im oberen Bereich finden sich vier Benutzerschnittstellen:

- Für häufig zu erledigende und wiederkehrende Aufgaben werden speziell abgestimmte Anwendungsprogramme zur Verfügung gestellt (Beispiel: Flugreservierungssystem).
- Fortgeschrittene Benutzer mit wechselnden Aufgaben formulieren interaktive Anfragen mit einer flexiblen Anfragesprache (wie SQL).
- Anwendungsprogrammierer erstellen komplexe Applikationen durch “Einbettung” von Elementen der Anfragesprache (embedded SQL)
- Der Datenbankadministrator modifiziert das Schema und verwaltet Benutzerkennungen und Zugriffsrechte.

Der DDL-Compiler analysiert die Schemamanipulationen durch den DBA und übersetzt sie in Metadaten.

Der DML-Compiler übersetzt unter Verwendung des externen und konzeptuellen Schemas die Benutzer-Anfrage in eine für den Datenbankmanager verständliche Form. Dieser besorgt die benötigten Teile des internen Schemas und stellt fest, welche physischen Sätze zu lesen sind. Dann fordert er vom Filemanager des Betriebssystems die relevanten Blöcke an und stellt daraus das externe entity zusammen, welches im Anwenderprogramm verarbeitet wird.

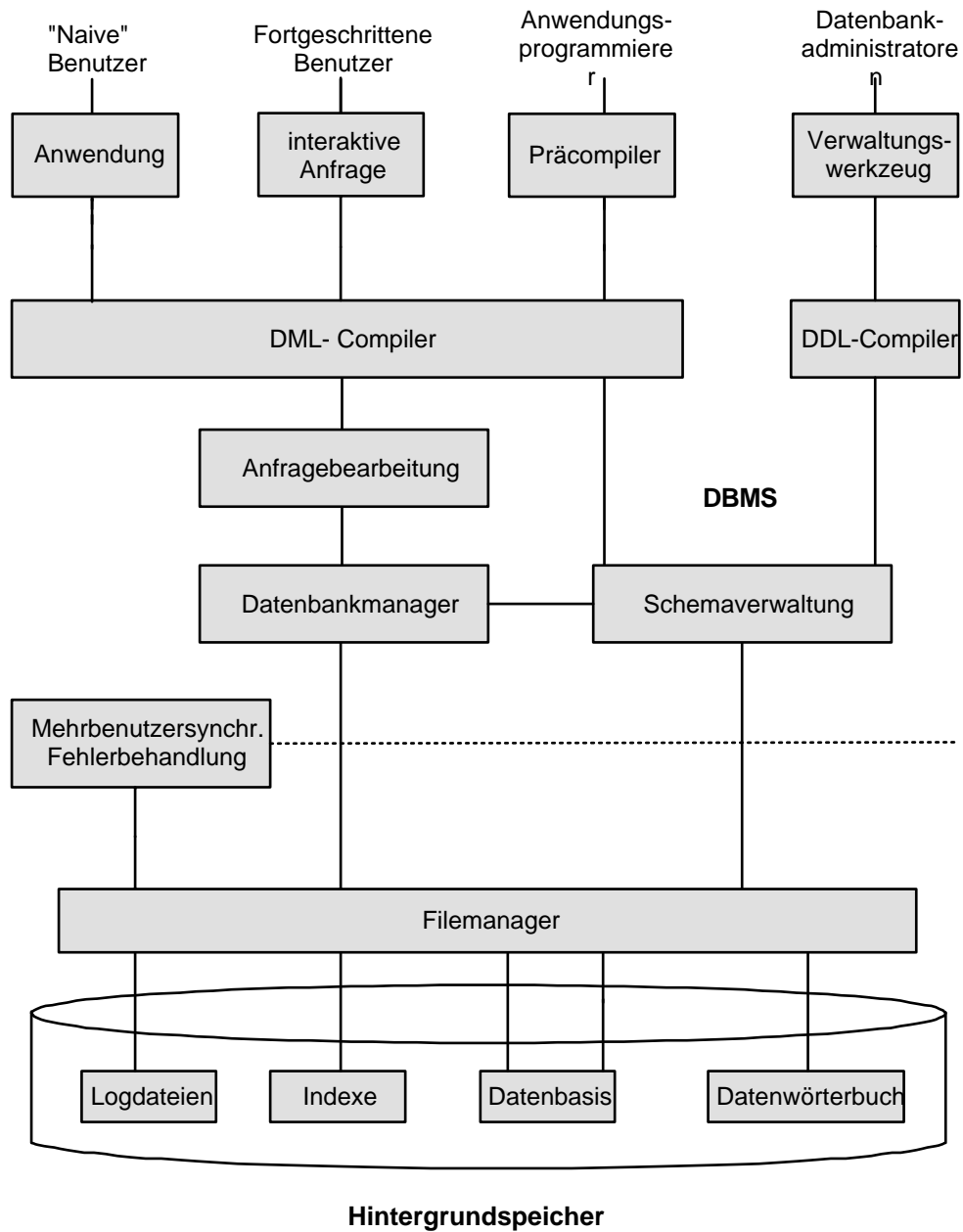


Abbildung 1.5: Architektur eines DBMS

Kapitel 2

Konzeptuelle Modellierung

2.1 Das Entity-Relationship-Modell

Die grundlegenden Modellierungsstrukturen dieses Modells sind die *Entities* (Gegenstände) und die *Relationships* (Beziehungen) zwischen den Entities. Des weiteren gibt es noch *Attribute* und *Rollen*. Die Ausprägungen eines Entity-Typs sind seine Entities, die Ausprägung eines Relationship-Typs sind seine Relationships. Nicht immer ist es erforderlich, diese Unterscheidung aufrecht zu halten.

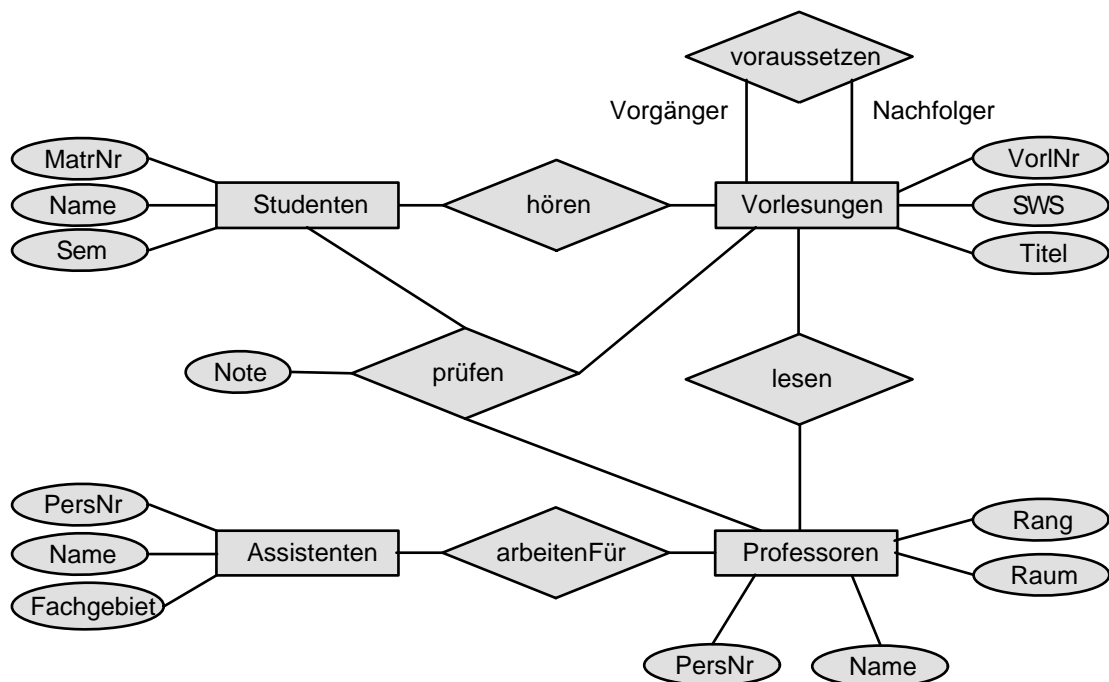


Abbildung 2.1: ER-Diagramm für Universität

Entities sind physisch oder gedanklich existierende Konzepte der zu modellierenden Welt, dargestellt

im ER-Diagramm durch Rechtecke. Attribute charakterisieren die Entities und werden durch Ovale beschrieben. Beziehungen zwischen den Entities können binär oder auch mehrwertig sein, sie werden durch Routen symbolisiert.

In Abbildung 2.1 gibt es einen dreiwertigen Beziehungstyp *prüfen*, der auch über ein Attribut *Note* verfügt. Binäre Beziehungstypen, wie z.B. *voraussetzen*, an denen nur ein Entity-Typ beteiligt ist, werden *rekursive Beziehungstypen* genannt. Durch die Angabe von *Vorgänger* und *Nachfolger* wird die Rolle eines Entity-Typen in einer rekursiven Beziehung gekennzeichnet.

2.2 Schlüssel

Eine minimale Menge von Attributen, welche das zugeordnete Entity eindeutig innerhalb aller Entities seines Typs identifiziert, nennt man *Schlüssel* oder auch *Schlüsselkandidaten*. Gibt es mehrere solcher Schlüsselkandidaten, wird einer als *Primärschlüssel* ausgewählt. Oft gibt es künstlich eingeführte Attribute, wie z.B. Personalnummer (*PersNr*), die als Primärschlüssel dienen. Schlüsselattribute werden durch Unterstreichung gekennzeichnet. Achtung: Die Schlüsseleigenschaft bezieht sich auf Attribut-Kombinationen, nicht nur auf die momentan vorhandenen Attributwerte!

- **Beispiel:**

Im Entity-Typ *Person* mit den Attributen *Name*, *Vorname*, *PersNr*, *Geburtsdatum*, *Wohnort* ist *PersNr* der Primärschlüssel. Die Kombination *Name*, *Vorname*, *Geburtsdatum* bildet ebenfalls einen (Sekundär-)Schlüssel, sofern garantiert wird, daß es nicht zwei Personen mit demselben Namen und demselben Geburtsdatum gibt.

2.3 Charakterisierung von Beziehungstypen

Ein Beziehungstyp R zwischen den Entity-Typen E_1, E_2, \dots, E_n kann als Relation im mathematischen Sinn aufgefaßt werden. Also gilt:

$$R \subset E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$$

In diesem Fall bezeichnet man n als den Grad der Beziehung R . Ein Element $(e_1, e_2, \dots, e_n) \in R$ nennt man eine Instanz des Beziehungstyps.

Man kann Beziehungstypen hinsichtlich ihrer *Funktionalität* charakterisieren (Abbildung 2.2). Ein binärer Beziehungstyp R zwischen den Entity-Typen E_1 und E_2 heißt

- *1:1-Beziehung (one-one)*, falls jedem Entity e_1 aus E_1 höchstens ein Entity e_2 aus E_2 zugeordnet ist und umgekehrt jedem Entity e_2 aus E_2 höchstens ein Entity e_1 aus E_1 zugeordnet ist.
Beispiel: *verheiratet.mit*.
- *1:N-Beziehung (one-many)*, falls jedem Entity e_1 aus E_1 beliebig viele (also keine oder mehrere) Entities aus E_2 zugeordnet sind, aber jedem Entity e_2 aus E_2 höchstens ein Entity e_1 aus E_1 zugeordnet ist.
Beispiel: *beschäftigen*.

- *N:1-Beziehung (many-one)*, falls analoges zu obigem gilt.
Beispiel: *beschäftigt_bei*
- *N:M-Beziehung (many-many)*, wenn keinerlei Restriktionen gelten, d.h. jedes Entity aus E_1 kann mit beliebig vielen Entities aus E_2 in Beziehung stehen und umgekehrt kann jedes Entity e_2 aus E_2 mit beliebig vielen Entities aus E_1 in Beziehung stehen.
Beispiel: *befreundet_mit*.

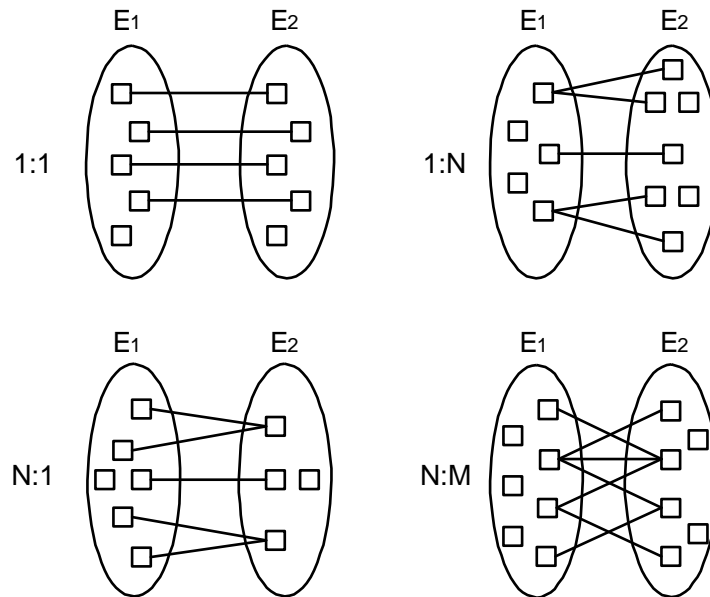


Abbildung 2.2: Mögliche Funktionalitäten von binären Beziehungen

Die binären 1:1-, 1:N- und N:1-Beziehungen kann man auch als *partielle Funktionen* ansehen, welche einige Elemente aus dem Definitionsbereich auf einige Elemente des Wertebereichs abbilden, z. B.

beschäftigt_bei : Personen \rightarrow Firmen

2.4 Die (*min*, *max*)-Notation

Bei der (*min*, *max*)-Notation wird für jedes an einem Beziehungstyp beteiligte Entity ein Paar von Zahlen, nämlich *min* und *max* angegeben. Dieses Zahlenpaar sagt aus, daß jedes Entity dieses Typs mindestens *min*-mal in der Beziehung steht und höchstens *max*-mal. Wenn es Entities geben darf, die gar nicht an der Beziehung teilnehmen, so wird *min* mit 0 angegeben; wenn ein Entity beliebig oft an der Beziehung teilnehmen darf, so wird die *max*-Angabe durch * ersetzt. Somit ist (0,*) die allgemeinste Aussage. Abbildung 2.3 zeigt die Verwendung der (*min*, *max*)-Notation anhand der Begrenzungsflächenmodellierung von Polyedern.

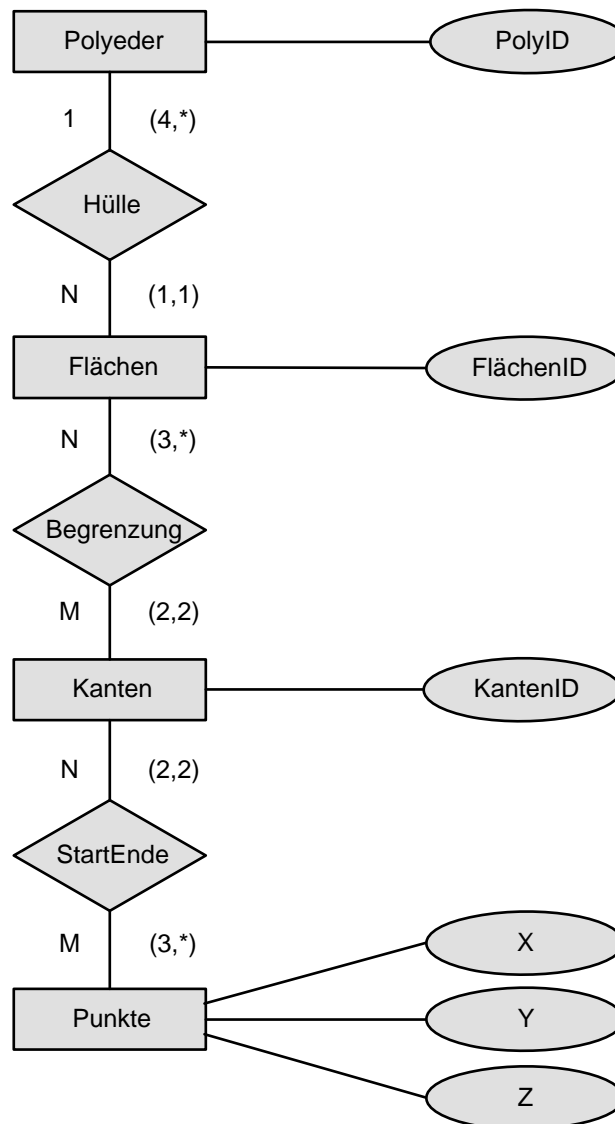


Abbildung 2.3: ER-Diagramm für Begrenzungsflächendarstellung von Polyedern

2.5 Existenzabhängige Entity-Typen

Sogenannte *schwache* Entities können nicht autonom existieren, sondern

- sind in ihrer Existenz von einem anderen, übergeordneten Entity abhängig
- und sind nur in Kombination mit dem Schlüssel des übergeordneten Entity eindeutig identifizierbar.

Abbildung 6.3 verdeutlicht dieses Konzept anhand von Gebäuden und Räumen. Räume können ohne Gebäude nicht existieren. Die Raumnummern sind nur innerhalb eines Gebäudes eindeutig. Da-

her wird das entsprechende Attribut gestrichelt markiert. Schwache Entities werden durch doppelt gerahmte Rechtecke repräsentiert und ihre Beziehung zum übergeordneten Entity-Typ durch eine Verdoppelung der Raute und der von dieser Raute zum schwachen Entity-Typ ausgehenden Kante markiert.

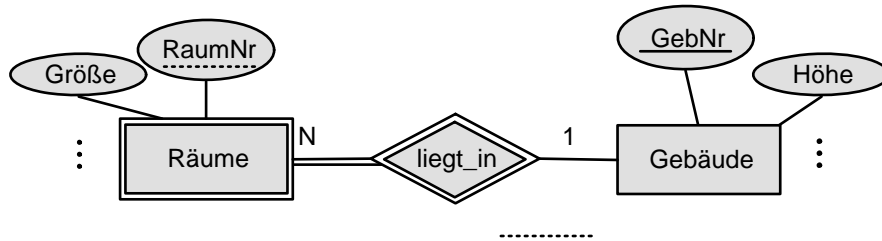


Abbildung 2.4: Ein existenzabhängiger (schwacher) Entity-Typ

2.6 Generalisierung

Zur weiteren Strukturierung der Entity-Typen wird die *Generalisierung* eingesetzt. Hierbei werden Eigenschaften von ähnlichen Entity-Typen einem gemeinsamen *Obertyp* zugeordnet. Bei dem jeweiligen *Untertyp* verbleiben nur die nicht faktorisierten Attribute. Somit stellt der Untertyp eine *Spezialisierung* des Obertyps dar. Diese Tatsache wird durch eine Beziehung mit dem Namen **is-a** (ist ein) ausgedrückt, welche durch ein Sechseck, verbunden mit gerichteten Pfeilen symbolisiert wird.

In Abbildung 2.5 sind *Assistenten* und *Professoren* jeweils Spezialisierungen von *Angestellte* und stehen daher zu diesem Entity-Typ in einer *is-a* Beziehung.

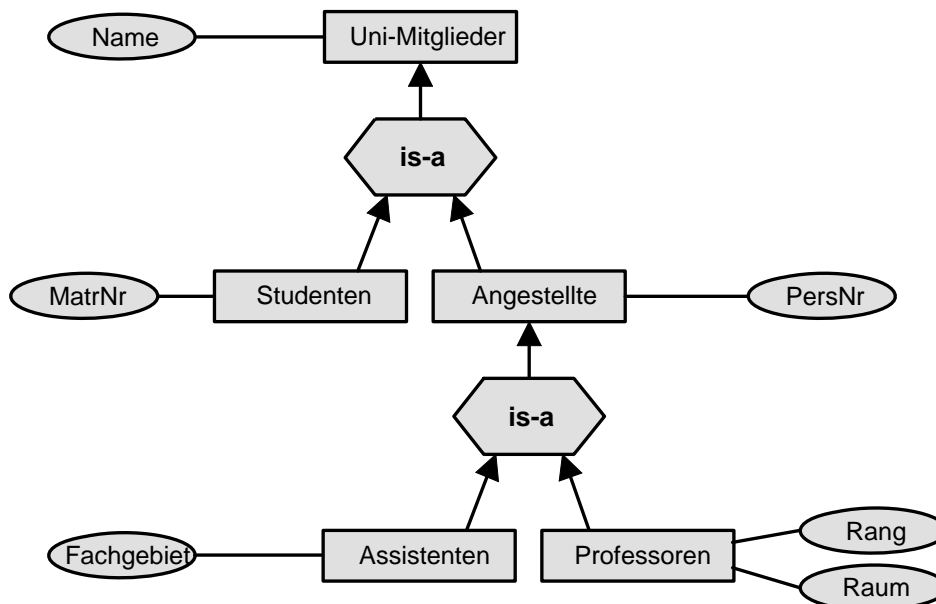


Abbildung 2.5: Spezialisierung der Universitätsmitglieder

Bezüglich der Teilmengensicht ist von Interesse:

- die *disjunkte* Spezialisierung: die Entitymengen der Untertypen sind paarweise disjunkt
- die *vollständige* Spezialisierung: die Obermenge enthält keine direkten Elemente, sondern setzt sich komplett aus der Vereinigung der Entitymengen der Untertypen zusammen.

In Abbildung 2.5 ist die Spezialisierung von *Uni-Mitglieder* vollständig und disjunkt, die Spezialisierung von *Angestellte* ist disjunkt, aber nicht vollständig, da es noch andere, nichtwissenschaftliche Angestellte (z.B. Sekretärinnen) gibt.

2.7 Aggregation

Durch die *Aggregation* werden einem übergeordneten Entity-Typ mehrere untergeordnete Entity-Typen zugeordnet. Diese Beziehung wird als *part-of* (Teil von) bezeichnet, um zu betonen, daß die untergeordneten Entities Bestandteile der übergeordneten Entities sind. Um eine Verwechslung mit dem Konzept der Generalisierung zu vermeiden, verwendet man nicht die Begriffe *Obertyp* und *Untertyp*.

zeigt die Aggregationshierarchie eines Fahrrads. Zum Beispiel sind *Rohre* und *Lenker* Bestandteile des *Rahmen*; *Felgen* und *Speichen* sind Bestandteile der *Räder*.

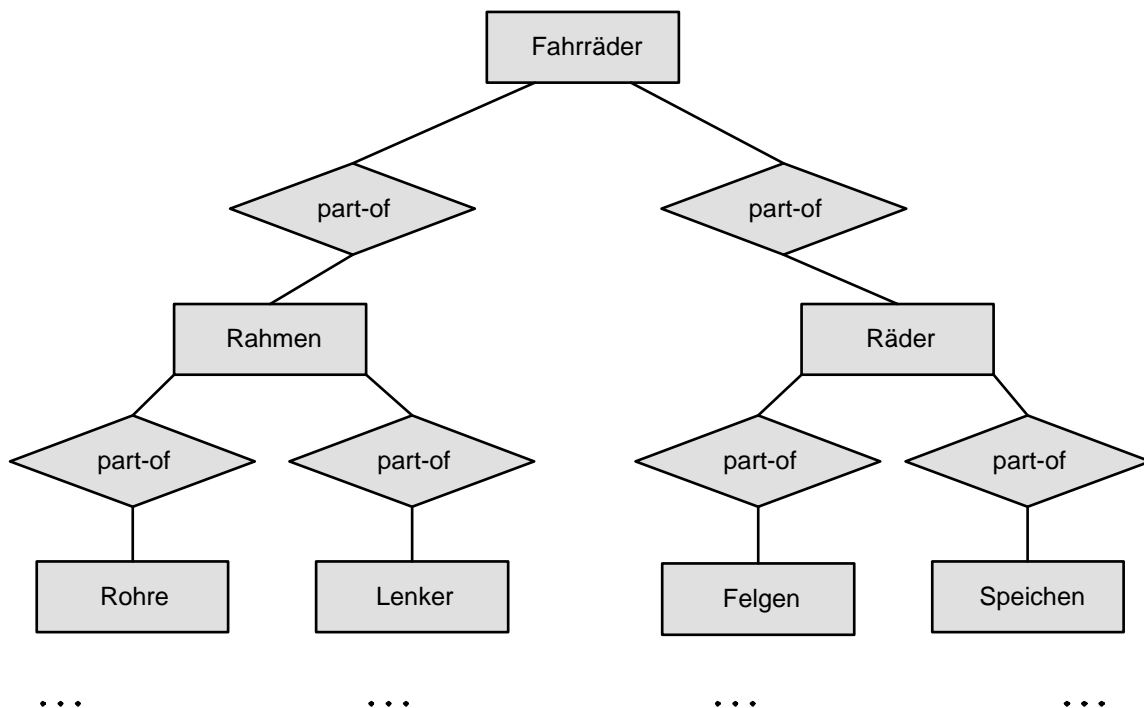


Abbildung 2.6: Aggregationshierarchie eines Fahrrads

2.8 Konsolidierung

Bei der Modellierung eines komplexeren Sachverhaltes bietet es sich an, den konzeptuellen Entwurf zunächst in verschiedene Anwendersichten aufzuteilen. Nachdem die einzelnen Sichten modelliert sind, müssen sie zu einem globalen Schema i zusammengefaßt werden (Abbildung 2.7).

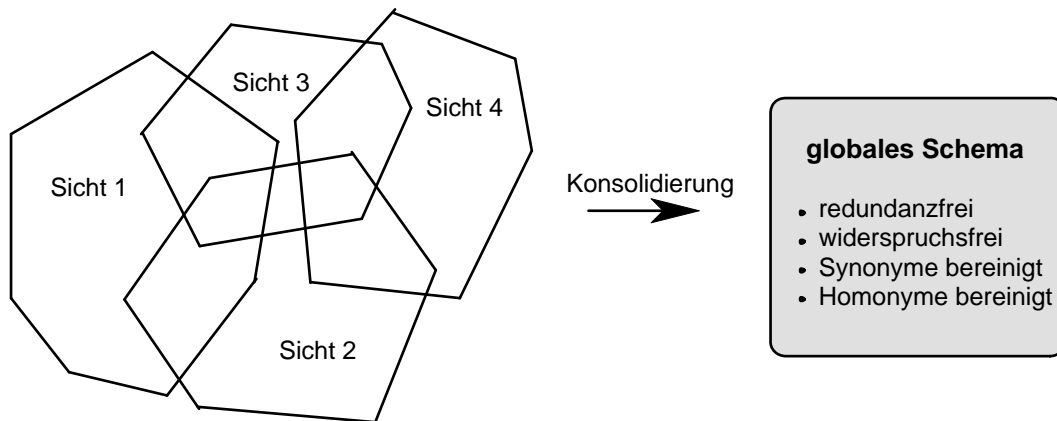


Abbildung 2.7: Konsolidierung überlappender Sichten

Probleme entstehen dadurch, daß sich die Datenbestände der verschiedenen Anwender teilweise überlappen. Daher reicht es nicht, die einzelnen konzeptuellen Schemata zu vereinen, sondern sie müssen *konsolidiert* werden.

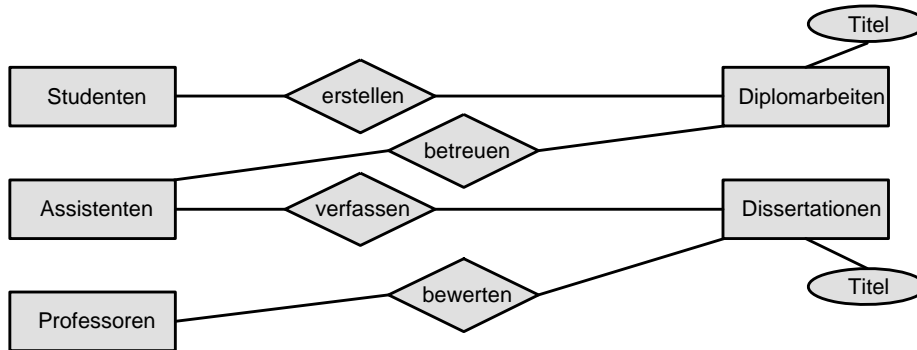
Darunter versteht man das Entfernen von Redundanzen und Widersprüchen. Widersprüche entstehen durch *Synonyme* (gleiche Sachverhalte wurden unterschiedlich benannt) und durch *Homonyme* (unterschiedliche Sachverhalte wurden gleich benannt) sowie durch unterschiedliches Modellieren desselben Sachverhalts zum einen über Beziehungen, zum anderen über Attribute. Bei der Zusammenfassung von ähnlichen Entity-Typen zu einem Obertyp bietet sich die Generalisierung an.

Abbildung 2.8 zeigt drei Sichten einer Universitätsdatenbank. Für eine Konsolidierung sind folgende Beobachtungen wichtig:

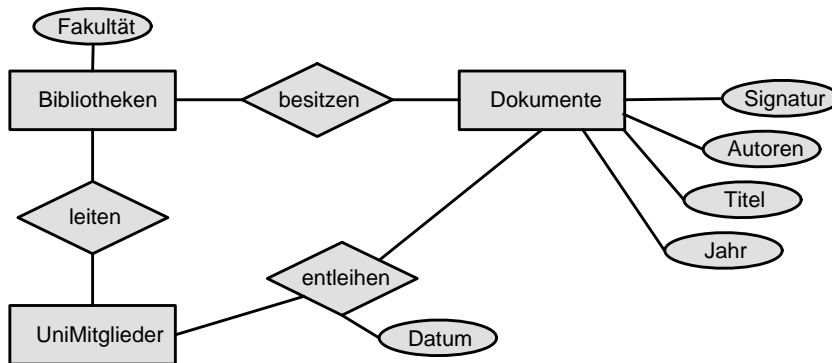
- *Professoren* und *Dozenten* werden synonym verwendet.
- *UniMitglieder* ist eine Generalisierung von *Studenten*, *Professoren* und *Assistenten*.
- *Bibliotheken* werden nicht von beliebigen *UniMitglieder* geleitet, sondern nur von *Angestellte*.
- *Dissertationen*, *Diplomarbeiten* und *Bücher* sind Spezialisierungen von *Dokumente*.
- Die Beziehungen *erstellen* und *verfassen* modellieren denselben Sachverhalt wie das Attribut *Autor*.

Abbildung 2.9 zeigt das Ergebnis der Konsolidierung. Generalisierungen sind zur Vereinfachung als fettgedruckte Pfeile dargestellt. Das ehemalige Attribut *Autor* ist nun als Beziehung zwischen Dokumenten und Personen modelliert. Zu diesem Zweck ist ein neuer Entity-Typ *Personen* erforderlich, der *UniMitglieder* generalisiert. Damit werden die ehemaligen Beziehungen *erstellen* und *verfassen*

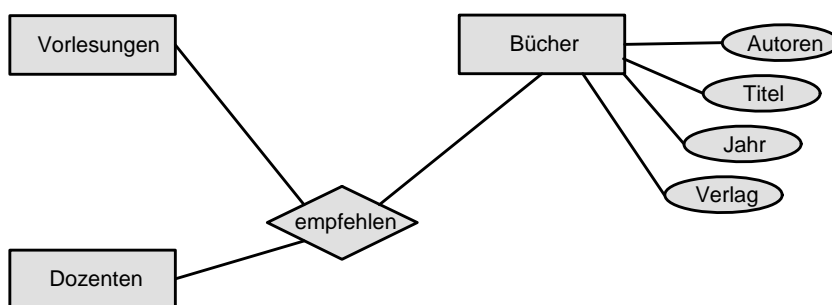
redundant. Allerdings geht im konsolidierten Schema verloren, daß Diplomarbeiten von *Studenten* und *Dissertationen* von *Assistenten* geschrieben werden.



Sicht 1: Erstellung von Dokumenten als Prüfungsleistung



Sicht 2: Bibliotheksverwaltung



Sicht 3: Buchempfehlungen für Vorlesungen

Abbildung 2.8: Drei Sichten einer Universitätsdatenbank

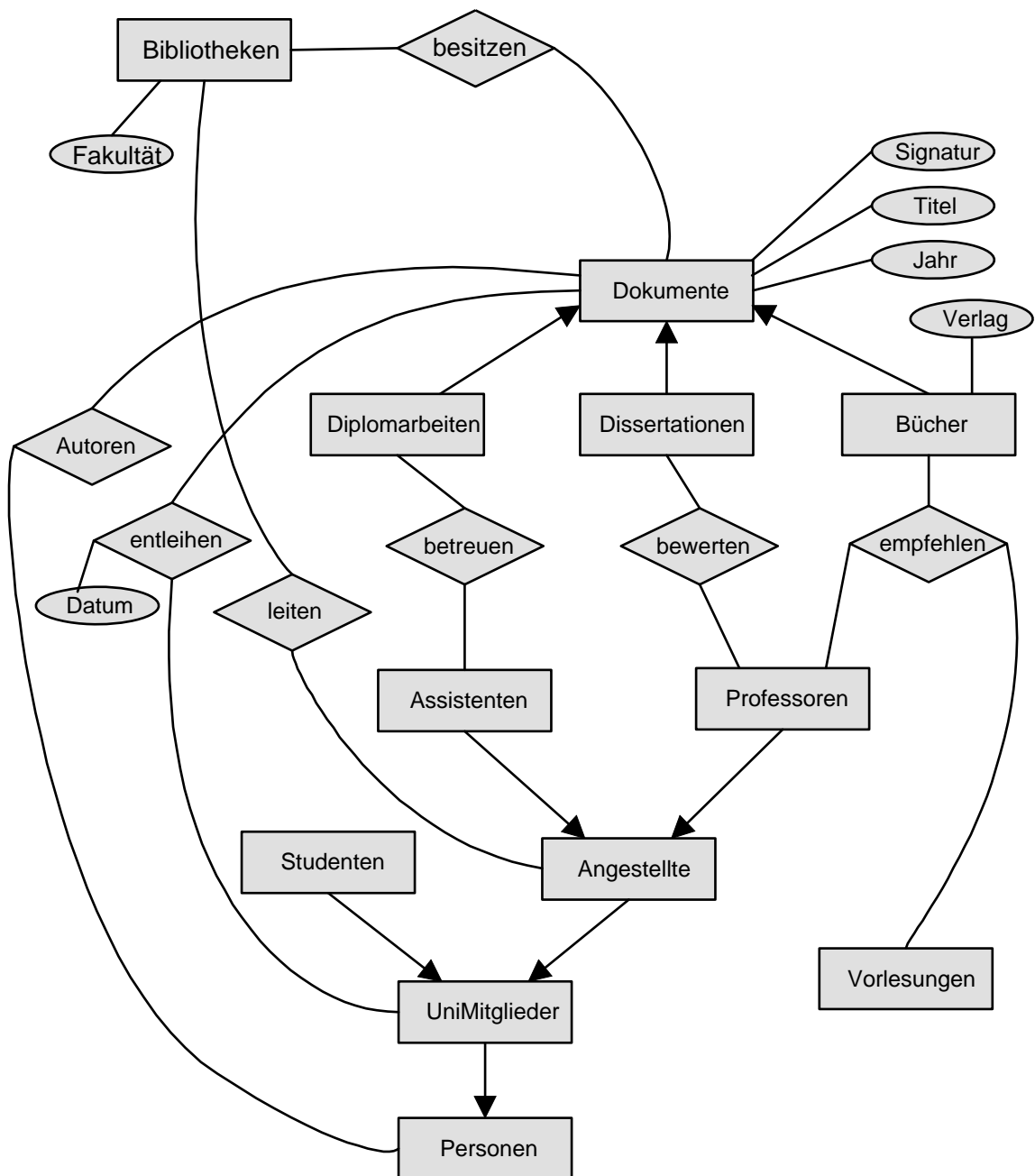


Abbildung 2.9: Konsolidiertes Schema der Universitätsdatenbank

2.9 UML

Im Bereich Software Engineering hat sich die objektorientierte Modellierung mit Hilfe von *UML* (*Unified Modelling Language*) durchgesetzt. Dieser Formalismus lässt sich auch für den Datenbankentwurf benutzen.

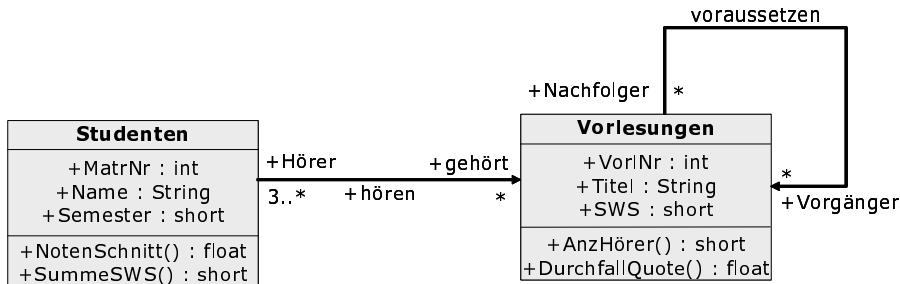


Abbildung 2.10: UML: Klassen und Assoziationen

Abbildung 2.10 zeigt die beiden Klassen **Studenten** und **Vorlesungen**, die neben den Datenfeldern auch Methoden aufweisen, welche das Verhalten beschreiben. Öffentlich sichtbare Komponenten werden mit `+` gekennzeichnet; Methoden sind an den beiden Klammern `()` zu erkennen und Datentypen werden nach dem Doppelpunkt `:` genannt. Beziehungen zwischen den Klassen werden durch Assoziationen ausgedrückt, welche aufgrund der Implementierung durch Referenzen über eine Richtung verfügen: So lassen sich effizient zu einem Studenten die Vorlesungen ermitteln, umgekehrt ist das nicht (so leicht) möglich. Am Ende der Pfeile sind jeweils die Rollen vermerkt: `Hörer`, `gehört`, `Nachfolger` und `Vorgänger`. Die sogenannte *Multiplizität* drückt die von der (min,max)-Notation bekannte Komplexität aus, allerdings jeweils am anderen Ende notiert: mindestens drei Hörer sitzen in einer Vorlesung; ein Student kann beliebig viele Vorlesungen besuchen.

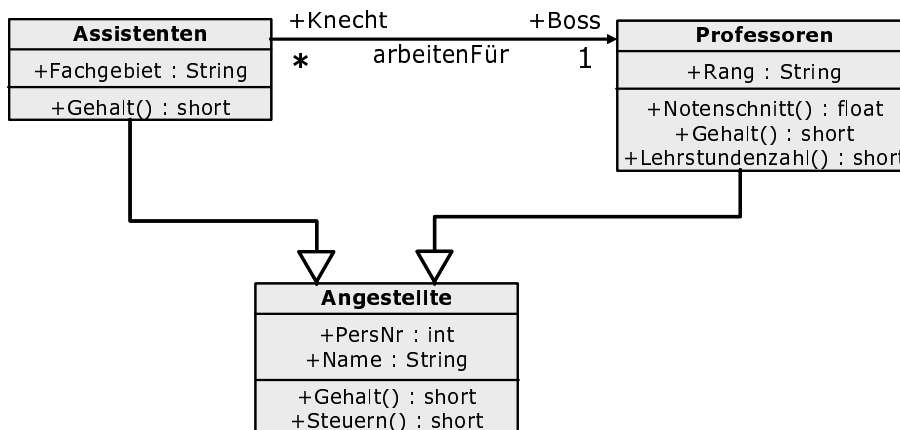


Abbildung 2.11: UML: Generalisierung

In der Abbildung 2.11 werden **Assistenten** und **Professoren** zu **Angestellten** verallgemeinert. Die gemeinsamen Datenfelder lauten `PersNr` und `Name`. Da sich die Berechnung des Gehaltes bei **Assistenten** und **Professoren** unterscheidet, erhalten sie beide ihre eigenen Methoden dafür;

sie verfeinern dadurch die in der Oberklasse vorhandene Methode `Gehalt()`. Die Steuern hingegen werden bei beiden nach demselben Algorithmus berechnet, daher reicht eine Methode `Steuern()` in der Oberklasse.

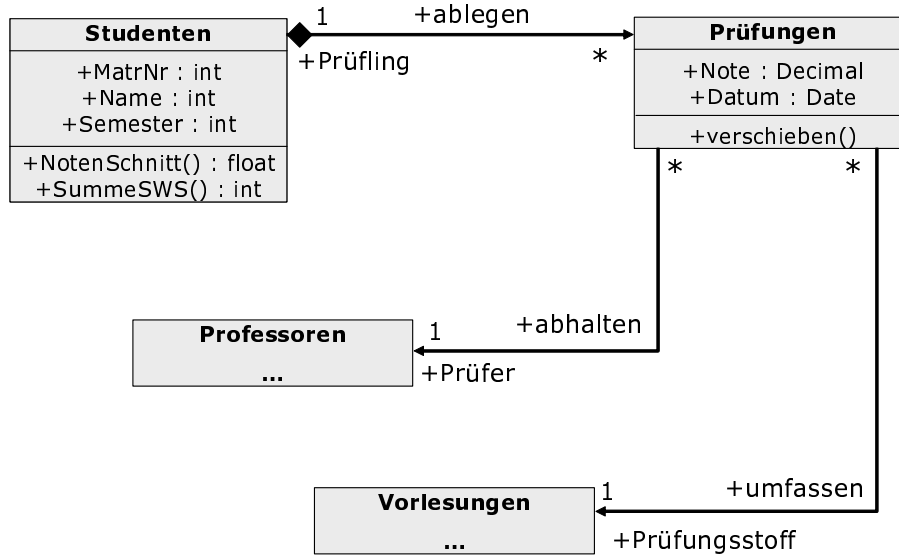


Abbildung 2.12: UML: Aggregation

Durch eine schwarze Raute wird in Abbildung 2.12 eine Komposition ausgedrückt, welche die Modellierung eines schwachen Entity-Typen übernimmt. Die Beziehung zwischen `Studenten` und `Prüfungen` wird durch eine Assoziation mit dem Namen `ablegen` modelliert; der Student übernimmt dabei die Rolle eines `Prüfling`. Die Beziehung zwischen `Professoren` und `Prüfungen` wird durch eine Assoziation mit dem Namen `abhalten` modelliert; der Professor übernimmt dabei die Rolle des `Prüfer`. Die Beziehung zwischen `Vorlesungen` und `Prüfungen` wird durch eine Assoziation mit dem Namen `umfassen` modelliert; die Vorlesung übernimmt dabei die Rolle des `Prüfungsstoff`.

Kapitel 3

Logische Datenmodelle

In Abhängigkeit von dem zu verwendenden Datenbanksystem wählt man zur computergerechten Umsetzung des Entity-Relationship-Modells das hierarchische, das netzwerkorientierte, das relationale oder das objektorientierte Datenmodell.

3.1 Das Hierarchische Datenmodell

Datenbanksysteme, die auf dem hierarchischen Datenmodell basieren, haben (nach heutigen Standards) nur eine eingeschränkte Modellierfähigkeit und verlangen vom Anwender Kenntnisse der inneren Ebene. Trotzdem sind sie noch sehr verbreitet (z.B. IMS von IBM), da sie sich aus Dateiverwaltungssystemen für die konventionelle Datenverarbeitung entwickelt haben. Die zugrunde liegende Speicherstruktur waren Magnetbänder, welche nur sequentiellen Zugriff erlaubten.

Im Hierarchischen Datenmodell können nur baumartige Beziehungen modelliert werden. Eine Hierarchie besteht aus einem Wurzel-Entity-Typ, dem beliebig viele Entity-Typen unmittelbar untergeordnet sind; jedem dieser Entity-Typen können wiederum Entity-Typen untergeordnet sein usw. Alle Entity-Typen eines Baumes sind verschieden.

Abbildung 3.1 zeigt ein hierarchisches Schema sowie eine mögliche Ausprägung anhand der bereits bekannten Universitätswelt. Der konstruierte Baum ordnet jedem Studenten alle Vorlesungen zu, die er besucht, sowie alle Professoren, bei denen er geprüft wird. In dem gezeigten Baum ließen sich weitere Teilbäume unterhalb der *Vorlesung* einhängen, z.B. die Räumlichkeiten, in denen Vorlesungen stattfinden. Obacht: es wird keine Beziehung zwischen den Vorlesungen und Dozenten hergestellt! Die Dozenten sind den Studenten ausschließlich in ihrer Eigenschaft als Prüfer zugeordnet.

Grundsätzlich sind einer Vater-Ausprägung (z.B. Erika Mustermann) für jeden ihrer Sohn-Typen jeweils mehrere Sohnausprägungen zugeordnet (z.B. könnte der Sohn-Typ *Vorlesung* 5 konkrete Vorlesungen enthalten). Dadurch entsprechen dem Baum auf Typ-Ebene mehrere Bäume auf Entity-Ebene. Diese Entities sind in Preorder-Reihenfolge zu erreichen, d.h. vom Vater zunächst seine Söhne und Enkel und dann dessen Brüder. Dieser Baumdurchlauf ist die einzige Operation auf einer Hierarchie; jedes Datum kann daher nur über den Einstiegspunkt Wurzel und von dort durch Überlesen nichtrelevanter Datensätze gemäß der Preorder-Reihenfolge erreicht werden.

Die typische Operation besteht aus dem Traversieren der Hierarchie unter Berücksichtigung der jeweiligen Vaterschaft, d. h. der Befehl GNP VORLESUNG (gesprochen: GET NEXT VORLESUNG

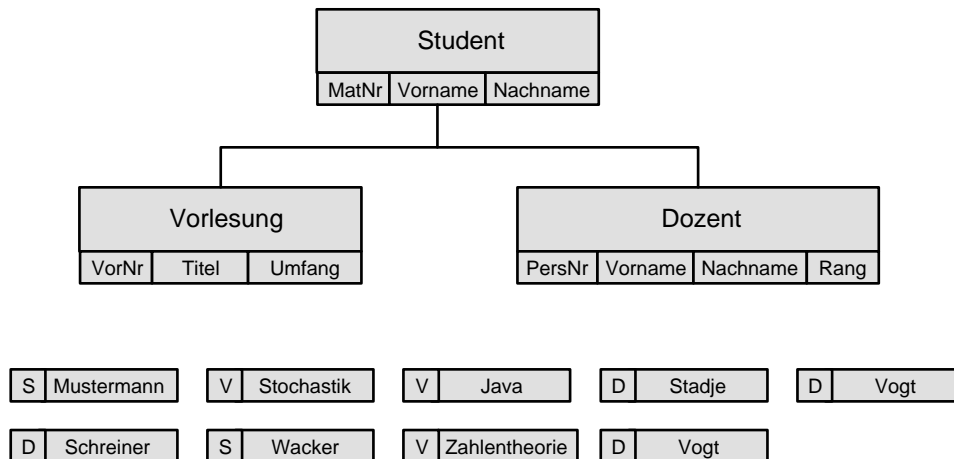


Abbildung 3.1: Hierarchisches Schema und eine Ausprägung.
 Der Recordtyp sei erkennbar an den Zeichen S (Studenten), V (Vorlesungen) und D (Dozenten)

WITHIN PARENT) durchläuft sequentiell ab der aktuellen Position die Preorder-Sequenz solange vorwärts, bis ein dem aktuellen Vater zugeordneter Datensatz vom Typ *Vorlesung* gefunden wird.

Um zu vermeiden, daß alle Angaben zu den Dozenten mehrfach gespeichert werden, kann eine eigene Hierarchie für die Dozenten angelegt und in diese dann aus dem Studentenbaum heraus verwiesen werden.

Es folgt ein umfangreicheres Beispiel, entnommen dem Buch von C.J. Date. Abbildung 3.2 zeigt das hierarchische Schema, Abbildung 3.3 eine Ausprägung.

Die Query *Welche Studenten besuchen den Kurs M23 am 13.08.1973?* wird unter Verwendung der DML (Data Manipulation Language) derart formuliert, daß zunächst nach Einstieg über die Wurzel der Zugriff auf den gesuchten Kurs stattfindet und ihn als momentanen Vater fixiert. Von dort werden dann genau solche Records vom Typ *Student* durchlaufen, welche den soeben fixierten Kursus als Vater haben:

```

GU COURSE    ( COURSE#='M23' )
  OFFERING  ( DATE='730813' );
if gefunden then
begin
  GNP STUDENT;
  while gefunden do
  begin
    write (STUDENT.NAME);
    GNP STUDENT
  end
end;

```

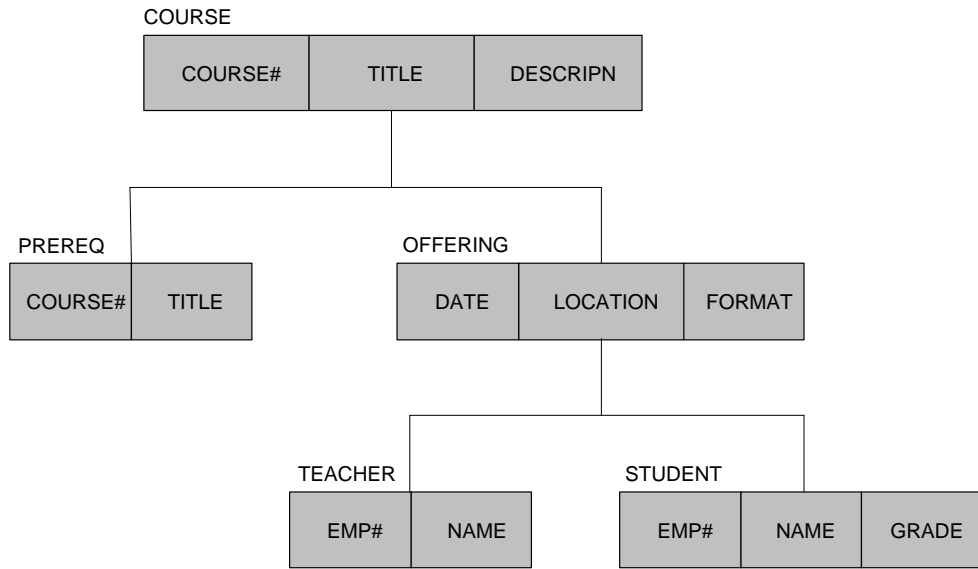



Abbildung 3.2: Beispiel für ein hierarchisches Schema

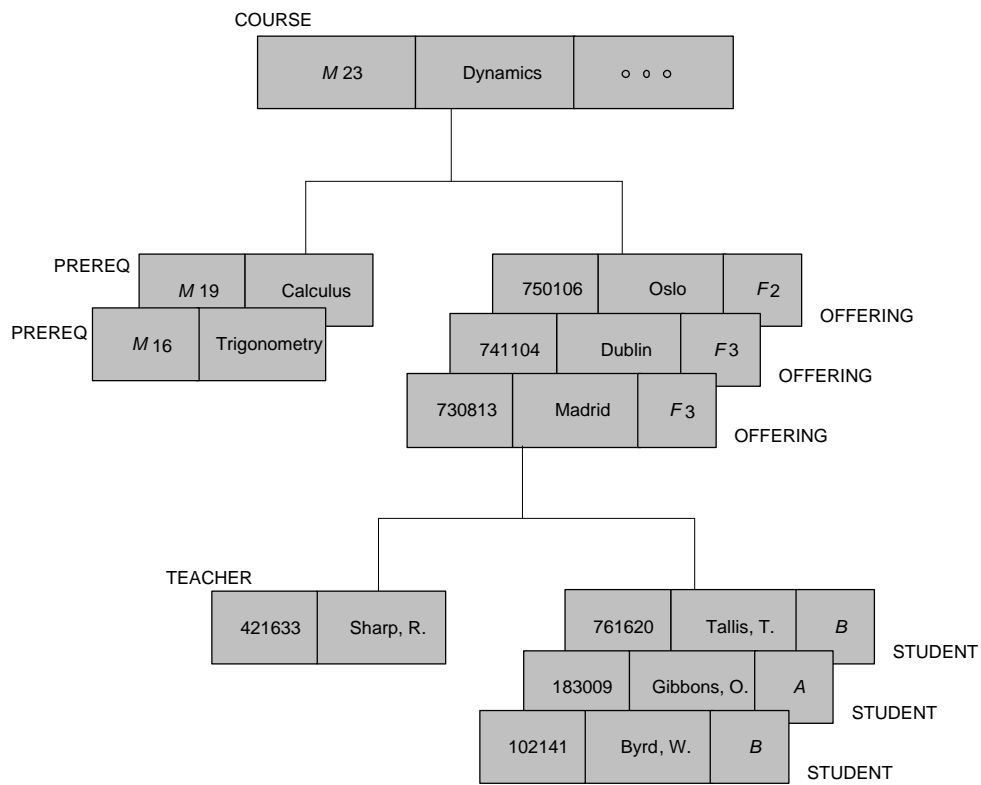


Abbildung 3.3: Beispiel für eine Ausprägung des hierarchischen Schemas

3.2 Das Netzwerk-Datenmodell

Im Netzwerk-Datenmodell können nur binäre many-one- (bzw. one-many)-Beziehungen dargestellt werden. Ein E-R-Diagramm mit dieser Einschränkung heißt *Netzwerk*. Zur Formulierung der many-one-Beziehungen gibt es sogenannte *Set-Typen*, die zwei Entity-Typen in Beziehung setzen. Ein Entity-Typ übernimmt mittels eines Set-Typs die Rolle des *owner* bzgl. eines weiteren Entity-Typs, genannt *member*.

Im Netzwerk werden die Beziehungen als gerichtete Kanten gezeichnet vom Rechteck für *member* zum Rechteck für *owner* (funktionale Abhängigkeit). In einer Ausprägung führt ein gerichteter Ring von einer *owner*-Ausprägung über alle seine *member*-Ausprägungen (Abbildung 3.4).

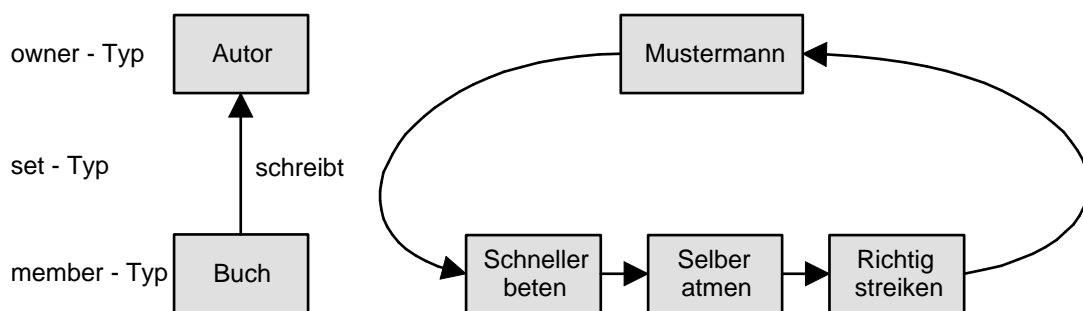


Abbildung 3.4: Netzwerkschema und eine Ausprägung

Bei nicht binären Beziehungen oder nicht many-one-Beziehungen hilft man sich durch Einführung von künstlichen *Kett-Records*. Abbildung 3.5 zeigt ein entsprechendes Netzwerkschema und eine Ausprägung, bei der zwei Studenten jeweils zwei Vorlesungen hören.

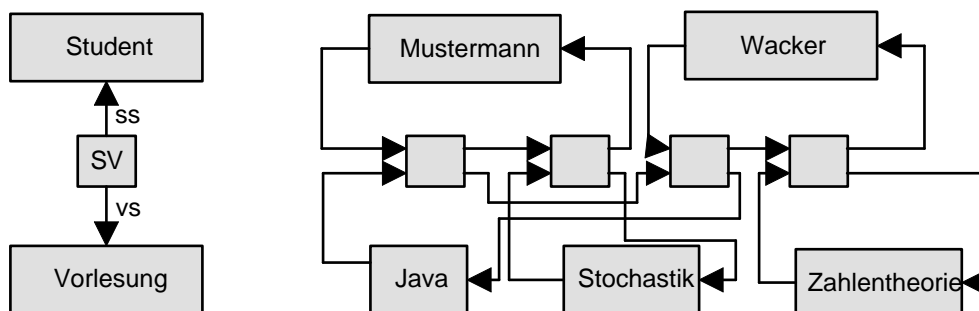


Abbildung 3.5: Netzwerkschema mit Kett-Record und eine Ausprägung

Die typische Operation auf einem Netzwerk besteht in der Navigation durch die verzweigten Entities. Mit den Befehlen

```
FIND NEXT Student
FIND NEXT sv WITHIN ss
FIND OWNER WITHIN vs
```

lassen sich für einen konkreten Studenten alle seine Kett-Records vom Typ *sv* durchlaufen und dann jeweils der *owner* bzgl. des Sets *vs* ermitteln.

```

STUDENT.NAME := 'Mustermann';
FIND ANY STUDENT USING NAME;
if gefunden then
begin
  FIND FIRST SV WITHIN SS;
  while gefunden do
  begin
    FIND OWNER WITHIN VS;
    GET VORLESUNG;
    WRITE(VORLESUNG.TITEL);
    FIND NEXT VORLESUNG WITHIN VS;
  end
end;

```

3.3 Das Relationale Datenmodell

Seien D_1, D_2, \dots, D_k Wertebereiche. $R \subseteq D_1 \times D_2 \times \dots \times D_k$ heißt Relation. Wir stellen uns eine Relation als Tabelle vor, in der jede Zeile einem Tupel entspricht und jede Spalte einem bestimmten Wertebereich. Die Folge der Spaltenidentifizierungen heißt *Relationenschema*. Eine Menge von Relationenschemata heißt *relationales Datenbankschema*, die aktuellen Werte der einzelnen Relationen ergeben eine Ausprägung der relationalen Datenbank.

- pro Entity-Typ gibt es ein Relationenschema mit Spalten benannt nach den Attributen.
- pro Relationshiptyp gibt es ein Relationenschema mit Spalten für die Schlüssel der beteiligten Entity-Typen und ggf. weitere Spalten.

Abbildung 3.6 zeigt ein Schema zum Vorlesungsbetrieb und eine Ausprägung. Hierbei wurden die über ihre Tabellengrenzen hinausgehenden und zueinander passenden Attribute jeweils gleich genannt, um zu verdeutlichen, daß sie Daten mit derselben Bedeutung speichern.

| Student | | | Hoert | | Vorlesung | | |
|---------|---------|------------|--------|-------|-----------|---------------|--------|
| MatNr | Vorname | Nachname | MatNr | VorNr | VorNr | Titel | Umfang |
| 653467 | Erika | Mustermann | 653467 | 6.718 | 6.718 | Java | 4 |
| 875462 | Willi | Wacker | 875462 | 6.718 | 6.174 | Stochastik | 2 |
| 432788 | Peter | Pan | 432788 | 6.718 | 6.108 | Zahlentheorie | 4 |
| | | | 875462 | 6.108 | | | |

Abbildung 3.6: Relationales Schema und eine Ausprägung

Die typischen Operationen auf einer relationaler Datenbank lauten:

- **Selektion:** Suche alle Tupel einer Relation mit gewissen Attributeigenschaften
- **Projektion:** filtere gewisse Spalten heraus
- **Verbund:** Finde Tupel in mehreren Relationen, die bzgl. gewisser Spalten übereinstimmen.

Beispiel-Query: Welche Studenten hören die Vorlesung Zahlentheorie ?

```
SELECT Student.Name from Student, Hoert, Vorlesung
WHERE Student.MatrNr = Hoert.MatrNr
AND Hoert.VorlNr = Vorlesung.VorNr
AND Vorlesung.Titel = "Zahlentheorie"
```

3.4 Das Objektorientierte Modell

Eine Klasse repräsentiert einen Entity-Typ zusammen mit einer Struktur- und Verhaltensbeschreibung, welche ggf. an Unterklassen vererbt werden können. Binäre Beziehungen können durch mengenwertige Attribute modelliert werden:

```
class Studenten {
    attribute long Matrnr;
    attribute String Name;
    relationship set <Vorlesungen> hoert inverse Vorlesungen::Hoerer
}

class Professoren {
    attribute long PersNr;
    attribute String Name;
    relationship set <Vorlesungen> liest inverse Vorlesungen::gelesenVon
}

class Vorlesungen {
    attribute long VorlNr;
    attribute String Titel;
    relationship Professoren gelesenVon inverse Professoren::liest
    relationship set <Studenten> Hoerer inverse Studenten::hoert
}
```

Beispiel-Query: Welche Studenten besuchen Vorlesungen von Sokrates ?

```
select s.Name
from s in AlleStudenten, v in s.hoert
where v.gelesenVon.Name = "Sokrates"
```

Kapitel 4

Physikalische Datenorganisation

4.1 Grundlagen

Bedingt durch die unterschiedlichen Speichertechnologien weisen Hauptspeicher, Festplatte und Magnetband charakteristische Vor- und Nachteile auf. Folgende Tabelle zeigt die relativen Merkmale bezüglich Größe, Zugriffsgeschwindigkeit, Preis, Granularität und Dauerhaftigkeit. Im Vergleich zum direkt adressierbaren Hauptspeicher ist eine typische Festplatte etwa 1.000 mal größer, verursacht einen etwa 100.000 mal langsameren Zugriff und kostet nur ein Hundertstel bezogen auf ein gespeichertes Byte.

| | Primärspeicher | Sekundärspeicher | Tertiärspeicher |
|-----------------|----------------|-----------------------|-----------------|
| Größe | klein | groß [10^3] | sehr groß |
| Tempo | schnell | langsam [10^{-5}] | sehr langsam |
| Preis | teuer | billig [10^{-2}] | billig |
| Granularität | fein | grob | grob |
| Dauerhaftigkeit | flüchtig | stabil | stabil |

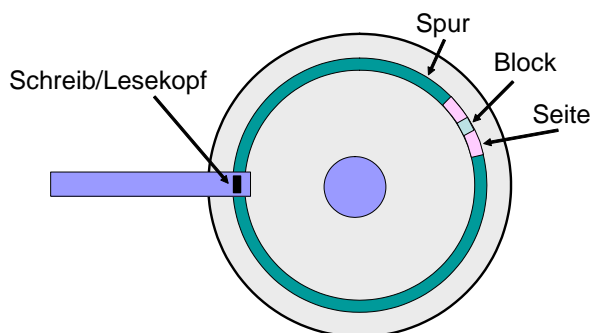


Abbildung 4.1: Schematischer Festplattenaufbau: Sicht von oben

Abbildung 4.1 zeigt den schematischen Aufbau einer Festplatte. Zum Lesen eines Blockes muss zunächst der Schreib-/Lesekopf oberhalb der zuständigen Spur positioniert werden (Seek Time), dann wird gewartet, bis der betreffende Block vorbeisaust (Latency Time), und schließlich kann der Block

übertragen werden (Transfer Time). Oft werden mehrere Blöcke nur zusammengefasst auf einer Seite übertragen.

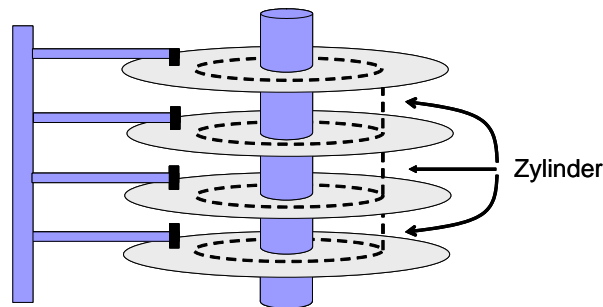


Abbildung 4.2: Schematischer Festplattenaufbau: Sicht von der Seite

Abbildung 4.2 verdeutlicht, dass der Lesearm mehrere starr miteinander verbundene Schreib-/Leseköpfe gemeinsam bewegen und somit auf die jeweils übereinanderliegenden Spuren aller Magnetscheiben (genannt: Zylinder) gleichzeitig zugreifen kann. Der Block als kleinste direkt adressierbare Speichereinheit spielt daher für alle Datenstrukturen und Suchalgorithmen die zentrale Rolle.

Die grundsätzliche Aufgabe bei der Realisierung eines internen Modells besteht aus dem Abspeichern von Datentupeln, genannt *Records*, in einem *File*. Jedes Record hat ein festes Record-Format und besteht aus mehreren Feldern meistens fester, manchmal auch variabler Länge mit zugeordnetem Datentyp. Folgende Operationen sind erforderlich:

- **INSERT:** Einfügen eines Records
- **DELETE:** Löschen eines Records
- **MODIFY:** Modifizieren eines Records
- **LOOKUP:** Suchen eines Records mit bestimmtem Wert in bestimmten Feldern.

Files werden abgelegt im Hintergrundspeicher (Magnetplatte), der aus *Blöcken* fester Größe (etwa $2^9 - 2^{12}$ Bytes) besteht, die direkt adressierbar sind. Ein File ist verteilt über mehrere Blöcke, ein Block enthält mehrere Records. Records werden nicht über Blockgrenzen verteilt. Einige Bytes des Blockes sind unbenutzt, einige werden für den *header* gebraucht, der Blockinformationen (Verzeigerung, Record-Interpretation) enthält.

Die *Adresse* eines Records besteht entweder aus der Blockadresse und einem *Offset* (Anzahl der Bytes vom Blockanfang bis zum Record) oder wird durch den sogenannten *Tupel-Identifikator* (TID) gegeben. Der Tupel-Identifikator besteht aus der Blockadresse und einer Nummer eines Eintrags in der internen Datensatztafel, der auf das entsprechende Record verweist. Sofern genug Information bekannt ist, um ein Record im Block zu identifizieren, reicht auch die Blockadresse. Blockzeiger und Tupel-Identifikatoren erlauben das Verschieben der Records im Block (*unpinned records*), Record-zeiger setzen fixierte Records voraus (*pinned records*), da durch Verschieben eines Records Verweise von außerhalb mißinterpretiert würden (*dangling pointers*).

Abbildung 4.3 zeigt das Verschieben eines Datentupels innerhalb seiner ursprünglichen Seite; in Abbildung 4.4 wird das Record schließlich auf eine weitere Seite verdrängt.

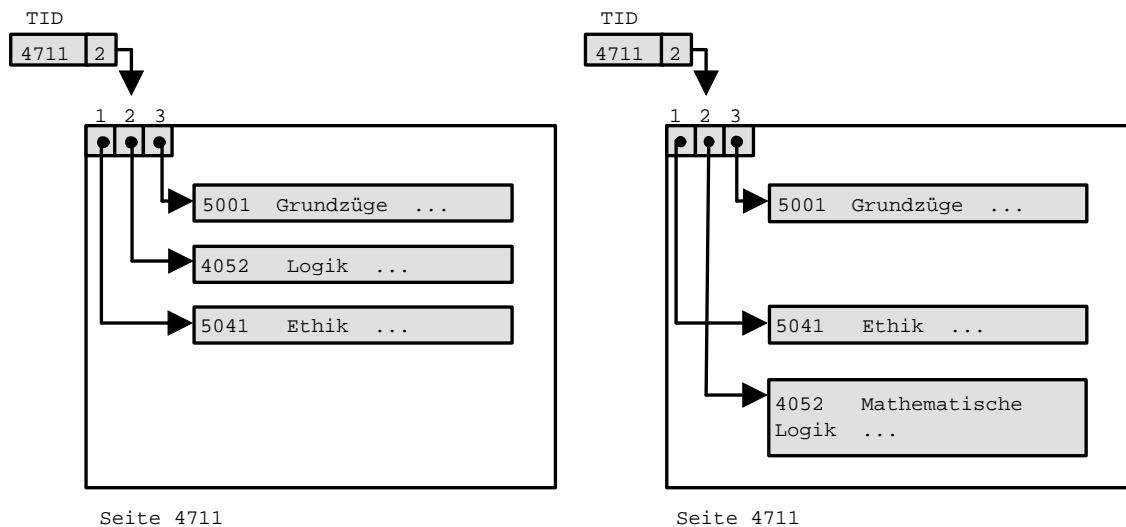


Abbildung 4.3: Verschieben eines Tupels innerhalb einer Seite

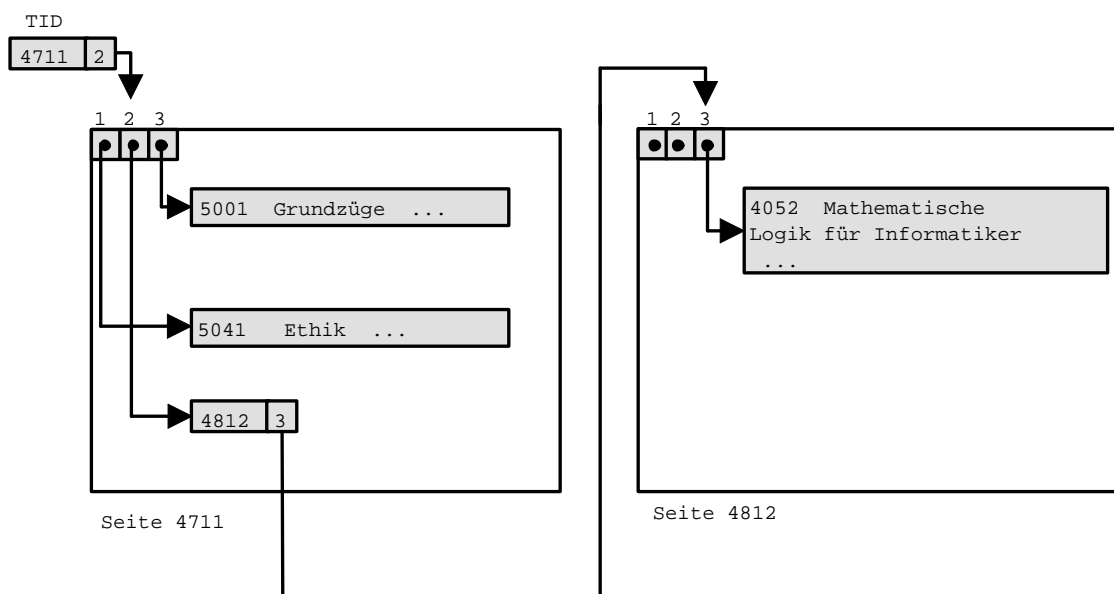


Abbildung 4.4: Verdrängen eines Tupels von einer Seite

Das Lesen und Schreiben von Records kann nur im Hauptspeicher geschehen. Die Blockladezeit ist deutlich größer als die Zeit, die zum Durchsuchen des Blockes nach bestimmten Records gebraucht wird. Daher ist für Komplexitätsabschätzungen nur die Anzahl der Blockzugriffe relevant. Zur Umsetzung des Entity-Relationship-Modells verwenden wir

- Records für Entities
- Records für Relationships (pro konkrete Beziehung ein Record mit TID-Tupel)

4.2 Heap-File

Die einfachste Methode zur Abspeicherung eines Files besteht darin, alle Records hintereinander zu schreiben. Die Operationen arbeiten wie folgt:

- **INSERT:** Record am Ende einfügen (ggf. überschriebene Records nutzen)
- **DELETE:** Lösch-Bit setzen
- **MODIFY:** Record überschreiben
- **LOOKUP:** Gesamtes File durchsuchen

Bei großen Files ist der lineare Aufwand für LOOKUP nicht mehr vertretbar. Gesucht ist daher eine Organisationsform, die

- ein effizientes LOOKUP erlaubt,
- die restlichen Operationen nicht ineffizient macht,
- wenig zusätzlichen Platz braucht.

4.3 Hashing

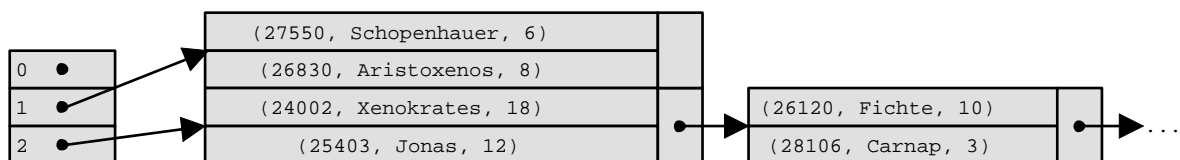


Abbildung 4.5: Hash-Tabelle mit Einstieg in Behälter

Die grundlegende Idee beim *offenen Hashing* ist es, die Records des Files auf mehrere Behälter (englisch: *Bucket*) aufzuteilen, die jeweils aus einer Folge von verzeigten Blöcken bestehen. Es gibt eine *Hash-Funktion* h , die einen Schlüssel als Argument erhält und ihn auf die Bucket-Nummer abbildet, unter der der Block gespeichert ist, welcher das Record mit diesem Schlüssel enthält. Sei B die Menge der Buckets, sei V die Menge der möglichen Record-Schlüssel, dann gilt gewöhnlich $|V| \gg |B|$.

Beispiel für eine Hash-Funktion:

Fasse den Schlüssel v als k Gruppen von jeweils n Bits auf. Sei d_i die i -te Gruppe als natürliche Zahl interpretiert. Setze

$$h(v) = \left(\sum_{i=1}^k d_i \right) \bmod B$$

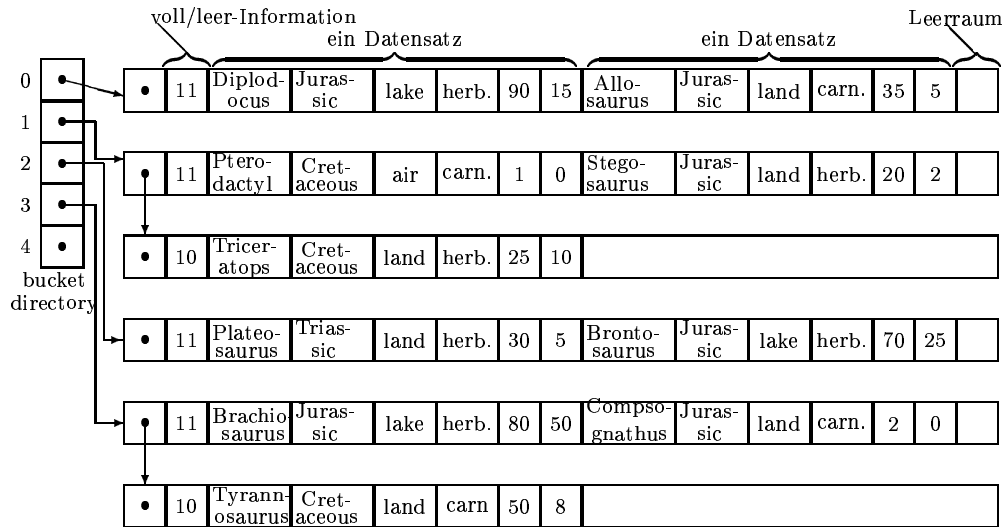


Abbildung 4.6: Hash-Organisation vor Einfügen von Elamosaurus

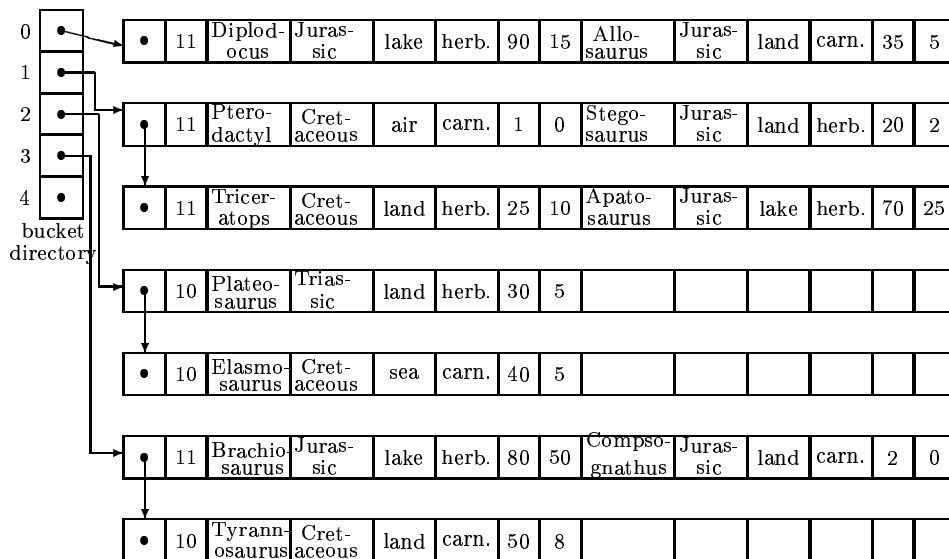


Abbildung 4.7: Hash-Organisation nach Einfügen von Elamosaurus und Umbenennen

Im Bucket-Directory findet sich als $h(v)$ -ter Eintrag der Verweis auf den Anfang einer Liste von Blöcken, unter denen das Record mit Schlüssel v zu finden ist. Abbildung 4.5 zeigt eine Hash-Tabelle, deren Hash-Funktion h die Personalnummer x durch $h(x) = x \bmod 3$ auf das Intervall $[0..2]$ abbildet.

Falls B klein ist, kann sich das Bucket-Directory im Hauptspeicher befinden; andernfalls ist es über mehrere Blöcke im Hintergrundspeicher verteilt, von denen zunächst der zuständige Block geladen werden muß.

Jeder Block enthält neben dem Zeiger auf den Folgeblock noch jeweils 1 Bit pro Subblock (Platz für ein Record), welches angibt, ob dieser Subblock leer (also beschreibbar) oder gefüllt (also les-

bar) ist. Soll die Möglichkeit von *dangling pointers* grundsätzlich ausgeschlossen werden, müßten gelöschte Records mit einem weiteren, dritten Zustand versehen werden, der dafür sorgt, daß dieser Speicherplatz bis zum generellen Aufräumen nicht wieder verwendet wird.

Zu einem Record mit Schlüssel v laufen die Operationen wie folgt ab:

- **LOOKUP:**
Berechne $h(v) = i$. Lies den für i zuständigen Directory-Block ein, und beginne bei der für i vermerkten Startadresse mit dem Durchsuchen aller Blöcke.
- **MODIFY:**
Falls Schlüssel von Änderung betroffen: DELETE und INSERT durchführen. Falls Schlüssel von Änderung nicht betroffen: LOOKUP durchführen und dann Überschreiben.
- **INSERT:**
Zunächst LOOKUP durchführen. Falls Satz mit v vorhanden: Fehler. Sonst: Freien Platz im Block überschreiben und ggf. neuen Block anfordern.
- **DELETE:**
Zunächst LOOKUP durchführen. Bei Record Löschtbit setzen.

Der Aufwand aller Operationen hängt davon ab, wie gleichmäßig die Hash-Funktion ihre Funktionswerte auf die Buckets verteilt und wie viele Blöcke im Mittel ein Bucket enthält. Im günstigsten Fall ist nur ein Directory-Zugriff und ein Datenblock-Zugriff erforderlich und ggf. ein Blockzugriff beim Zurückschreiben. Im ungünstigsten Fall sind alle Records in dasselbe Bucket gehasht worden und daher müssen ggf. alle Blöcke durchlaufen werden.

Beispiel für offenes Hashing (übernommen aus *Ullman, Kapitel 2*):

Abbildungen 4.6 und 4.7 zeigen die Verwaltung von Dinosaurier-Records. Verwendet wird eine Hash-Funktion h , die einen Schlüssel v abbildet auf die Länge von $v \bmod 5$. Pro Block können zwei Records mit Angaben zum Dinosaurier gespeichert werden sowie im Header des Blocks zwei Bits zum Frei/Belegt-Status der Subblocks.

Abbildung 4.6 zeigt die Ausgangssituation. Nun werde *Elasmosaurus* (Hashwert = 2) eingefügt. Hierzu muß ein neuer Block für Bucket 2 angehängt werden. Dann werde *Brontosaurus* umgetauft in *Apatosaurus*. Da diese Änderung den Schlüssel berührt, muß das Record gelöscht und modifiziert neu eingetragen werden. Abbildung 4.7 zeigt das Ergebnis.

Bei geschickt gewählter Hash-Funktion werden sehr kurze Zugriffszeiten erreicht, sofern das Bucket-Directory der Zahl der benötigten Blöcke angepaßt ist. Bei statischem Datenbestand läßt sich dies leicht erreichen. Problematisch wird es bei dynamisch wachsendem Datenbestand. Um immer größer werdende Buckets zu vermeiden, muß von Zeit zu Zeit eine völlige Neuorganisation der Hash-Tabelle durchgeführt werden.

4.4 ISAM

Offenes und auch erweiterbares Hashing sind nicht in der Lage, Datensätze in sortierter Reihenfolge auszugeben oder Bereichsabfragen zu bearbeiten. Für Anwendungen, bei denen dies erforderlich ist, kommen Index-Strukturen zum Einsatz (englisch: *index sequential access method = ISAM*). Wir setzen daher voraus, daß sich die Schlüssel der zu verwaltenden Records als Zeichenketten interpretieren lassen und damit eine lexikographische Ordnung auf der Menge der Schlüssel impliziert wird. Sind mehrere Felder am Schlüssel beteiligt, so wird zum Vergleich deren Konkatination herangezogen.

Neben der Haupt-Datei (englisch: *main file*), die alle Datensätze in lexikographischer Reihenfolge enthält, gibt es nun eine Index-Datei (englisch: *index file*) mit Verweisen in die Hauptdatei. Die Einträge der Index-Datei sind Tupel, bestehend aus Schlüsseln und Blockadressen, sortiert nach Schlüsseln. Liegt $\langle v, a \rangle$ in der Index-Datei, so sind alle Record-Schlüssel im Block, auf den a zeigt, größer oder gleich v . Zur Anschauung: Fassen wir ein Telefonbuch als Hauptdatei auf (eine Seite \equiv ein Block), so bilden alle die Namen, die jeweils links oben auf den Seiten vermerkt sind, einen Index. Da im Index nur ein Teil der Schlüssel aus der Hauptdatei zu finden sind, spricht man von einer dünn besetzten Index-Datei (englisch: *sparse index*).

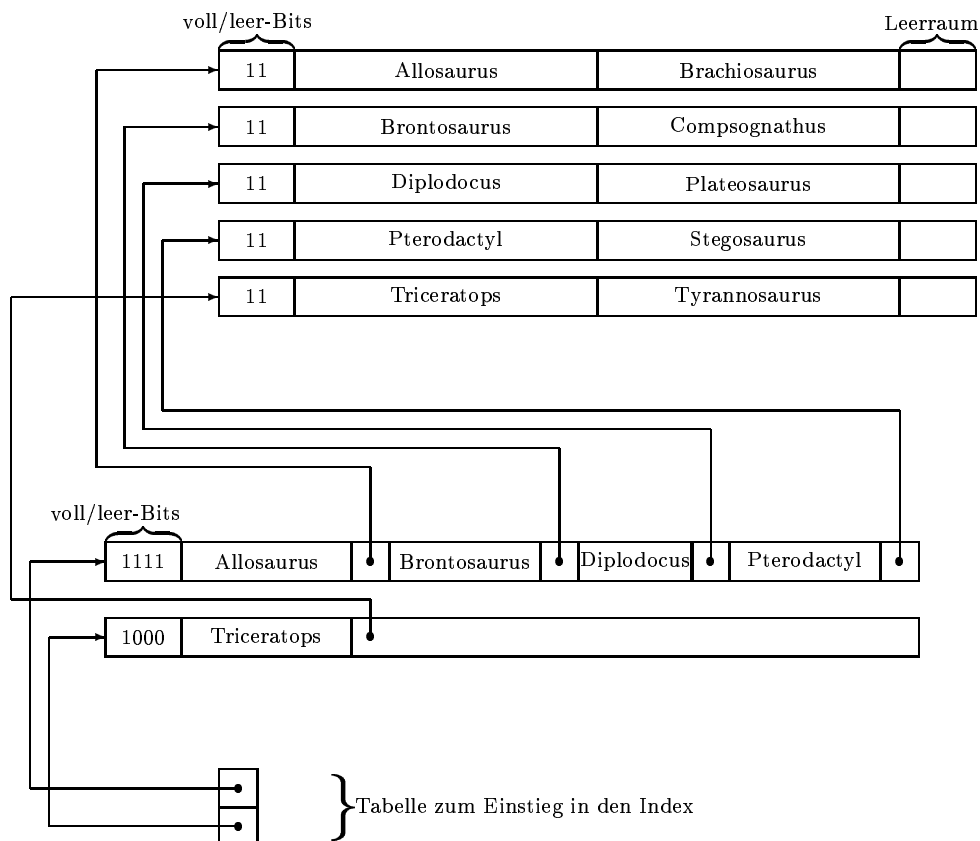


Abbildung 4.8: ISAM: Ausgangslage

Wir nehmen an, die Records seien verschiebbar und pro Block sei im Header vermerkt, welche Subblocks belegt sind. Dann ergeben sich die folgenden Operationen:

- **LOOKUP:**

Gesucht wird ein Record mit Schlüssel v_1 . Suche (mit binary search) in der Index-Datei den letzten Block mit erstem Eintrag $v_2 \leq v_1$. Suche in diesem Block das letzte Paar (v_3, a) mit $v_3 \leq v_1$. Lies Block mit Adresse a und durchsuche ihn nach Schlüssel v_1 .

- **MODIFY:**

Führe zunächst LOOKUP durch. Ist der Schlüssel an der Änderung beteiligt, so wird MODIFY wie ein DELETE mit anschließendem INSERT behandelt. Andernfalls kann das Record überschrieben und dann der Block zurückgeschrieben werden.

- **INSERT:**

Eingefügt wird ein Record mit Schlüssel v . Suche zunächst mit LOOKUP den Block B_i , auf dem v zu finden sein müßte (falls v kleinster Schlüssel, setze $i = 1$). Falls B_i nicht vollständig gefüllt ist: Füge Record in B_i an passender Stelle ein, und verschiebe ggf. Records um eine Position nach rechts (Full/Empty-Bits korrigieren). Wenn v kleiner als alle bisherigen Schlüssel ist, so korrigiere Index-Datei. Wenn B_i gefüllt ist: Überprüfe, ob B_{i+1} Platz hat. Wenn ja: Schiebe überlaufendes Record nach B_{i+1} und korrigiere Index. Wenn nein: Fordere neuen Block B'_i an, speichere das Record dort, und füge im Index einen Verweis ein.

- **DELETE:** analog zu INSERT

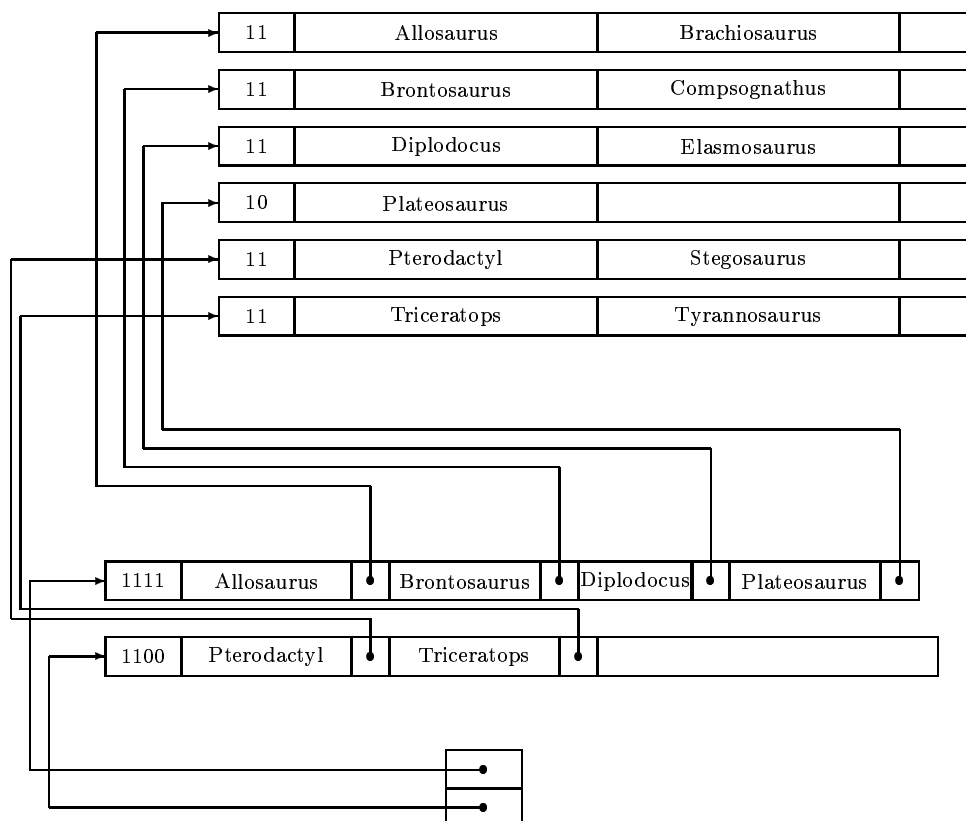


Abbildung 4.9: ISAM: nach Einfügen von Elasmosaurus

Bemerkung: Ist die Verteilung der Schlüssel bekannt, so sinkt für n Index-Blöcke die Suchzeit durch *Interpolation Search* auf $\log \log n$ Schritte!

Abbildung 4.8 zeigt die Ausgangslage für eine Hauptdatei mit Blöcken, die jeweils 2 Records speichern können. Die Blöcke der Index-Datei enthalten jeweils vier Schlüssel/Adreß-Paare. Weiterhin gibt es im Hauptspeicher eine Tabelle mit Verweisen zu den Index-Datei-Blöcken.

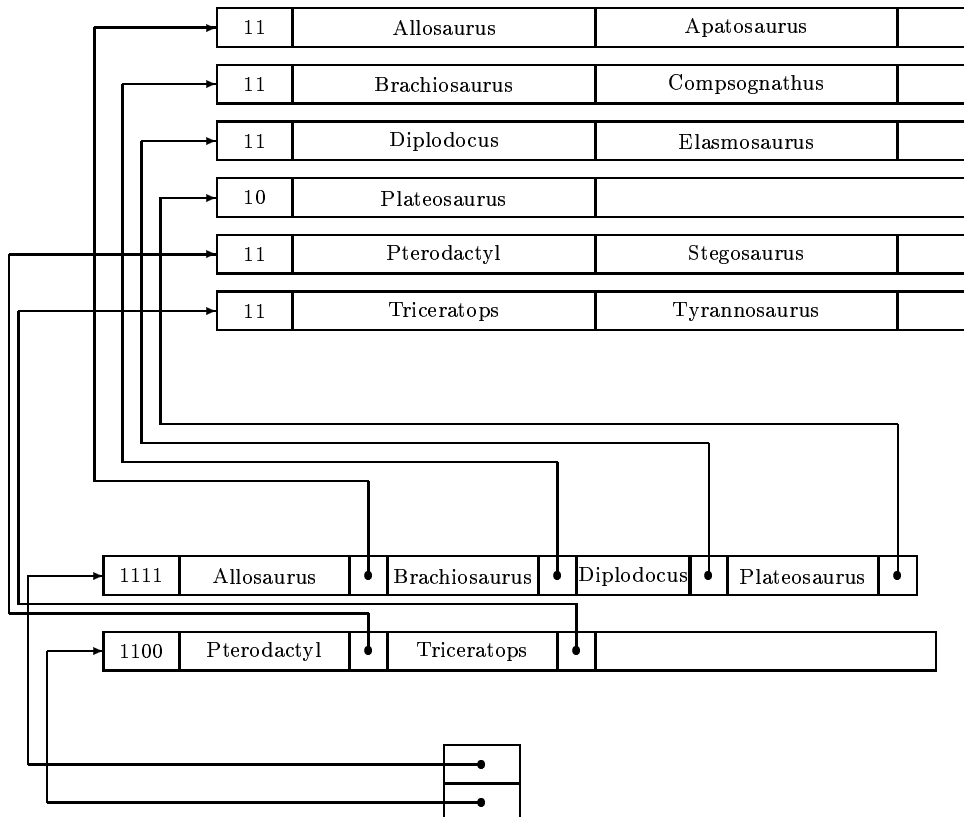


Abbildung 4.10: ISAM: nach Umbenennen von Brontosaurus

Abbildung 4.9 zeigt die Situation nach dem Einfügen von Elasmosaurus. Hierzu findet man zunächst als Einstieg Diplodocus. Der zugehörige Dateiblock ist voll, so daß nach Einfügen von Elasmosaurus für das überschüssige Record Plateosaurus ein neuer Block angelegt und sein erster Schlüssel in die Index-Datei eingetragen wird.

Nun wird Brontosaurus umbenannt in Apatosaurus. Hierzu wird zunächst Brontosaurus gelöscht, sein Dateinachfolger Compsognathus um einen Platz vorgezogen und der Schlüssel in der Index-Datei, der zu diesem Blockzeiger gehört, modifiziert. Das Einfügen von Apatosaurus bewirkt einen Überlauf von Brachiosaurus in den Nachfolgeblock, in dem Compsognathus nun wieder an seinen alten Platz rutscht. Im zugehörigen Index-Block verschwindet daher sein Schlüssel wieder und wird überschrieben mit Brachiosaurus (Abbildung 4.10).

4.5 B*-Baum

Betrachten wir das Index-File als Daten-File, so können wir dazu ebenfalls einen weiteren Index konstruieren und für dieses File wiederum einen Index usw. Diese Idee führt zum B*-Baum.

Ein B*-Baum mit Parameter k wird charakterisiert durch folgende Eigenschaften:

- Jeder Weg von der Wurzel zu einem Blatt hat dieselbe Länge.
- Jeder Knoten außer der Wurzel und den Blättern hat mindestens k Nachfolger.
- Jeder Knoten hat höchstens $2 \cdot k$ Nachfolger.
- Die Wurzel hat keinen oder mindestens 2 Nachfolger.

Der Baum T befindet sich im Hintergrundspeicher, und zwar nimmt jeder Knoten einen Block ein. Ein Knoten mit j Nachfolgern speichert j Paare von Schlüsseln und Adressen $(s_1, a_1), \dots, (s_j, a_j)$. Es gilt $s_1 \leq s_2 \leq \dots \leq s_j$. Eine Adresse in einem Blattknoten bezeichnet den Datenblock mit den restlichen Informationen zum zugehörigen Schlüssel, sonst bezeichnet sie den Block zu einem Baumknoten: Enthaltene Block für Knoten p die Einträge $(s_1, a_1), \dots, (s_j, a_j)$. Dann ist der erste Schlüssel im i -ten Sohn von p gleich s_i , alle weiteren Schlüssel in diesem Sohn (sofern vorhanden) sind größer als s_i und kleiner als s_{i+1} .

Wir betrachten nur die Operationen auf den Knoten des Baumes und nicht auf den eigentlichen Datenblöcken. Gegeben sei der Schlüssel s .

LOOKUP: Beginnend bei der Wurzel steigt man den Baum hinab in Richtung des Blattes, welches den Schlüssel s enthalten müßte. Hierzu wird bei einem Knoten mit Schlüsseln s_1, s_2, \dots, s_j als nächstes der i -te Sohn besucht, wenn gilt $s_i \leq s < s_{i+1}$.

MODIFY: Wenn das Schlüsselfeld verändert wird, muß ein DELETE mit nachfolgendem INSERT erfolgen. Wenn das Schlüsselfeld nicht verändert wird, kann der Datensatz nach einem LOOKUP überschrieben werden.

INSERT: Nach LOOKUP sei Blatt B gefunden, welches den Schlüssel s enthalten soll. Wenn B weniger als $2k$ Einträge hat, so wird s eingefügt, und es werden die Vorgängerknoten berichtigt, sofern s kleinster Schlüssel im Baum ist. Wenn B $2 \cdot k$ Einträge hat, wird ein neues Blatt B' generiert, mit den größeren k Einträgen von B gefüllt und dann der Schlüssel s eingetragen. Der Vorgänger von B und B' wird um einen weiteren Schlüssel s' (kleinster Eintrag in B') erweitert. Falls dabei Überlauf eintritt, pflanzt sich dieser nach oben fort.

DELETE: Nach LOOKUP sei Blatt B gefunden, welches den Schlüssel s enthält. Das Paar (s, a) wird entfernt und ggf. der Schlüsseleintrag der Vorgänger korrigiert. Falls B jetzt $k - 1$ Einträge hat, wird der unmittelbare Bruder B' mit den meisten Einträgen bestimmt. Haben beide Brüder gleich viel Einträge, so wird der linke genommen. Hat B' mehr als k Einträge, so werden die Einträge von B und B' auf diese beiden Knoten gleichmäßig verteilt. Haben B und B' zusammen eine ungerade Anzahl, so erhält der linke einen Eintrag mehr. Hat B' genau k Einträge, so werden B und B' verschmolzen. Die Vorgängerknoten müssen korrigiert werden.

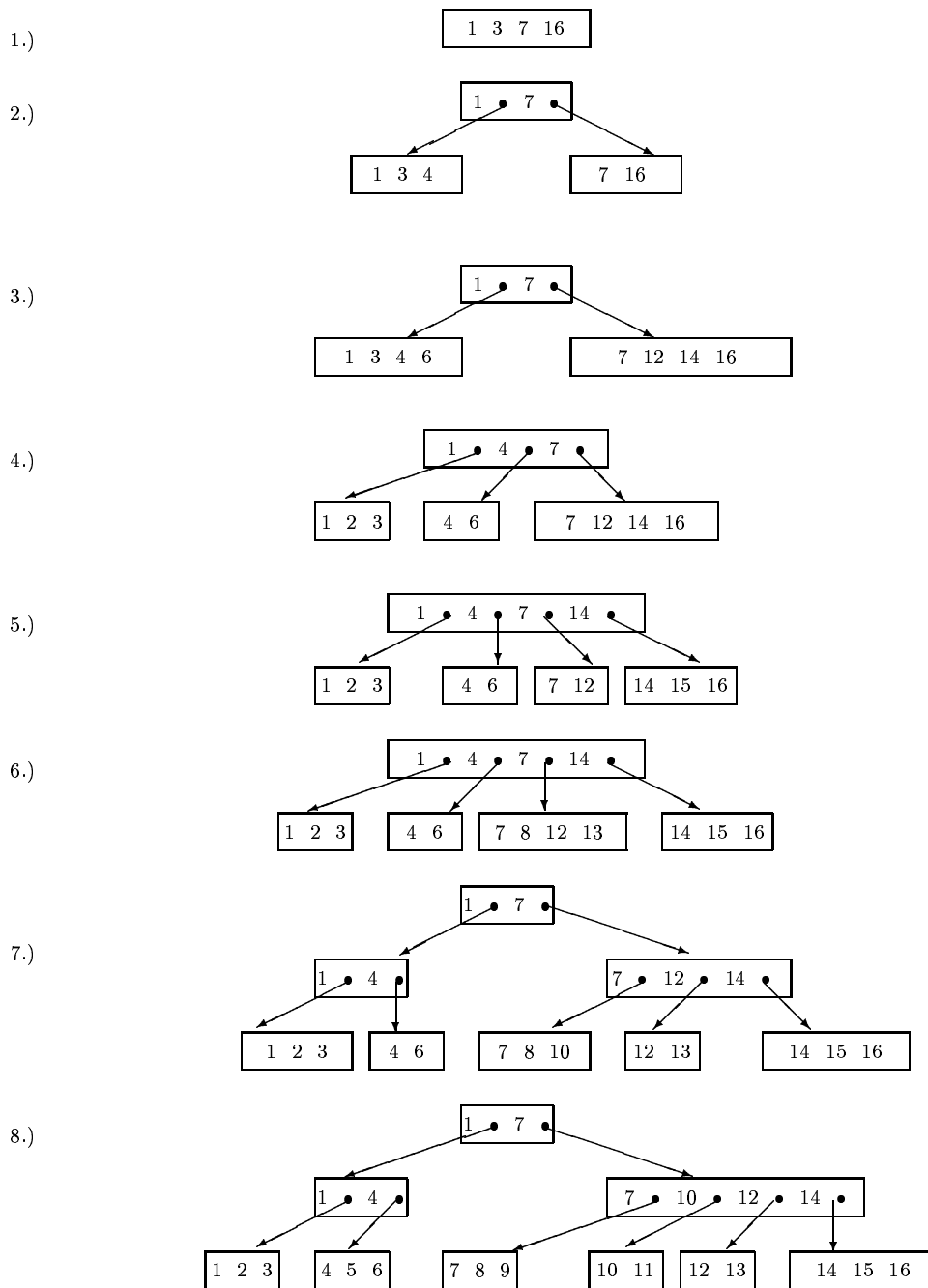


Abbildung 4.11: dynamisches Verhalten eines B*-Baums

Abbildung 4.11 zeigt das dynamische Verhalten eines B*-Baums mit dem Parameter $k = 2$. Es werden 16 Schlüssel eingefügt und 8 Schnappschüsse gezeichnet:

Schlüssel: 3, 7, 1, 16, 4, 14, 12, 6, 2, 15, 13, 8, 10, 5, 11, 9

Zeitpunkt: ↑↑ ↑↑↑ ↑↑ ↑

 1.2. 3.4. 5. 6. 7. 8.

Der Parameter k ergibt sich aus dem Platzbedarf für die Schlüssel/Adreßpaare und der Blockgröße. Die Höhe des Baumes ergibt sich aus der benötigten Anzahl von Verzweigungen, um in den Blättern genügend Zeiger auf die Datenblöcke zu haben.

Beispiel für die Berechnung des Platzbedarfs eines B*-Baums:

Gegeben seien 300.000 Datenrecords à 100 Bytes. Jeder Block umfasse 1.024 Bytes. Ein Schlüssel sei 15 Bytes lang, eine Adresse bestehe aus 4 Bytes.

Daraus errechnet sich der Parameter k wie folgt

$$\lfloor \frac{1024}{15 + 4} \rfloor = 53 \Rightarrow k = 26$$

Die Wurzel sei im Mittel zu 50 % gefüllt (hat also 26 Söhne), ein innerer Knoten sei im Mittel zu 75 % gefüllt (hat also 39 Söhne), ein Datenblock sei im Mittel zu 75 % gefüllt (enthält also 7 bis 8 Datenrecords). 300.000 Records sind also auf $\lfloor \frac{300.000}{7,5} \rfloor = 40.000$ Datenblöcke verteilt.

Die Zahl der Zeiger entwickelt sich daher auf den oberen Ebenen des Baums wie folgt:

| Ebene | Anzahl Knoten | Anzahl Zeiger | | |
|-------|---------------|---------------|---|--------|
| 0 | 1 | 26 | | |
| 1 | 26 | 26 · 39 | = | 1.014 |
| 2 | 26 · 39 | 26 · 39 · 39 | = | 39.546 |

Damit reichen drei Ebenen aus, um genügend Zeiger auf die Datenblöcke bereitzustellen. Der Platzbedarf beträgt daher

$$1 + 26 + 26 \cdot 39 + 39546 \approx 40.000 \text{ Blöcke.}$$

Das LOOKUP auf ein Datenrecord verursacht also vier Blockzugriffe: es werden drei Indexblöcke auf Ebene 0, 1 und 2 sowie ein Datenblock referiert. Zum Vergleich: Das Heapfile benötigt 30.000 Blöcke.

Soll für offenes Hashing eine mittlere Zugriffszeit von 4 Blockzugriffen gelten, so müssen in jedem Bucket etwa 5 Blöcke sein (1 Zugriff für Hash-Directory, 3 Zugriffe im Mittel für eine Liste von 5 Blöcken). Von diesen 5 Blöcken sind 4 voll, der letzte halbvoll. Da 10 Records in einen Datenblock passen, befinden sich in einem Bucket etwa $4,5 \cdot 10 = 45$ Records. Also sind $\frac{300.000}{45} = 6.666$ Buckets erforderlich. Da 256 Adressen in einen Block passen, werden $\lfloor \frac{6666}{256} \rfloor = 26$ Directory-Blöcke benötigt. Der Platzbedarf beträgt daher $26 + 5 \cdot 6666 = 33356$.

Zur Bewertung von B*-Bäumen läßt sich sagen:

- **Vorteile:** dynamisch, schnell, Sortierung generierbar (ggf. Blätter verzeigern).
- **Nachteile:** komplizierte Operationen, Speicheroverhead.

4.6 Sekundär-Index

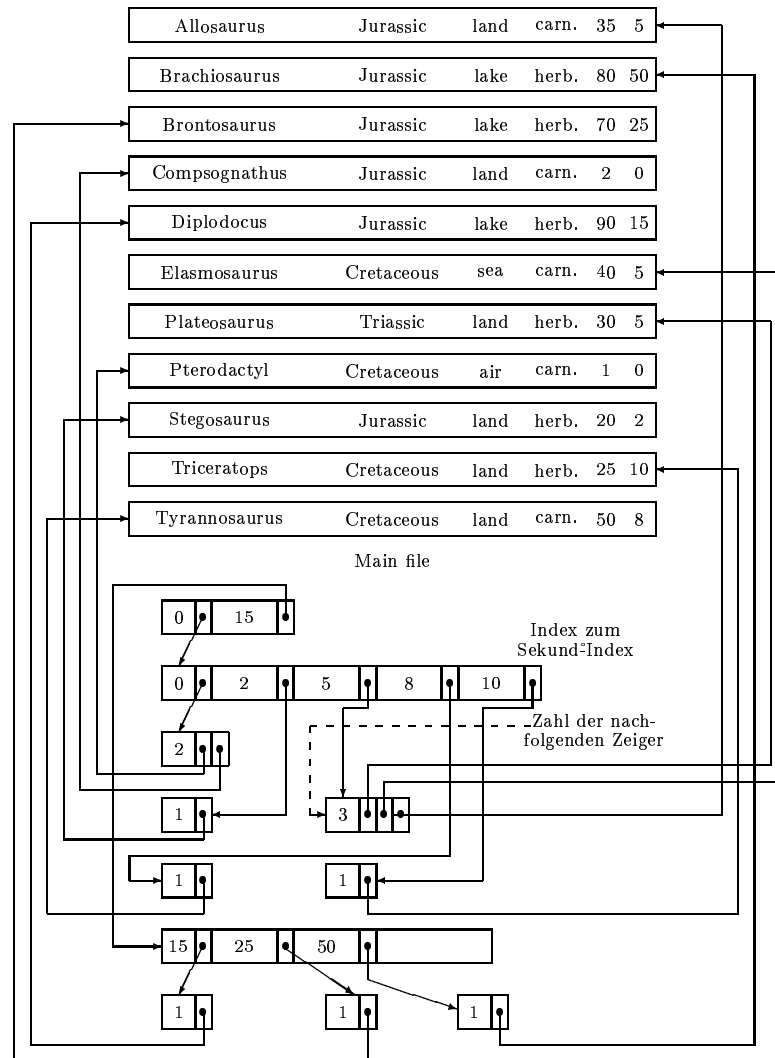


Abbildung 4.12: Sekundär-Index für GEWICHT

Die bisher behandelten Organisationsformen sind geeignet zur Suche nach einem Record, dessen Schlüssel gegeben ist. Um auch effizient Nicht-Schlüssel-Felder zu behandeln, wird für jedes Attribut, das unterstützt werden soll, ein sogenannter Sekundär-Index (englisch: *secondary index*) angelegt. Er besteht aus einem Index-File mit Einträgen der Form <Attributwert, Adresse>.

Abbildung 4.12 zeigt für das Dinosaurier-File einen *secondary index* für das Attribut GEWICHT, welches, gespeichert in der letzten Record-Komponente, von 5 bis 50 variiert. Der Sekundär-Index (er wird erreicht über einen Index mit den Einträgen 0 und 15) besteht aus den Blöcken <0, 2, 5, 8, 10> und <15, 25, 50>. Die beim Gewicht g gespeicherte Adresse führt zunächst zu einem Vermerk zur Anzahl der Einträge mit dem Gewicht g und dann zu den Adressen der Records mit Gewicht g .

4.7 Google

Als Beispiel für einen heftig genutzten Index soll die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Firma *Google* besprochen werden.

Google wurde 1998 von Sergey Brin und Larry Page gegründet und ist inzwischen auf 2500 Mitarbeiter angewachsen. Die Oberfläche der Suchmaschine wird in mehr als 100 Sprachen angeboten. Etwa 8 Milliarden Webseiten liegen im Cache, der mehr als 40 TeraByte an Plattenplatz belegt. Im Lexikon befinden sich etwa 14 Millionen Schlüsselwörter, nach denen täglich mit mehr als 100 Millionen Queries gefragt wird.

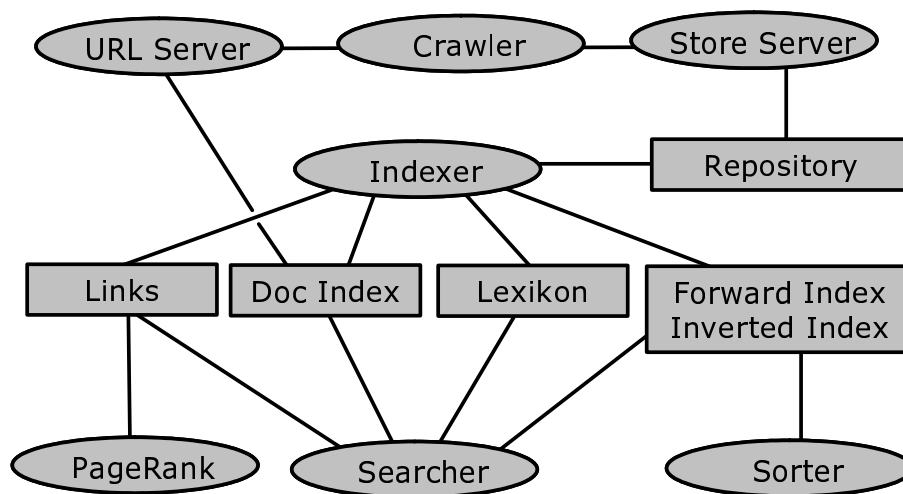


Abbildung 4.13: Google Architektur

Abbildung 4.13 zeigt die prinzipielle Systemarchitektur: Der *URL-Server* generiert eine Liste von URLs, welche vom *Crawler* systematisch besucht werden. Dabei werden neu entdeckte URLs im *DocIndex* abgelegt. Der *Store Server* legt den kompletten, abgerufenen HTML-Text eines besuchten Dokuments in komprimierter Form im *Repository* ab. Der *Indexer* verarbeitet den Repository-Inhalt: Jedem Dokument wird eine eindeutige *docID* zugeteilt. Aus jedem HREF-Konstrukt, welches von Seite A zur Seite B zeigt, wird ein Paar (*docID(A)*, *docID(B)*) erzeugt und in der Liste aller Verweis-Paare eingefügt (*Links*). Jedes beobachtete Schlüsselwort wird ins *Lexikon* eingetragen zusammen mit einer eindeutigen *wordID*, der Zahl der relevanten Dokumente und einem Verweis auf die erste Seite des *Inverted Index*, auf der solche *docIDs* liegen, in dessen Dokumenten dieses Wort beobachtet wurde oder auf die es innerhalb eines Anchor-Textes verweist.

Die Zeilen im Lexikon haben daher die Struktur

```

wordID #docs pointer
wordID #docs pointer
wordID #docs pointer
wordID #docs pointer
  
```

Durch Inspektion der Webseiten im *Repository* erstellt der *Indexer* zunächst den *Forward Index*, welcher zu jedem Dokument und jedem Wort die Zahl der Hits und ihre Positionen notiert.

Die Struktur im Forward Index lautet

```
docID wordID #hits hit hit hit hit hit hit
      wordID #hits hit hit hit
docID wordID #hits hit hit hit hit
      wordID #hits hit hit hit hit hit
      wordID #hits hit hit hit hit
```

Daraus erzeugt der *Sorter* den *Inverted Index*, welcher folgende Struktur aufweist:

```
wordID docID #hits hit hit hit hit hit hit
      docID #hits hit hit hit
      docID #hits hit hit hit hit hit
wordID docID #hits hit hit hit hit
      docID #hits hit hit hit hit hit
```

Aus technischen Gründen ist der Forward Index bereits auf 64 *Barrels* verteilt, die jeweils für einen bestimmten WordID-Bereich zuständig sind. Hierdurch entsteht beim Einsortieren zwar ein Speicheroverhead, da die Treffer zu einer docID sich über mehrere Barrels verteilen, aber die anschließende Sortierphase bezieht sich jeweils auf ein Barrel und kann daher parallelisiert werden.

Jeder *hit* umfasst zwei Bytes: 1 Capitalization Bit, 3 Bits für die Größe des verwendeten Fonts und 12 Bit für die Adresse im Dokument. Dabei werden alle Positionen größer als 4095 auf diesen Maximalwert gesetzt. Es wird unterschieden zwischen *plain hits*, welche innerhalb von normalem HTML auftauchen, und *fancy hits*, welche innerhalb einer URL, eines HTML-Title, im Anchor-Text oder in einem Meta-Tag auftauchen.

Der PageRank-Algorithmus berechnet auf Grundlage der Seitenpaare in der Datei *Links* die sogenannte *Link Popularität*, welche ein Maß für die Wichtigkeit einer Seite darstellt: Eine Seite ist wichtig, wenn andere wichtige Seiten auf sie verweisen.

Zur formalen Berechnung machen wir folgende Annahmen: Seite T habe $C(T)$ ausgehende Links. Auf Seite A mögen die Seiten T_1, T_2, \dots, T_n verweisen. Gegeben sei ein Dämpfungsfaktor $0 \leq d \leq 1$. $(1-d)$ modelliert die Wahrscheinlichkeit, dass ein Surfer im Web eine Seite nicht über einen Link findet, sondern eine Verweiskette schließlich abbricht und die Seite spontan anwählt.

Dann ergibt sich der *PageRank* von Seite A wie folgt:

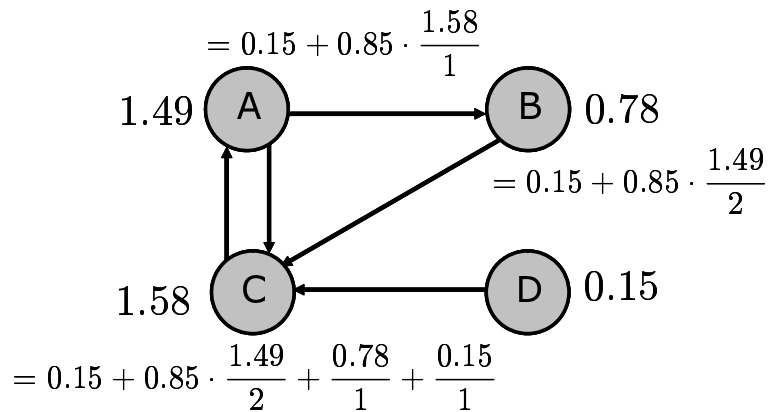
$$PR(A) := (1 - d) + d \cdot \sum_{i=1}^n \frac{PR(T_i)}{C(T_i)}$$

Je wichtiger Seite T_i ist (großes $PR(T_i)$) und je weniger ausgehende Links sie hat (kleines $C(T_i)$), desto mehr strahlt von ihrem Glanz etwas auf Seite A .

Hierdurch entsteht ein Gleichungssystem, welches sich durch ein Iterationsverfahren lösen lässt; Google braucht dafür ein paar Stunden.

Abbildung 4.14 zeigt ein Mini-Web mit vier untereinander verzeigten Seiten A, B, C, D zusammen mit den ermittelten PageRanks, basierend auf einem Dämpfungsfaktor von $d = 0.85$.

Der vorberechnete PageRank und der vorberechnete Inverted Index erlauben nun eine effiziente Suche nach einem oder mehreren Schlüsselwörtern.

Abbildung 4.14: PageRank errechnet mit Dämpfungsfaktor $d=0.85$

Bei einer Single-Word-Query w werden zunächst mit Hilfe des Inverted Index alle Seiten ermittelt, in denen w vorkommt. Für jede ermittelte Seite d werden die Hit-Listen ausgewertet bzgl. des Treffer-Typs (abnehmende Wichtigkeit für Treffer in title, anchor, URL, plain text large font, plain text small font, ...). Der gewichtete Treffervektor wird skalar multipliziert mit dem Trefferhäufigkeitsvektor und ergibt den *Weight-Score*(d, w). Dieser wird nach einem geheimen Google-Rezept mit dem *PageRank*(d) kombiniert und es entsteht der *Final-Score*(d, w), welcher durch Sortieren die Trefferliste bestimmt.

Bei einer Multi-Word-Query w_1, w_2, \dots, w_n werden zunächst 10 Entfernungsklassen gebildet (von 'unmittelbar benachbart' bis 'sehr weit entfernt') und als Grundlage für einen sogenannten *Proximity-Score*(d, w_1, w_2, \dots, w_n) ausgewertet: nah in einem Dokument beeinanderliegende Suchwörter werden belohnt. Dann wird für jede gemeinsame Trefferseite d und jedes Suchwort w_i der konventionelle *Weight-Score*(d, w_i) kombiniert mit dem *Proximity-Rank*(d, w_1, w_2, \dots, w_n) und dem *PageRank*(d). Der dadurch errechnete *Final-Score*(d, w_1, w_2, \dots, w_n) bestimmt nach dem Sortieren die Trefferliste.

Kapitel 5

Mehrdimensionale Suchstrukturen

5.1 Problemstellung

Ein Sekundär-Index ist in der Lage, alle Records mit $x_1 \leq a \leq x_2$ zu finden. Nun heißt die Aufgabe: Finde alle Records mit $x_1 \leq a_1 \leq x_2$ und $y_1 \leq a_2 \leq y_2, \dots$

Beispiel für mehrdimensionale Bereichsabfrage:
Gesucht sind alle Personen mit der Eigenschaft

| | |
|-----------|------------------------------|
| Alter | zwischen 20 und 30 Jahre alt |
| Einkommen | zwischen 2000 und 3000 Euro |
| PLZ | zwischen 40000 und 50000 |

Im folgenden betrachten wir (wegen der einfacheren Veranschaulichung) nur den 2-dimensionalen Fall. Diese Technik ist auf beliebige Dimensionen verallgemeinerbar.

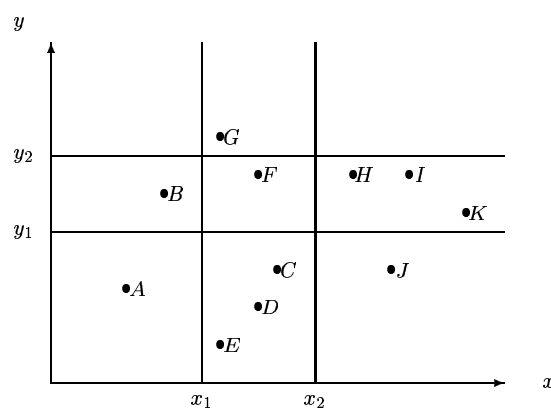


Abbildung 5.1: Fläche mit Datenpunkten

Abbildung 5.1 zeigt eine zweidimensionale Fläche mit Datenpunkten sowie ein Query-Rechteck, gegeben durch vier Geraden.

Die Aufgabe besteht darin, alle Punkte zu ermitteln, die im Rechteck liegen. Hierzu bieten sich zwei naheliegende Möglichkeiten an:

- Projektion durchführen auf x oder y mit binärer Suche über vorhandenen Index, danach sequentiell durchsuchen, d.h. zunächst werden G, F, C, D, E ermittelt, danach bleibt F übrig
- Projektion durchführen auf x und Projektion durchführen auf y , anschließend Durchschnitt bilden.

Es ist offensichtlich, daß trotz kleiner Trefferzahl ggf. lange Laufzeiten auftreten können. Dagegen ist für die 1-dimensionale Suche bekannt: Der Aufwand beträgt $O(k + \log n)$ bei k Treffern in einem Suchbaum mit n Knoten.

5.2 k-d-Baum

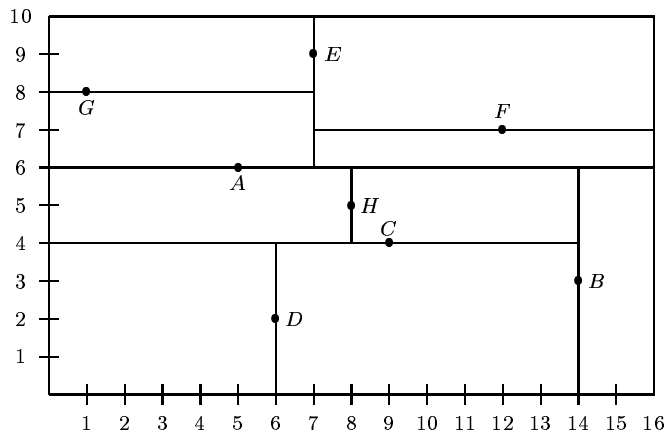


Abbildung 5.2: Durch die Datenpunkte A,B,C,D,E,F,G,H partitionierte Fläche

Eine Verallgemeinerung eines binären Suchbaums mit einem Sortierschlüssel bildet der k - d -Baum mit k -dimensionalem Sortierschlüssel. Er verwaltet eine Menge von mehrdimensionalen Datenpunkten, wie z.B. Abbildung 5.2 für den 2-dimensionalen Fall zeigt. In der homogenen Variante enthält jeder Baumknoten ein komplettes Datenrecord und zwei Zeiger auf den linken und rechten Sohn (Abbildung 5.3). In der inhomogenen Variante enthält jeder Baumknoten nur einen Schlüssel und die Blätter verweisen auf die Datenrecords (Abbildung 5.4). In beiden Fällen werden die Werte der einzelnen Attribute abwechselnd auf jeder Ebene des Baumes zur Diskriminierung verwendet. Es handelt sich um eine statische Struktur; die Operationen Löschen und die Durchführung einer Balancierung sind sehr aufwendig.

Im 2-dimensionalen Fall gilt für jeden Knoten mit Schlüssel $[x/y]$:

| | im linken Sohn | im rechten Sohn |
|---------------------|-------------------------|----------------------|
| auf ungerader Ebene | alle Schlüssel $\leq x$ | alle Schlüssel $> x$ |
| auf gerader Ebene | alle Schlüssel $\leq y$ | alle Schlüssel $> y$ |

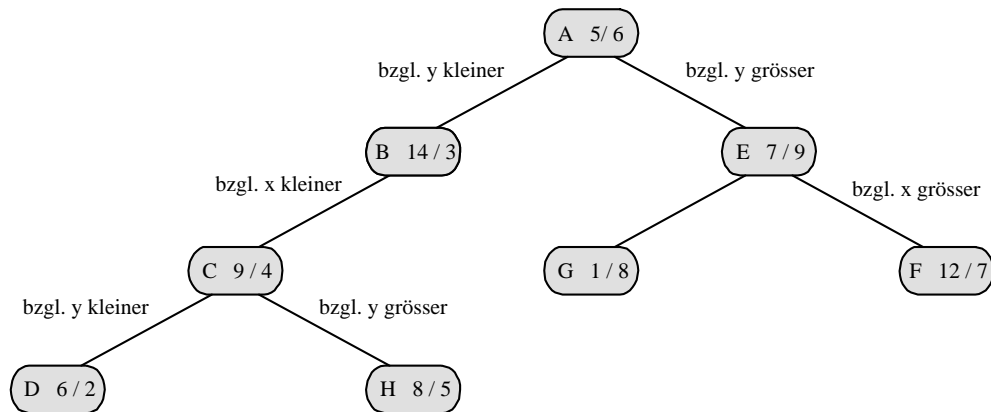


Abbildung 5.3: 2-d-Baum (homogen) zu den Datenpunkten A,B,C,D,E,F,G,H

Die Operationen auf einem 2 – d -Baum laufen analog zum binärem Baum ab:

- **Insert:**
Suche mit Schlüssel $[x/y]$ unter Abwechslung der Dimension die Stelle, wo der $[x/y]$ -Knoten sein müßte und hänge ihn dort ein.
- **Exakt Match** (z.B. finde Record $[15/5]$):
Suche mit Schlüssel $[x/y]$ unter Abwechslung der Dimension bis zu der Stelle, wo der $[x/y]$ -Knoten sein müßte.
- **Partial Match** (z.B. finde alle Records mit $x = 7$):
An den Knoten, an denen nicht bzgl. x diskriminiert wird, steige in beide Söhne ab; an den Knoten, an denen bzgl. x diskriminiert wird, steige in den zutreffenden Teilbaum ab.
- **Range-Query** (z.B. finde alle Records $[x, y]$ mit $7 \leq x \leq 13, 5 \leq y \leq 8$):
An den Knoten, an denen die Diskriminatorlinie das Suchrechteck schneidet, steige in beide Söhne ab, sonst steige in den zutreffenden Sohn ab. Beobachtung: Laufzeit $k + \log n$ Schritte bei k Treffern!
- **Best-Match** (z.B. finde nächstgelegenes Record zu $x = 7, y = 3$):
Dies entspricht einer Range-Query, wobei statt eines Suchrechtecks jetzt ein Suchkreis mit Radius gemäß Distanzfunktion vorliegt. Während der Baumtraversierung schrumpft der Suchradius. Diese Strategie ist erweiterbar auf k -best-Matches.

Bei der inhomogenen Variante enthalten die inneren Knoten je nach Ebene die Schlüsselinformation der zuständigen Dimension sowie Sohnzeiger auf weitere innere Knoten. Nur die Blätter verweisen auf Datenblöcke der Hauptdatei, die jeweils mehrere Datenrecords aufnehmen können. Auch die inneren Knoten werden zu Blöcken zusammengefaßt, wie auf Abbildung 5.5 zu sehen ist. In Abbildung 5.4 befinden sich z.B. die Datenrecords C , B und D in einem Block.

Abbildung 5.6 zeigt, daß neben der oben beschriebenen 2-d-Baum-Strategie eine weitere Möglichkeit existiert, den Datenraum zu partitionieren. Dies führt zu den sogenannten *Gitterverfahren*.

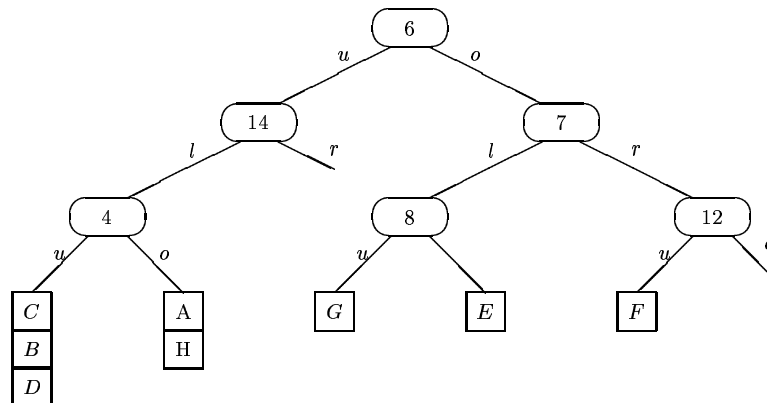


Abbildung 5.4: 2-d-Baum (inhomogen) zu den Datenpunkten A,B,C,D,E,F,G,H

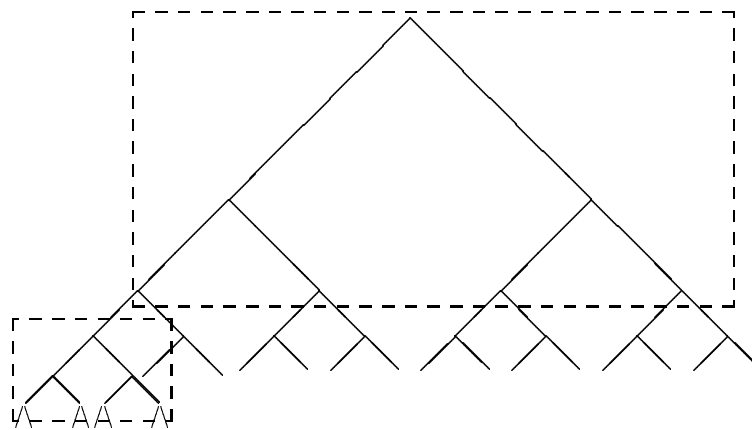


Abbildung 5.5: Zusammenfassung von je 7 inneren Knoten auf einem Index-Block

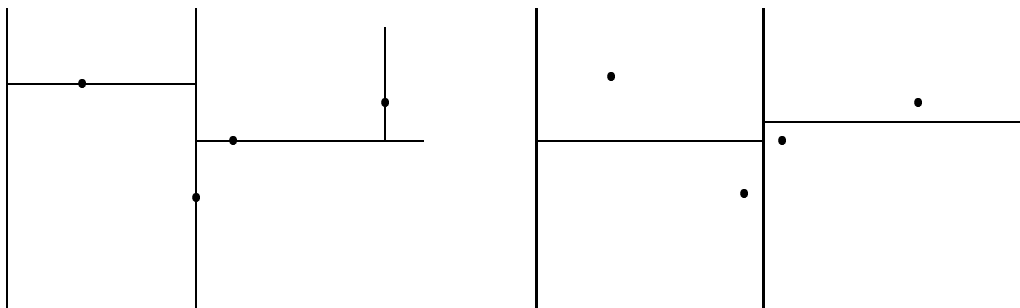


Abbildung 5.6: Partitionierungsmöglichkeiten des Raumes

5.3 Gitterverfahren mit konstanter Gittergröße

Gitterverfahren, die mit konstanter Gittergröße arbeiten, teilen den Datenraum in Quadrate fester Größe auf. Abbildung 5.7 zeigt eine Anordnung von 24 Datenblöcken, die jeweils eine feste Anzahl von Datenrecords aufnehmen können. Über einen Index werden die Blöcke erreicht. Diese statische Partitionierung lastet die Datenblöcke natürlich nur bei einer Gleichverteilung wirtschaftlich aus und erlaubt bei Ballungsgebieten keinen effizienten Zugriff.

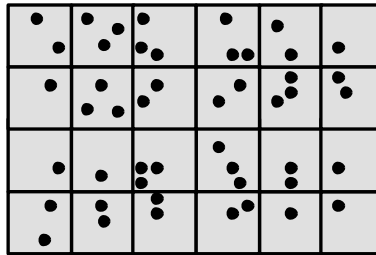


Abbildung 5.7: Partitionierung mit fester Gittergröße

5.4 Grid File

Als Alternative zu den Verfahren mit fester Gittergröße stellten Hinrichs und Nievergelt im Jahre 1981 das *Grid File* vor, welches auch bei dynamisch sich änderndem Datenbestand eine *2-Platten-Zugriffsgarantie* gibt.

Erreicht wird dies (bei k -dimensionalen Tupeln) durch

- k Skalen zum Einstieg ins Grid-Directory (im Hauptspeicher)
- Grid-Directory zum Finden der Bucket-Nr. (im Hintergrundspeicher)
- Buckets für Datensätze (im Hintergrundspeicher)

Zur einfacheren Veranschaulichung beschreiben wir die Technik für Dimension $k = 2$. Verwendet werden dabei

- **zwei eindimensionale Skalen,**
welche die momentane Unterteilung der X- bzw. Y-Achse enthalten:

```
var X: array [0..max_x] of attribut_wert_x;
var Y: array [0..max_y] of attribut_wert_y;
```

- **ein 2-dimensionales Grid-Directory,**
welches Verweise auf die Datenblöcke enthält:

```
var G: array [0..max_x - 1, 0..max_y - 1] of pointer;
```

D.h. $G[i, j]$ enthält eine Bucketadresse, in der ein rechteckiger Teilbereich der Datenpunkte abgespeichert ist. Zum Beispiel sind alle Punkte mit $30 < x \leq 40, 2050 < y \leq 2500$ im Bucket mit Adresse $G[1, 2]$ zu finden (in Abbildung 5.8 gestrichelt umrandet). Achtung: mehrere Gitterzellen können im selben Bucket liegen.

- **mehrere Buckets,**
welche jeweils eine maximale Zahl von Datenrecords aufnehmen können.

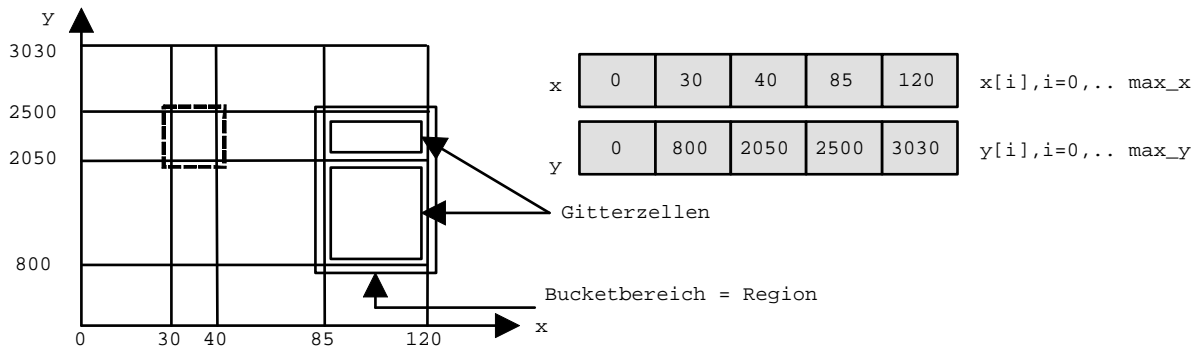


Abbildung 5.8: Skalen und resultierende Gitterzellen

Beispiel für ein Lookup mit $x = 100, y = 1000$:

- Suche in Skala x den letzten Eintrag $< x$. Er habe den Index $i = 3$.
- Suche in Skala y den letzten Eintrag $< y$. Er habe den Index $j = 1$.
- Lade den Teil des Grid-Directory in den Hauptspeicher, der $G[3, 1]$ enthält.
- Lade Bucket mit Adresse $G[3, 1]$.

Beispiel für den Zugriff auf das Bucket-Directory (statisch, maximale Platznutzung):

Vorhanden seien 32.000 Datentupel, jeweils 5 passen in einen Block. Die X - und die Y -Achse habe jeweils 80 Unterteilungen. Daraus ergeben sich 6.400 Einträge für das Bucket-Directory G . Bei 4 Bytes pro Zeiger und 1024 Bytes pro Block passen 256 Zeiger auf einen Directory-Block. Also gibt es 25 Directory-Blöcke. D.h. $G[i, j]$ befindet sich auf Block $b = 5 * \lfloor j/16 \rfloor + \lfloor i/16 \rfloor$ an der Adresse $a = 16 * (j \bmod 16) + (i \bmod 16)$.

Bei einer *range query*, gegeben durch ein Suchrechteck, werden zunächst alle Gitterzellen bestimmt, die in Frage kommen, und dann die zugehörigen Buckets eingelesen.

5.5 Aufspalten und Mischen beim Grid File

Die grundsätzliche Idee besteht darin, bei sich änderndem Datenbestand durch Modifikation der Skalen die Größen der Gitterzellen anzupassen.

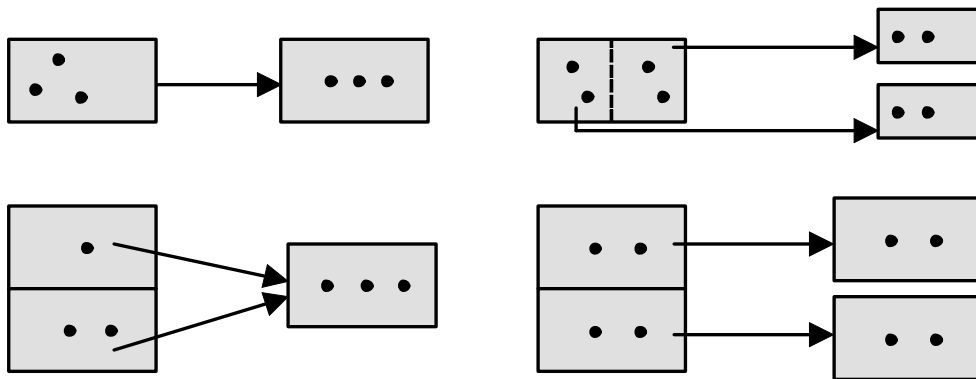


Abbildung 5.9: Konsequenzen eines Bucket-Überlauf (mit und ohne Gitterverfeinerung)

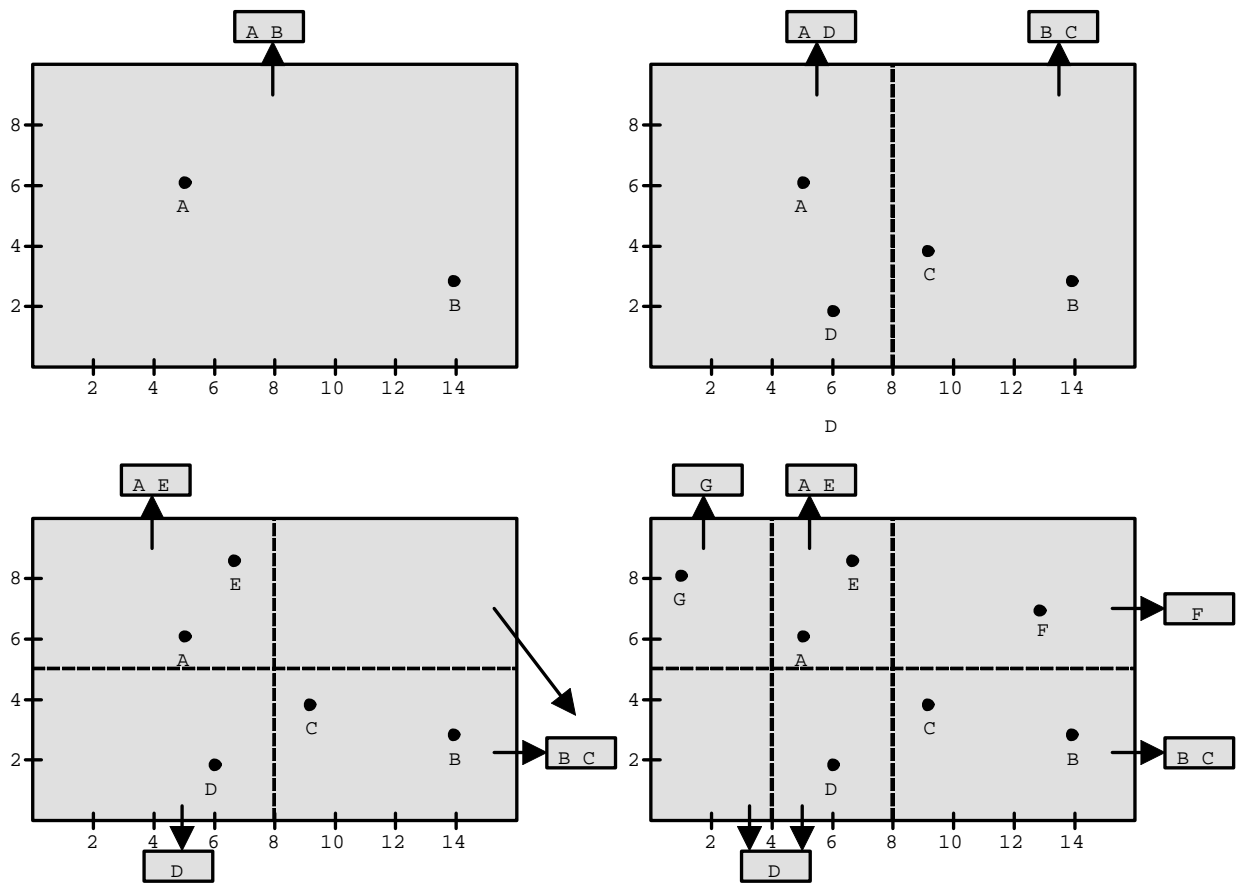


Abbildung 5.10: Aufspalten der Regionen für Datenpunkte A, B, C, D, E, F, G

Aufspalten von Regionen

Der Überlauf eines Buckets, dessen Region aus einer Zelle besteht, verursacht eine Gitterverfeinerung, die gemäß einer *Splitting Policy* organisiert wird. Im wesentlichen wird unter Abwechslung der Dimension die Region halbiert. Dieser Sachverhalt wird in der oberen Hälfte von Abbildung 5.9

demonstriert unter der Annahme, daß drei Datenrecords in ein Datenbucket passen. In der unteren Hälfte von Abbildung 5.9 ist zu sehen, daß bei Überlauf eines Buckets, dessen Region aus mehreren Gitterzellen besteht, keine Gitterverfeinerung erforderlich ist.

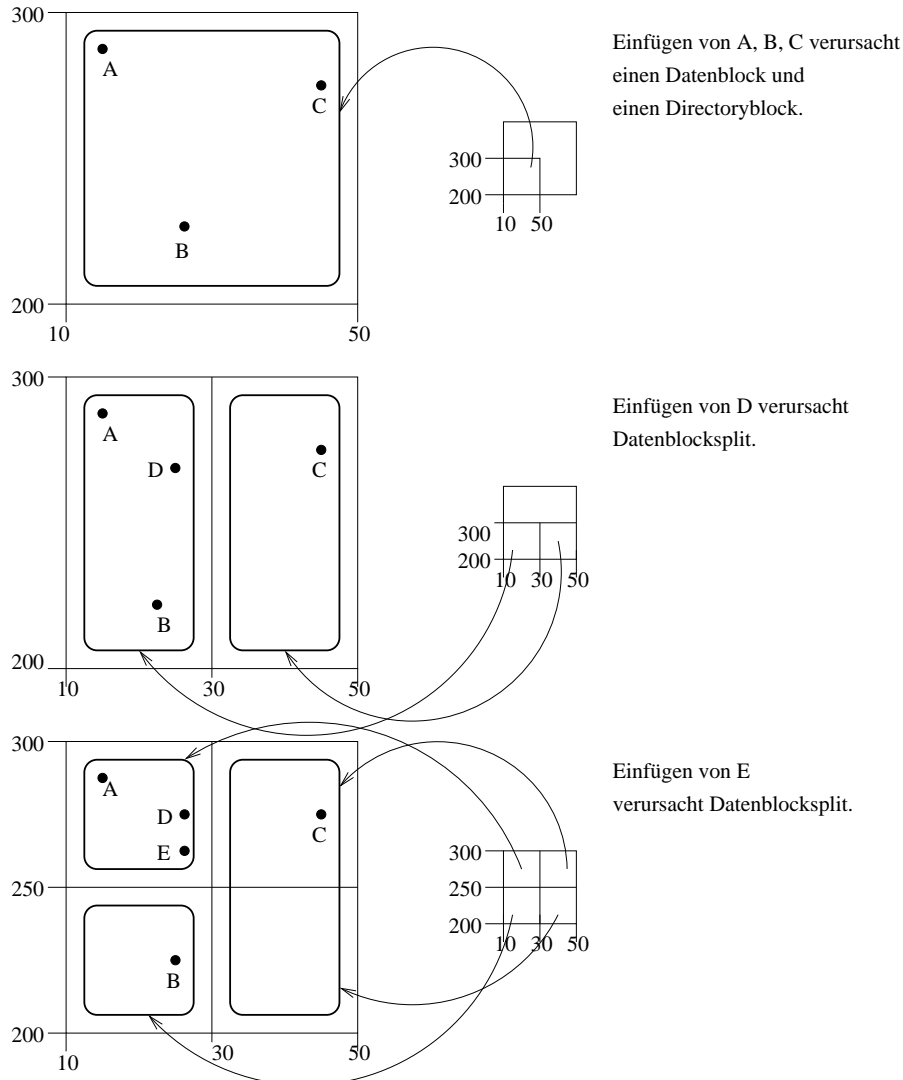


Abbildung 5.11: Dynamik des Grid File beim Einfügen der Datenpunkte A,B,C,D,E

Abbildung 5.10 zeigt die durch das sukzessive Einfügen in ein Grid File entwickelte Dynamik. Es handelt sich dabei um die in Kapitel 4 verwendeten Datenpunkte A, B, C, D, E, F, G. In dem Beispiel wird angenommen, daß 2 Datenrecords in einen Datenblock passen. Bei überlaufendem Datenblock wird die Region halbiert, wobei die Dimension abwechselt. Schließlich hat das Grid-Directory 6 Zeiger auf insgesamt 5 Datenblöcke. Die x -Skala hat drei Einträge, die y -Skala hat zwei Einträge.

Zu der dynamischen Anpassung der Skalen und Datenblöcke kommt noch die Buchhaltung der Directory-Blöcke. Dies wird in der Abbildung 5.11 demonstriert anhand der (neu positionierten) Datenpunkte A, B, C, D, E. Von den Directory-Blöcken wird angenommen, daß sie vier Adressen speichern können, in einen Datenblock mögen drei Datenrecords passen. Grundsätzlich erfolgt der Einstieg in den zuständi-

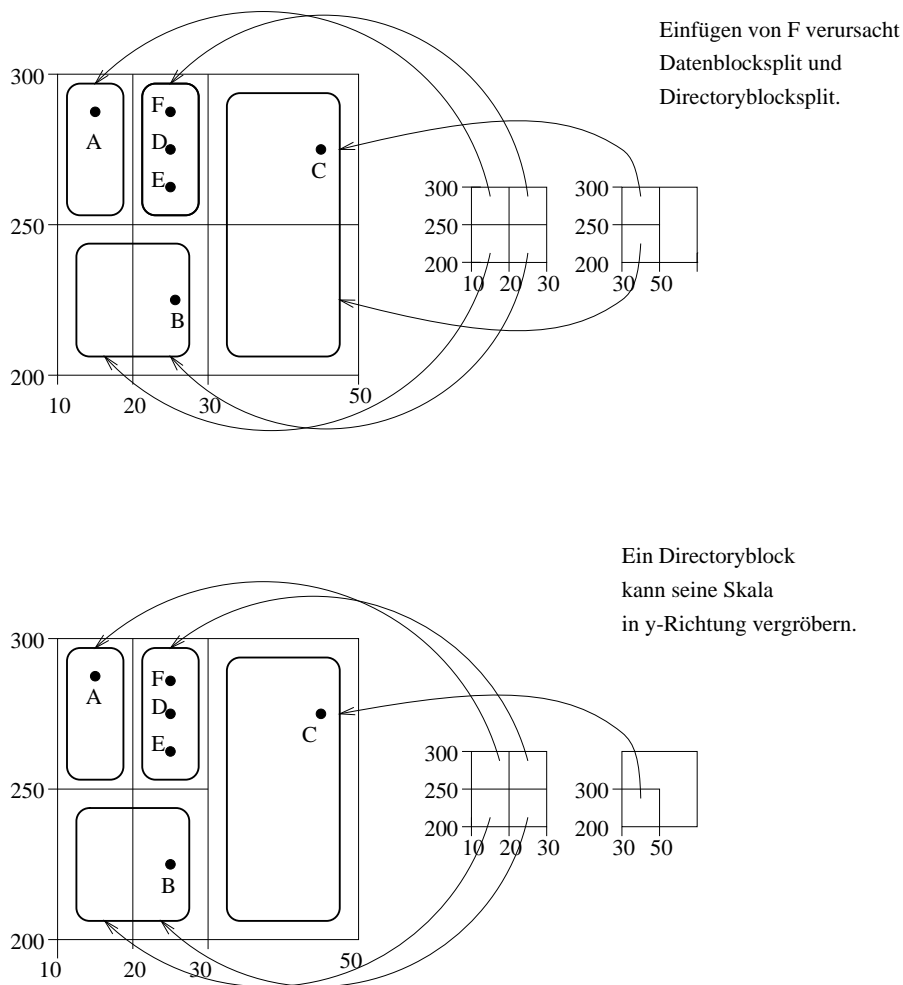


Abbildung 5.12: Vergrößerung des Grid Directory nach Aufspalten

gen Directory-Block über das sogenannte *Root-Directory*, welches im Hauptspeicher mit vergrößerten Skalen liegt. Die durch das Einfügen verursachte Aufspaltung eines Datenblocks und die dadurch ausgelösten Verfeinerungen der Skalen ziehen auch Erweiterungen im Directory-Block nach. Abbildung 5.12 zeigt, wie beim Überlauf eines Directory-Blockes dieser halbiert und auf zwei Blöcke verteilt wird. Dabei kommt es zu einer Vergrößerung der Skala.

Mischen von Regionen

Die beim Expandieren erzeugte Neustrukturierung bedarf einer Umordnung, wenn der Datenbestand schrumpft, denn nach dem Entfernen von Datenrecords können Datenblöcke mit zu geringer Auslastung entstehen, welche dann zusammengefaßt werden sollten. Die *Merging Policy* legt den Mischpartner und den Zeitpunkt des Mischens fest:

- Mischpartner zu einem Bucket X kann nur ein Bucket Y sein, wenn die Vereinigung der beiden Bucketregionen ein Rechteck bildet (Abbildung 5.13). Grund: Zur effizienten Bearbeitung von Range-Queries sind nur rechteckige Gitter sinnvoll!

- Das Mischen wird ausgelöst, wenn ein Bucket höchstens zu 30 % belegt ist und wenn das vereinigte Bucket höchstens zu 70 % belegt sein würde (um erneutes Splitten zu vermeiden)



Abbildung 5.13: Zusammenfassung von Regionen

5.6 Verwaltung geometrischer Objekte

In der bisherigen Anwendung repräsentierten die Datenpunkte im k -dimensionale Raum k -stellige Attributkombinationen. Wir wollen jetzt mithilfe der Datenpunkte geometrische Objekte darstellen und einfache geometrische Anfragen realisieren.

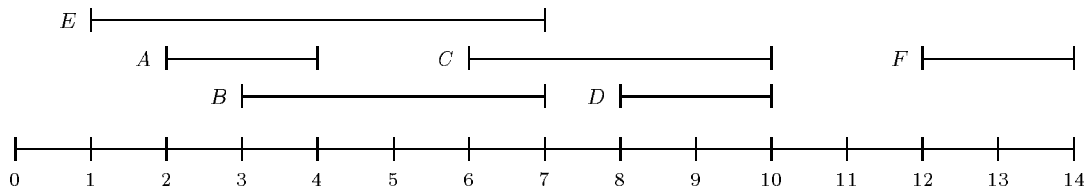


Abbildung 5.14: Intervalle A,B,C,D,E,F über der Zahlengeraden

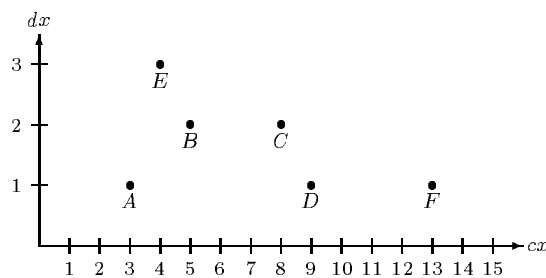


Abbildung 5.15: Repräsentation von Intervallen durch Punkte

Abbildung 5.14 zeigt eine Ansammlung von Intervallen, die zu verwalten seien. Die Intervalle sollen durch Punkte im mehrdimensionalen Raum dargestellt werden. Wenn alle Intervalle durch ihre Anfangs- und Endpunkte repräsentiert würden, kämen sie auf der Datenfläche nur oberhalb der 45-Grad-Geraden zu liegen.

Abbildung 5.15 präsentiert eine wirtschaftlichere Verteilung, indem jede Gerade durch ihren Mittelpunkt und ihre halbe Länge repräsentiert wird.

Typische Queries an die Intervall-Sammlung lauten:

- Gegeben Punkt P , finde alle Intervalle, die ihn enthalten.
- Gegeben Intervall I , finde alle Intervalle, die es schneidet.

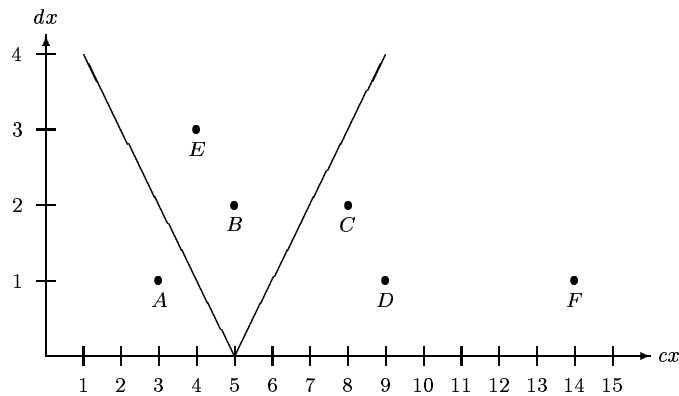


Abbildung 5.16: Abfragekegel zu Punkt $p=5$

Abbildung 5.16 zeigt den kegelförmigen Abfragebereich zum Query-Punkt $p=5$, in dem alle Intervalle (repräsentiert durch Punkte) liegen, die den Punkt p enthalten. Grundlage ist die Überlegung, daß ein Punkt P genau dann im Intervall mit Mitte m und halber Länge d enthalten ist, wenn gilt: $m - d \leq p \leq m + d$

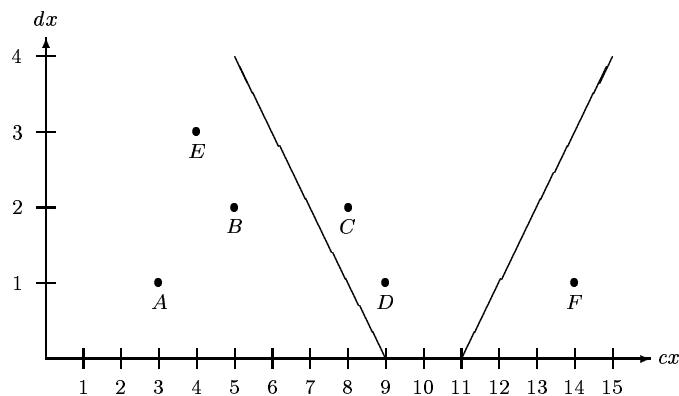


Abbildung 5.17: Abfragekegel zu Intervall mit Mitte $s=10$ und halber Länge $t=1$

Abbildung 5.17 zeigt den kegelförmigen Abfragebereich zu dem Query-Intervall mit Mittelpunkt $s=10$ und halber Länge $t=1$, in dem alle Intervalle (repräsentiert durch Punkte) liegen, die das Query-Intervall schneiden. Grundlage ist die Überlegung, daß ein Intervall mit Mitte s und halber Länge t genau dann ein Intervall mit Mitte m und halber Länge d schneidet, wenn gilt: $m - d \leq s + t$ und $s - t \leq m + d$

Abbildung 5.18 zeigt die Vorgehensweise bei der Bestimmung des nächstgelegenen Nachbarn (englisch: *nearest neighbor*). Suche zunächst auf dem Datenblock, der für den Query-Point Q zuständig

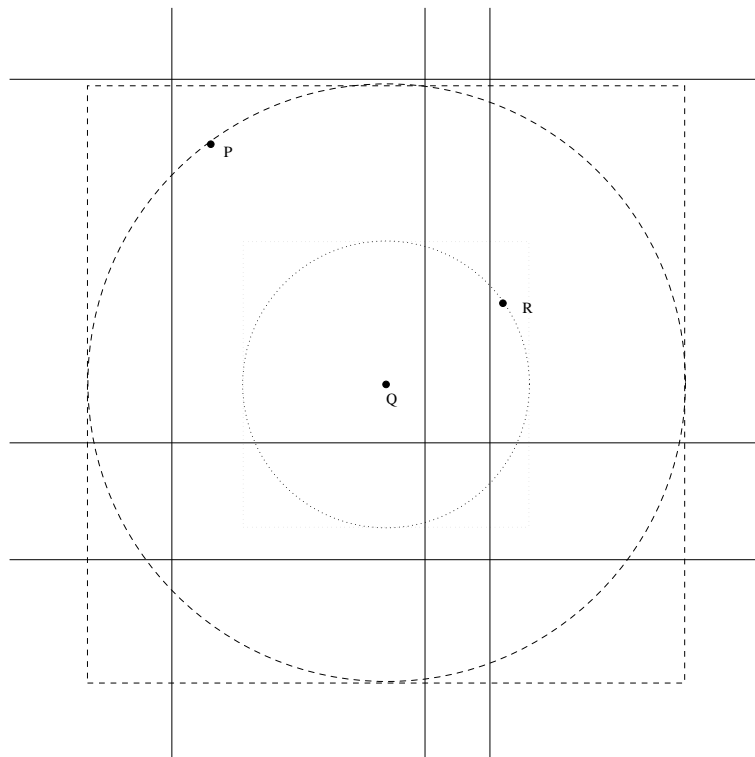


Abbildung 5.18: Nearest-Neighbor-Suche zu Query-Punkt Q

ist, den nächstgelegenen Punkt P . Bilde eine *Range-Query* mit Quadrat um den Kreis um Q mit Radius $|P - Q|$. Schränke Quadratgröße weiter ein, falls nähere Punkte gefunden werden.

Die erwähnten Techniken lassen sich auf höherdimensionierte Geometrie-Objekte wie Rechtecke oder Quader erweitern. Zum Beispiel bietet sich zur Verwaltung von orthogonalen Rechtecken in der Ebene folgende Möglichkeit an: Ein Rechteck wird repräsentiert als ein Punkt im 4-dimensionalen Raum, gebildet durch die beiden 2-dimensionalen Punkte für horizontale bzw. vertikale Lage. Zu einem Query-Rechteck, bestehend aus horizontalem Intervall P und vertikalem Intervall Q , lassen sich die schneidenden Rechtecke finden im Durchschnitt der beiden kegelförmigen Abfragebereiche zu den Intervallen P und Q .

Kapitel 6

Das Relationale Modell

6.1 Definition

Gegeben sind n nicht notwendigerweise unterschiedliche Wertebereiche (auch Domänen genannt) D_1, \dots, D_n , welche nur *atomare* Werte enthalten, die nicht strukturiert sind, z.B. Zahlen oder Strings.

Eine Relation R ist definiert als Teilmenge des kartesischen Produkts der n Domänen:

$$R \subseteq D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$$

Es wird unterschieden zwischen dem *Schema* einer Relation, gegeben durch die n Domänen und der aktuellen *Ausprägung* (Instanz). Ein Element der Menge R wird als Tupel bezeichnet, dessen *Stelligkeit* sich aus dem Relationenschema ergibt. Wir bezeichnen mit $\mathbf{sch}(R)$ oder mit $\mathcal{R} = A_1, \dots, A_n$ die Menge der Attribute und mit R die aktuelle Ausprägung. Mit $\mathbf{dom}(A)$ bezeichnen wird die Domäne eines Attributs A . Also gilt

$$R \subseteq \mathbf{dom}(A_1) \times \mathbf{dom}(A_2) \times \dots \times \mathbf{dom}(A_n)$$

Im Datenbankbereich müssen die Domänen außer einem Typ noch einen Namen haben. Wir werden Relationenschemata daher durch eine Folge von Bezeichner/Wertebereich - Tupeln spezifizieren, z.B.

Telefonbuch : { [Name : string, Adresse: string, TelefonNr : integer] }

Hierbei wird in den eckigen Klammern [...] angegeben, wie die Tupel aufgebaut sind, d.h. welche Attribute vorhanden sind und welchen Wertebereich sie haben. Ein Schlüsselkandidat wird unterstrichen. Die geschweiften Klammern { ... } sollen ausdrücken, daß es sich bei einer Relationenausprägung um eine Menge von Tupeln handelt. Zur Vereinfachung wird der Wertebereich auch manchmal weggelassen:

Telefonbuch : { [Name, Adresse, TelefonNr] }

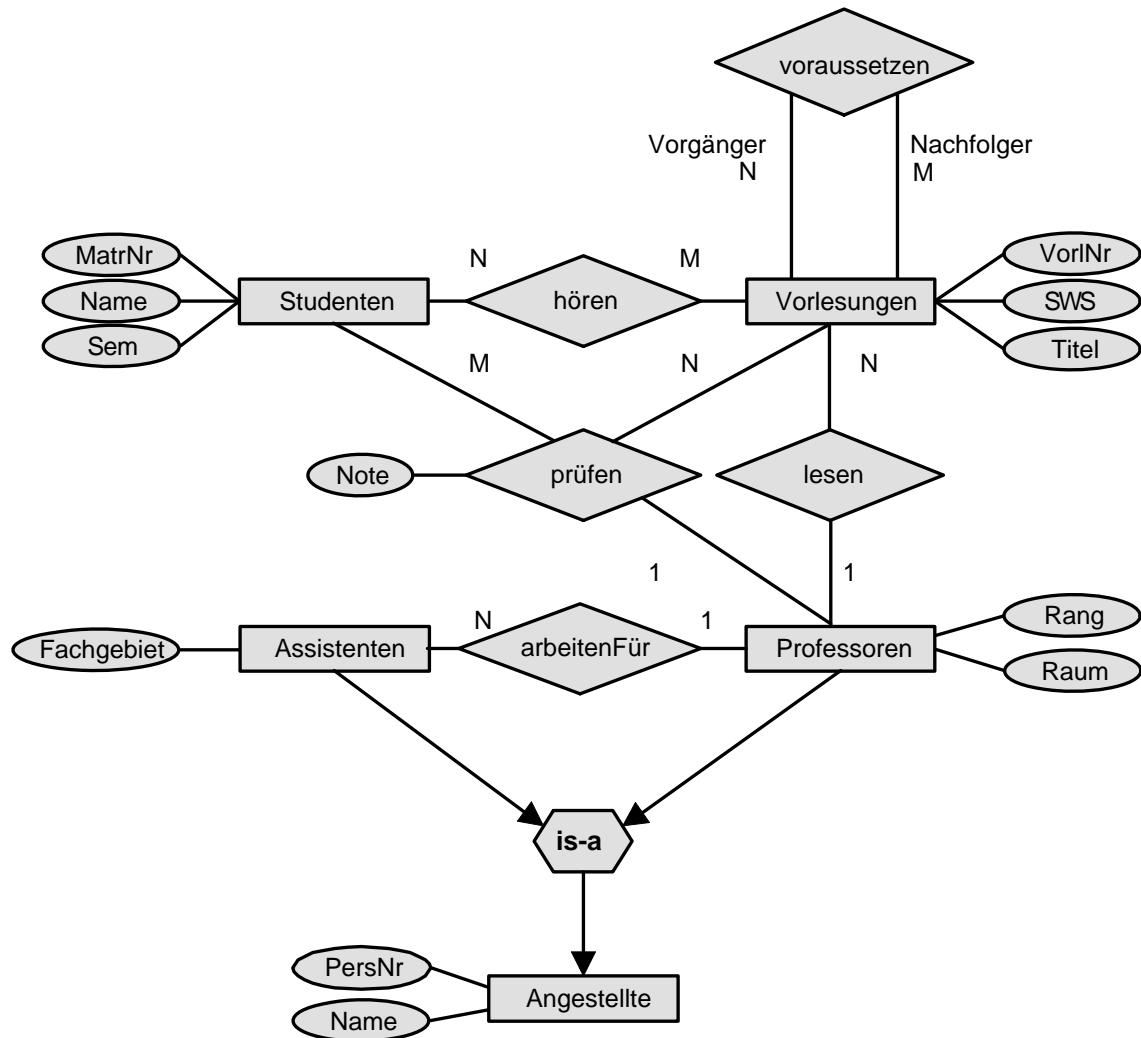


Abbildung 6.1: Konzeptuelles Schema der Universität

6.2 Umsetzung in ein relationales Schema

Das ER-Modell besitzt zwei grundlegende Strukturierungskonzepte:

- Entity-Typen
- Relationship-Typen

Abbildung 6.1 zeigt ein ER-Diagramm zum Universitätsbetrieb. Zunächst wollen wir die Generalisierung ignorieren, da es im relationalen Modell keine unmittelbare Umsetzung gibt. Dann verbleiben vier Entity-Typen, die auf folgende Schemata abgebildet werden:

Studenten : $\{[\underline{\text{MatrNr}} : \text{integer}, \text{Name} : \text{string}, \text{Semester} : \text{integer}] \}$
 Vorlesungen : $\{[\underline{\text{VorlNr}} : \text{integer}, \text{Titel} : \text{string}, \text{SWS} : \text{integer}] \}$
 Professoren : $\{[\underline{\text{PersNr}} : \text{integer}, \text{Name} : \text{string}, \text{Rang} : \text{string}, \text{Raum} : \text{integer}] \}$
 Assistenten : $\{[\underline{\text{PersNr}} : \text{integer}, \text{Name} : \text{string}, \text{Fachgebiet} : \text{string}] \}$

Bei der relationalen Darstellung von Beziehungen richten wir im *Initial*-Entwurf für jeden Beziehungstyp eine eigene Relation ein. Später kann davon ein Teil wieder eliminiert werden. Grundsätzlich entsteht das Relationenschema durch die Folge aller Schlüssel, die an der Beziehung beteiligt sind sowie ggf. weitere Attribute der Beziehung. Dabei kann es notwendig sein, einige der Attribute umzubenennen. Die Schlüsselattribute für die referierten Entity-Typen nennt man *Fremdschlüssel*.

Für das Universitätsschema entstehen aus den Relationships die folgenden Schemata:

hören : $\{[\underline{\text{MatrNr}} : \text{integer}, \underline{\text{VorlNr}} : \text{integer}] \}$
 lesen : $\{[\underline{\text{PersNr}} : \text{integer}, \underline{\text{VorlNr}} : \text{integer}] \}$
 arbeitenFür : $\{[\underline{\text{AssiPersNr}} : \text{integer}, \underline{\text{ProfPersNr}} : \text{integer}] \}$
 voraussetzen : $\{[\underline{\text{Vorgänger}} : \text{integer}, \underline{\text{Nachfolger}} : \text{integer}] \}$
 prüfen : $\{[\underline{\text{MatrNr}} : \text{integer}, \underline{\text{VorlNr}} : \text{integer}, \text{PersNr} : \text{integer}, \text{Note} : \text{decimal}] \}$

Unterstrichen sind jeweils die Schlüssel der Relation, eine *minimale* Menge von Attributen, deren Werte die Tupel eindeutig identifizieren.

Da die Relation *hören* eine $N : M$ -Beziehung darstellt, sind sowohl die Vorlesungsnummern als auch die Matrikelnummern alleine keine Schlüssel, wohl aber ihre Kombination.

Bei der Relation *lesen* liegt eine $1:N$ -Beziehung vor, da jeder Vorlesung genau ein Dozent zugeordnet ist mit der partiellen Funktion

$$\textit{lesen} : \textit{Vorlesungen} \rightarrow \textit{Professoren}$$

Also ist für die Relation *lesen* bereits das Attribut *VorlNr* ein Schlüsselkandidat, für die Relation *arbeitenFür* bildet die *AssiPersNr* einen Schlüssel.

Bei der Relation *prüfen* liegt wiederum eine partielle Abbildung vor:

$$\textit{prüfen} : \textit{Studenten} \times \textit{Vorlesungen} \rightarrow \textit{Professoren}$$

Sie verlangt, daß *MatrNr* und *VorlNr* zusammen den Schlüssel bilden.

6.3 Verfeinerung des relationalen Schemas

Das im Initialentwurf erzeugte relationale Schema läßt sich verfeinern, indem einige der $1 : 1$ -, $1 : N$ - oder $N : 1$ -Beziehungen eliminiert werden. Dabei dürfen nur Relationen mit gleichem Schlüssel zusammengefaßt werden.

Nach dieser Regel können von den drei Relationen

Vorlesungen : $\{[\underline{\text{VorlNr}} : \text{integer}, \text{Titel} : \text{string}, \text{SWS} : \text{integer}] \}$
 Professoren : $\{[\underline{\text{PersNr}} : \text{integer}, \text{Name} : \text{string}, \text{Rang} : \text{string}, \text{Raum} : \text{integer}] \}$
 lesen : $\{[\underline{\text{PersNr}} : \text{integer}, \underline{\text{VorlNr}} : \text{integer}] \}$

die Relationen *Vorlesungen* und *lesen* zusammengefaßt werden. Somit verbleiben im Schema

Vorlesungen : {[VorlNr : integer, Titel : string, SWS : integer, gelesenVon : integer] }
 Professoren : {[PersNr : integer, Name : string, Rang : string, Raum : integer] }

Das Zusammenlegen von Relationen mit unterschiedlichen Schlüsseln erzeugt eine Redundanz von Teilen der gespeicherten Information. Beispielsweise speichert die (unsinnige) Relation

Professoren' : {[PersNr, liestVorl, Name, Rang, Raum] }

zu jeder von einem Professor gehaltenen Vorlesung seinen Namen, seinen Rang und sein Dienstzimmer:

| Professoren' | | | | |
|--------------|-----------|----------|------|------|
| PersNr | liestVorl | Name | Rang | Raum |
| 2125 | 5041 | Sokrates | C4 | 226 |
| 2125 | 5049 | Sokrates | C4 | 226 |
| 2125 | 4052 | Sokrates | C4 | 226 |

Bei 1 : 1-Beziehungen gibt es zwei Möglichkeiten, die ursprünglich entworfene Relation mit den beteiligten Entity-Typen zusammenzufassen.

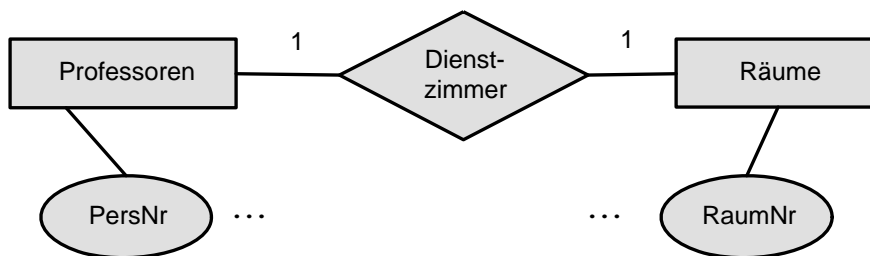


Abbildung 6.2: Beispiel einer 1:1-Beziehung

Abbildung 6.2 zeigt eine mögliche Modellierung für die Unterbringung von Professoren in Räumen als 1 : 1-Beziehung. Die hierzu gehörenden Relationen heißen

Professoren : {[PersNr, Name, Rang] }
 Räume : {[RaumNr, Größe, Lage] }
 Dienstzimmer : {[PersNr, RaumNr] }

Da *Professoren* und *Dienstzimmer* denselben Schlüssel haben, kann zusammengefaßt werden zu

Professoren : {[PersNr, Name, Rang, Raum] }
 Räume : {[RaumNr, Größe, Lage] }

Da das Attribut *RaumNr* innerhalb der Relation *Dienstzimmer* ebenfalls einen Schlüssel bildet, könnten als Alternative auch die Relationen *Dienstzimmer* und *Räume* zusammengefaßt werden:

Professoren : {[PersNr, Name, Rang] }
 Räume : {[RaumNr, Größe, Lage, ProfPersNr] }

Diese Modellierung hat allerdings den Nachteil, daß viele Tupel einen sogenannten Nullwert für das Attribut *ProfPersNr* haben, da nur wenige Räume als Dienstzimmer von Professoren genutzt werden.

Die in Abbildung 6.1 gezeigte Generalisierung von *Assistenten* und *Professoren* zu *Angestellte* könnte wie folgt durch drei Relationen dargestellt werden:

Angestellte : {[PersNr, Name] }
 Professoren : {[PersNr, Rang, Raum] }
 Assistenten : {[PersNr, Fachgebiet] }

Hierdurch wird allerdings die Information zu einem Professor, wie z.B.

[2125, Sokrates, C4, 226]

auf zwei Tupel aufgeteilt:

[2125, Sokrates] und [2125, C4, 226]

Um die vollständige Information zu erhalten, müssen diese beiden Relationen verbunden werden (Join).

Tabelle 6.1 zeigt eine Beispiel-Ausprägung der Universitäts-Datenbasis. Das zugrundeliegende Schema enthält folgende Relationen:

Studenten : {[MatrNr : integer, Name : string, Semester : integer] }
 Vorlesungen : {[VorlNr : integer, Titel : string, SWS : integer, gelesenVon : integer] }
 Professoren : {[PersNr : integer, Name : string, Rang : string, Raum : integer] }
 Assistenten : {[PersNr : integer, Name : string, Fachgebiet : string, Boss : integer] }
 hören : {[MatrNr : integer, VorlNr : integer] }
 voraussetzen : {[Vorgänger : integer, Nachfolger : integer] }
 prüfen : {[MatrNr : integer, VorlNr : integer, PersNr : integer, Note : decimal] }

| Professoren | | | | Studenten | | |
|-------------|------------|------|------|-----------|--------------|----------|
| PersNr | Name | Rang | Raum | MatrNr | Name | Semester |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | 24002 | Xenokrates | 18 |
| 2126 | Russel | C4 | 232 | 25403 | Jonas | 12 |
| 2127 | Kopernikus | C3 | 310 | 26120 | Fichte | 10 |
| 2133 | Popper | C3 | 52 | 26830 | Aristoxenos | 8 |
| 2134 | Augustinus | C3 | 309 | 27550 | Schopenhauer | 6 |
| 2136 | Curie | C4 | 36 | 28106 | Carnap | 3 |
| 2137 | Kant | C4 | 7 | 29120 | Theophrastos | 2 |
| | | | | 29555 | Feuerbach | 2 |

| Vorlesungen | | | | voraussetzen | |
|-------------|----------------------|-----|------------|--------------|------------|
| VorlNr | Titel | SWS | gelesenVon | Vorgänger | Nachfolger |
| 5001 | Grundzüge | 4 | 2137 | 5001 | 5041 |
| 5041 | Ethik | 4 | 2125 | 5001 | 5043 |
| 5043 | Erkenntnistheorie | 3 | 2126 | 5001 | 5049 |
| 5049 | Mäeutik | 2 | 2125 | 5041 | 5216 |
| 4052 | Logik | 4 | 2125 | 5043 | 5052 |
| 5052 | Wissenschaftstheorie | 3 | 2126 | 5041 | 5052 |
| 5216 | Bioethik | 2 | 2126 | 5052 | 5259 |
| 5259 | Der Wiener Kreis | 2 | 2133 | | |
| 5022 | Glaube und Wissen | 2 | 2134 | | |
| 4630 | Die 3 Kritiken | 4 | 2137 | | |

| hören | | Assistenten | | | |
|--------|--------|-------------|--------------|--------------------|------|
| MatrNr | VorlNr | PersNr | Name | Fachgebiet | Boss |
| 26120 | 5001 | 3002 | Platon | Ideenlehre | 2125 |
| 27550 | 5001 | 3003 | Aristoteles | Syllogistik | 2125 |
| 27550 | 4052 | 3004 | Wittgenstein | Sprachtheorie | 2126 |
| 27550 | 5041 | 3005 | Rhetikus | Planetenbewegung | 2127 |
| 28106 | 4052 | 3006 | Newton | Keplersche Gesetze | 2127 |
| 28106 | 5216 | 3007 | Spinoza | Gott und Natur | 2134 |
| 28106 | 5259 | | | | |
| 27550 | 4630 | | | | |
| 29120 | 5041 | | | | |
| 29120 | 5049 | | | | |
| 29555 | 5022 | | | | |
| 25403 | 5022 | | | | |
| 29555 | 5001 | | | | |

| prüfen | | | |
|--------|--------|--------|------|
| MatrNr | VorlNr | PersNr | Note |
| 28106 | 5001 | 2126 | 1 |
| 25403 | 5041 | 2125 | 2 |
| 27550 | 4630 | 2137 | 2 |

Tabelle 6.1: Beispielausprägung der Universitätsdatenbank

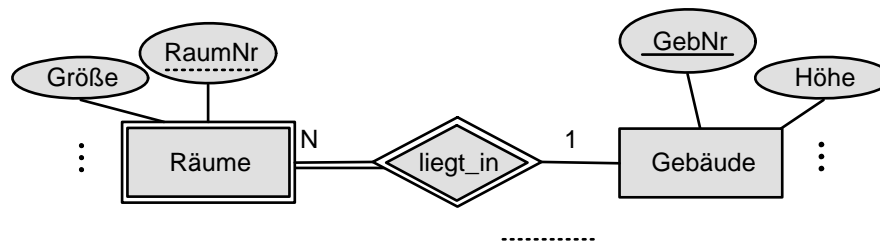


Abbildung 6.3: Schwacher Entity-Typ

Zur Modellierung von schwachen Entity-Typen betrachten wir Abbildung 6.3, in der mittels der Relation *liegt_in* der schwache Entity-Typ *Räume* dem Entity-Typ *Gebäude* untergeordnet wurde.

Wegen der 1 : N-Beziehung zwischen *Gebäude* und *Räume* kann die Beziehung *liegt_in* verlagert werden in die Relation *Räume*:

$$\text{Räume} : \{ [\underline{\text{GebNr}}, \underline{\text{RaumNr}}, \text{Größe}] \}$$

Eine Beziehung *bewohnt* zwischen *Professoren* und *Räume* benötigt als Fremdschlüssel zum einen die Personalnummer des Professors und zum anderen die Kombination von Gebäude-Nummer und Raum-Nummer:

$$\text{bewohnt} : \{ [\underline{\text{PersNr}}, \text{GebNr}, \text{RaumNr}] \}$$

Da *bewohnt* eine 1 : 1-Beziehung darstellt, kann sie durch einen Fremdschlüssel beim Professor realisiert werden. Ist die beim *Gebäude* hinterlegte Information eher gering, käme auch, wie im Universitätsschema in Abbildung 6.1 gezeigt, ein Attribut *Raum* bei den *Professoren* infrage.

6.4 Abfragesprachen

Es gibt verschiedene Konzepte für formale Sprachen zur Formulierung einer Anfrage (Query) an ein relationales Datenbanksystem:

- **Relationenalgebra (prozedural):**
Verknüpft konstruktiv die vorhandenen Relationen durch Operatoren wie \cup, \cap, \dots :
- **Relationenkalkül (deklarativ):**
Beschreibt Eigenschaften des gewünschten Ergebnisses mit Hilfe einer Formel der Prädikatenlogik 1. Stufe unter Verwendung von $\wedge, \vee, \neg, \exists, \forall$.
- **Query by Example (für Analphabeten):**
Verlangt vom Anwender das Ausfüllen eines Gerüsts mit Beispiel-Einträgen.
- **SQL (kommerziell):**
Stellt eine in Umgangssprache gegossene Mischung aus Relationenalgebra und Relationenkalkül dar.

6.5 Relationenalgebra

Die Operanden der Sprache sind Relationen. Als unabhängige Operatoren gibt es *Selektion*, *Projektion*, *Vereinigung*, *Mengendifferenz*, *Kartesisches Produkt*, *Umbenennung*; daraus lassen sich weitere Operatoren *Verbund*, *Durchschnitt*, *Division* ableiten.

Selektion :

Es werden diejenigen Tupel ausgewählt, die das *Selektionsprädikat* erfüllen. Die Selektion wird mit σ bezeichnet und hat das Selektionsprädikat als Subskript.

Die Selektion

$$\sigma_{Semester > 10}(Studenten)$$

liefert als Ergebnis

| $\sigma_{Semester > 10}(Studenten)$ | | |
|-------------------------------------|------------|----------|
| MatrNr | Name | Semester |
| 24002 | Xenokrates | 18 |
| 25403 | Jonas | 12 |

Das Selektionsprädikat wird beschrieben durch eine Formel F mit folgenden Bestandteilen:

- Attributnamen der Argumentrelation R oder Konstanten als Operanden
- arithmetische Vergleichsoperatoren $< = > \leq \neq \geq$
- logische Operatoren: $\wedge \vee \neg$ (und oder nicht)

Projektion :

Bei der Projektion werden Spalten der Argumentrelation extrahiert. Das Operatorsymbol lautet Π , die gewünschten Attribute werden im Subskript aufgelistet:

$$\Pi_{Rang}(Professoren)$$

liefert als Ergebnis

| $\Pi_{Rang}(Professoren)$ |
|---------------------------|
| Rang |
| C4 |
| C3 |

Die Attributmenge wird üblicherweise nicht unter Verwendung von Mengenklammern sondern als durch Kommata getrennte Sequenz gegeben. Achtung: Da das Ergebnis wiederum eine Relation ist, existieren per definitionem keine Duplikate ! In der Praxis müssen sie dennoch algorithmisch entfernt werden.

Vereinigung :

Zwei Relationen mit gleichem Schema können durch die Vereinigung, symbolisiert durch \cup , zusammengefaßt werden. Beispiel:

$$\Pi_{PersNr,Name}(Assistenten) \cup \Pi_{PersNr,Name}(Professoren)$$

Mengendifferenz :

Für zwei Relationen R und S mit gleichem Schema ist die Mengendifferenz $R - S$ definiert als die Menge der Tupel, die in R aber nicht in S vorkommen. Beispiel

$$\Pi_{MatrNr}(Studenten) - \Pi_{MatrNr}(prüfen)$$

liefert die Matrikelnummern derjenigen Studenten, die noch nicht geprüft wurden.

Kartesisches Produkt :

Das kartesische Produkt (Kreuzprodukt) zweier Relationen R und S wird mit $R \times S$ bezeichnet und enthält alle möglichen Paare von Tupeln aus R und S . Das Schema der Ergebnisrelation, also $\text{sch}(R \times S)$, ist die Vereinigung der Attribute aus $\text{sch}(R)$ und $\text{sch}(S)$.

Das Kreuzprodukt von *Professoren* und *hören* hat 6 Attribute und enthält 91 ($= 7 \cdot 13$) Tupel.

| Professoren \times hören | | | | | |
|----------------------------|----------|------|------|--------|--------|
| Professoren | | | | hören | |
| PersNr | name | Rang | Raum | MatrNr | VorlNr |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | 26120 | 5001 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | 29555 | 5001 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2137 | Kant | C4 | 7 | 29555 | 5001 |

Haben beide Argumentrelationen ein gleichnamiges Attribut A , so kann dies durch Voranstellung des Relationennamen R in der Form $R.A$ identifiziert werden.

Umbenennung von Relationen und Attributen :

Zum Umbenennen von Relationen und Attributen wird der Operator ρ verwendet, wobei im Subskript entweder der neue Relationenname steht oder die Kombination von neuen und altem Attributnamen durch einen Linkspfeil getrennt. Beispiele:

$$\rho_{Dozenten}(Professoren)$$

$$\rho_{Zimmer \leftarrow \text{Raum}}(Professoren)$$

Eine Umbenennung kann dann erforderlich werden, wenn durch das kartesische Produkt Relationen mit identischen Attributnamen kombiniert werden sollen. Als Beispiel betrachten wir das Problem, die Vorgänger der Vorgänger der Vorlesung mit der Nummer 5216 herausfinden. Hierzu ist nach Umbenennung ein kartesisches Produkt der Tabelle mit sich selbst erforderlich:

$$\Pi_{V1.Vorgänger}(\sigma_{V2.Nachfolger=5216 \wedge V1.Nachfolger=V2.Vorgänger})$$

$$(\rho_{V1}(\text{voraussetzen}) \times \rho_{V2}(\text{voraussetzen}))$$

Die konstruierte Tabelle hat vier Spalten und enthält das Lösungstupel mit dem Wert 5001 als Vorgänger von 5041, welches wiederum der Vorgänger von 5216 ist:

| V1 | | V2 | |
|-----------|------------|-----------|------------|
| Vorgänger | Nachfolger | Vorgänger | Nachfolger |
| 5001 | 5041 | 5001 | 5041 |
| ... | ... | ... | ... |
| 5001 | 5041 | 5041 | 5216 |
| ... | ... | ... | ... |
| 5052 | 5259 | 5052 | 5259 |

Natürlicher Verbund (Join) :

Der sogenannte *natürliche Verbund* zweier Relationen R und S wird mit $R \bowtie S$ gebildet. Wenn R insgesamt $m + k$ Attribute $A_1, \dots, A_m, B_1, \dots, B_k$ und S insgesamt $n + k$ Attribute $B_1, \dots, B_k, C_1, \dots, C_n$ hat, dann hat $R \bowtie S$ die Stelligkeit $m + k + n$. Hierbei wird vorausgesetzt, daß die Attribute A_i und C_j jeweils paarweise verschieden sind. Das Ergebnis von $R \bowtie S$ ist definiert als

$$R \bowtie S := \Pi_{A_1, \dots, A_m, R.B_1, \dots, R.B_k, C_1, \dots, C_n} (\sigma_{R.B_1=S.B_1 \wedge \dots \wedge R.B_k=S.B_k} (R \times S))$$

Es wird also das kartesische Produkt gebildet, aus dem nur diejenigen Tupel selektiert werden, deren Attributwerte für gleichbenannte Attribute der beiden Argumentrelationen gleich sind. Diese gleichbenannten Attribute werden in das Ergebnis nur einmal übernommen.

Die Verknüpfung der *Studenten* mit ihren *Vorlesungen* geschieht durch

$$(\text{Studenten} \bowtie \text{hören}) \bowtie \text{Vorlesungen}$$

Das Ergebnis ist eine 7-stellige Relation:

| <i>(Studenten</i> \bowtie <i>hören</i>) \bowtie <i>Vorlesungen</i> | | | | | | |
|---|--------|----------|--------|----------------------|-----|------------|
| MatrNr | Name | Semester | VorlNr | Titel | SWS | gelesenVon |
| 26120 | Fichte | 10 | 5001 | Grundzüge | 4 | 2137 |
| 25403 | Jonas | 12 | 5022 | Glaube und Wissen | 2 | 2137 |
| 28106 | Carnap | 3 | 4052 | Wissenschaftstheorie | 3 | 2126 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Da der Join-Operator assoziativ ist, können wir auch auf die Klammerung verzichten und einfach schreiben

$$\text{Studenten} \bowtie \text{hören} \bowtie \text{Vorlesungen}$$

Wenn zwei Relationen verbunden werden sollen bzgl. zweier Attribute, die zwar die gleiche Bedeutung aber unterschiedliche Benennungen haben, so müssen diese vor dem Join mit dem ρ -Operator umbenannt werden. Zum Beispiel liefert

$$\text{Vorlesungen} \bowtie \rho_{\text{gelesenVon} \leftarrow \text{PersNr}}(\text{Professoren})$$

die Relation $\{[\text{VorlNr}, \text{Titel}, \text{SWS}, \text{gelesenVon}, \text{Name}, \text{Rang}, \text{Raum}]\}$

Allgemeiner Join :

Beim natürlichen Verbund müssen die Werte der gleichbenannten Attribute übereinstimmen. Der allgemeine Join-Operator, auch *Theta-Join* genannt, erlaubt die Spezifikation eines beliebigen Join-Prädikats θ . Ein Theta-Join $R \bowtie_{\theta} S$ über der Relation R mit den Attributen A_1, A_2, \dots, A_n und der Relation S mit den Attributen B_1, B_2, \dots, B_n verlangt die Einhaltung des Prädikats θ , beispielsweise in der Form

$$R \bowtie_{A_1 < B_1 \wedge A_2 = B_2 \wedge A_3 < B_5} S$$

Das Ergebnis ist eine $n + m$ -stellige Relation und läßt sich auch als Kombination von Kreuzprodukt und Selektion schreiben:

$$R \bowtie_{\theta} S := \sigma_{\theta}(R \times S)$$

Wenn in der Universitätsdatenbank die *Professoren* und die *Assistenten* um das Attribut *Gehalt* erweitert würden, so könnten wir diejenigen Professoren ermitteln, deren zugeordnete Assistenten mehr als sie selbst verdienen:

$$\text{Professoren} \bowtie_{\text{Professoren.Gehalt} < \text{Assistenten.Gehalt} \wedge \text{Boss} = \text{Professoren.PersNr}} \text{Assistenten}$$

Die bisher genannten Join-Operatoren werden auch innere Joins genannt (*inner join*). Bei ihnen gehen diejenigen Tupel der Argumentrelationen verloren, die keinen Join-Partner gefunden haben. Bei den äußeren Join-Operatoren (*outer joins*) werden - je nach Typ des Joins - auch partnerlose Tupel gerettet:

- left outer join: Die Tupel der linken Argumentrelation bleiben erhalten
- right outer join: Die Tupel der rechten Argumentrelation bleiben erhalten
- full outer join: Die Tupel beider Argumentrelationen bleiben erhalten

Somit lassen sich zu zwei Relationen L und R insgesamt vier verschiedene Joins konstruieren:

| L | | |
|-------|-------|-------|
| A | B | C |
| a_1 | b_1 | c_1 |
| a_2 | b_2 | c_2 |

| R | | |
|-------|-------|-------|
| C | D | E |
| c_1 | d_1 | e_1 |
| c_3 | d_2 | e_2 |

| inner Join | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| A | B | C | D | E |
| a_1 | b_1 | c_1 | d_1 | e_1 |

| left outer join | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| A | B | C | D | E |
| a_1 | b_1 | c_1 | d_1 | e_1 |
| a_2 | b_2 | c_2 | - | - |

| right outer Join | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| A | B | C | D | E |
| a_1 | b_1 | c_1 | d_1 | e_1 |
| - | - | c_3 | d_2 | e_2 |

| outer Join | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| A | B | C | D | E |
| a_1 | b_1 | c_1 | d_1 | e_1 |
| a_2 | b_2 | c_2 | - | - |
| - | - | c_3 | d_2 | e_2 |

Mengendurchschnitt :

Der Mengendurchschnitt (Operatorsymbol \cap) ist anwendbar auf zwei Argumentrelationen mit gleichem Schema. Im Ergebnis liegen alle Tupel, die in beiden Argumentrelationen liegen. Beispiel:

$$\Pi_{PersNr}(\rho_{PersNr \leftarrow gelesenVon}(Vorlesungen)) \cap \Pi_{PersNr}(\sigma_{Rang=C4}(Professoren))$$

liefert die Personalnummer aller C4-Professoren, die mindestens eine Vorlesung halten.

Der Mengendurchschnitt läßt sich mithilfe der Mengendifferenz bilden:

$$R \cap S = R \setminus (R \setminus S)$$

Division :

Sei R eine r -stellige Relation, sei S eine s -stellige Relation, deren Attributmenge in R enthalten ist.

Mit der Division

$$Q := R \div S := \{t = t_1, t_2, \dots, t_{r-s} \mid \forall u \in S : tu \in R\}$$

sind alle die Anfangsstücke von R gemeint, zu denen sämtliche Verlängerungen mit Tupeln aus S in der Relation R liegen. Beispiel:

| | | | |
|-------|-------|--|--|
| R | | | |
| M | V | | |
| m_1 | v_1 | | |
| m_1 | v_2 | | |
| m_1 | v_3 | | |
| m_2 | v_2 | | |
| m_2 | v_3 | | |

\div

| | |
|-------|--|
| S | |
| V | |
| v_1 | |
| v_2 | |

$=$

| |
|------------|
| $R \div S$ |
| M |
| m_1 |

Die Division von R durch S läßt sich schrittweise mithilfe der unabhängigen Operatoren nachvollziehen (zur Vereinfachung werden hier die Attribute statt über ihre Namen über ihren Index projiziert):

| | |
|--|---|
| $T := \pi_{1, \dots, r-s}(R)$ | alle Anfangsstücke |
| $T \times S$ | diese kombiniert mit allen Verlängerungen aus S |
| $(T \times S) \setminus R$ | davon nur solche, die nicht in R sind |
| $V := \pi_{1, \dots, r-s}((T \times S) \setminus R)$ | davon die Anfangsstücke |
| $T \setminus V$ | davon das Komplement |

Query: Namen der Studenten, die jeweils alle 4-stündigen Vorlesungen hören:

$$\Pi_{Name}(Studenten \bowtie (hoeren \div \Pi_{VorlNr}(\rho_{SW=4}(Vorlesungen)))$$

6.6 Relationenkalkül

Ausdrücke in der Relationenalgebra spezifizieren konstruktiv, wie das Ergebnis der Anfrage zu berechnen ist. Demgegenüber ist der *Relationenkalkül* stärker *deklarativ* orientiert. Er beruht auf dem mathematischen Prädikatenkalkül erster Stufe, der quantifizierte Variablen zuläßt. Es gibt zwei unterschiedliche, aber gleichmächtige Ausprägungen des Relationenkalküls:

- Der relationale Tupelkalkül
- Der relationale Domänenkalkül

6.7 Der relationale Tupelkalkül

Im *relationalen Tupelkalkül* hat eine Anfrage die generische Form

$$\{t \mid P(t)\}$$

wobei t eine sogenannte Tupelvariable ist und P ist ein Prädikat, das erfüllt sein muß, damit t in das Ergebnis aufgenommen werden kann. Das Prädikat P wird formuliert unter Verwendung von $\forall, \wedge, \neg, \exists, \Rightarrow$.

Query: Alle C4-Professoren:

$$\{p \mid p \in Professoren \wedge p.Rang = 'C4'\}$$

Query: Alle Professorennamen zusammen mit den Personalnummern ihrer Assistenten:

$$\{[p.Name, a.PersNr] \mid p \in Professoren \wedge a \in Assistenten \wedge p.PersNr = a.Boss\}$$

Query: Alle diejenigen Studenten, die sämtliche vierstündigen Vorlesungen gehört haben:

$$\{s \mid s \in Studenten \wedge \forall v \in Vorlesungen$$

$$(v.SWS = 4 \Rightarrow \exists h \in hören(h.VorlNr = v.VorlNr \wedge h.MatrNr = s.MatrNr))\}$$

Für die Äquivalenz des Tupelkalküls mit der Relationenalgebra ist es wichtig, sich auf sogenannte *sichere* Ausdrücke zu beschränken, d.h. Ausdrücke, deren Ergebnis wiederum eine Teilmenge der Domäne ist. Zum Beispiel ist der Ausdruck

$$\{n \mid \neg(n \in Professoren)\}$$

nicht sicher, da er unendlich viele Tupel enthält, die nicht in der Relation *Professoren* enthalten sind.

6.8 Der relationale Domänenkalkül

Im *relationalen Domänenkalkül* werden Variable nicht an Tupel, sondern an Domänen, d.h. Wertemengen von Attributen, gebunden. Eine Anfrage hat folgende generische Struktur:

$$\{[v_1, v_2, \dots, v_n] \mid P(v_1, v_2, \dots, v_n)\}$$

Hierbei sind die v_i Domänenvariablen, die einen Attributwert repräsentieren. P ist eine Formel der Prädikatenlogik 1. Stufe mit den freien Variablen v_1, v_2, \dots, v_n .

Join-Bedingungen können implizit durch die Verwendung derselben Domänenvariable spezifiziert werden. Beispiel:

Query: Alle Professorennamen zusammen mit den Personalnummern ihrer Assistenten:

$$\{[n, a] \mid \exists p, r, t([p, n, r, t] \in Professoren) \wedge \exists v, w([a, v, w, p] \in Assistenten))\}$$

Wegen des Existenz- und Allquantors ist die Definition des *sicheren Ausdrucks* etwas aufwendiger als beim Tupelkalkül. Da sich diese Quantoren beim Tupelkalkül immer auf Tupel einer vorhandenen Relation bezogen, war automatisch sichergestellt, daß das Ergebnis eine endliche Menge war.

6.9 Query by Example

Query-by-Example (QBE) beruht auf dem relationalen Domänenkalkül und erwartet vom Benutzer das beispielhafte Ausfüllen eines Tabellenskeletts.

Liste alle Vorlesungen mit mehr als 3 SWS:

| Vorlesungen | VorlNr | Titel | SWS | gelesenVon |
|-------------|--------|------------|-----|------------|
| | | <u>p.t</u> | > 3 | |

Die Spalten eines Formulars enthalten Variablen, Konstanten, Bedingungen und Kommandos. Variablen beginnen mit einem Unterstrich (_), Konstanten haben keinen Präfix. Der Druckbefehl **p.t** veranlaßt die Ausgabe von t.

Im Domänenkalkül lautet diese Anfrage

$$\{[t] \mid \exists v, s, r([v, t, s, r] \in Vorlesungen \wedge s > 3)\}$$

Ein Join wird durch die Bindung einer Variablen an mehrere Spalten möglich:

Liste alle Professoren, die Logik lesen:

| Vorlesungen | VorlNr | Titel | SWS | gelesenVon |
|-------------|--------|-------|-----|------------|
| | | Logik | | <u>_x</u> |

| Professoren | PersNr | Name | Rang | Raum |
|-------------|-----------|------------|------|------|
| | <u>_x</u> | <u>p.n</u> | | |

Über eine *condition box* wird das Einhalten von Bedingungen erzwungen:

Liste alle Studenten, die in einem höheren Semester sind als Feuerbach:

| Studenten | MatrNr | Name | Semester |
|-----------|--------|-------------------|----------|
| | | p..s Feuerbach | _a _b |

| |
|------------|
| conditions |
| _a > _b |

Das Kommando zur Gruppierung lautet **g.**, hierdurch werden alle Tupel einer Relation zusammengefaßt (gruppiert), die bezüglich eines Attributes gleiche Werte haben. Innerhalb einer Gruppe kann dann über Aggregatfunktionen summiert, minimiert, maximiert, der Durchschnitt gebildet oder einfach nur gezählt werden. Die Schlüsselworte dafür heißen **sum.**, **avg.**, **min.**, **max.** und **cnt.**. Standardmäßig werden innerhalb einer Gruppe die Duplikate eliminiert. Die Duplikateliminierung wird durch **all.** unterdrückt:

Liste die Summe der SWS der Professoren, die überwiegend lange Vorlesungen halten:

| Vorlesungen | VorlNr | Titel | SWS | gelesenVon |
|-------------|--------|-------|--------------|------------|
| | | | p.sum.all..x | p.g. |

| |
|--------------|
| conditions |
| avg.all..x>2 |

Einfügen, Ändern und Löschen geschieht mit den Kommandos **i.**, **u.**, **d.**

Füge neuen Studenten ein:

| Studenten | MatrNr | Name | Semester |
|-----------|--------|--------|----------|
| i. | 4711 | Wacker | 5 |

Setze die Semesterzahlen von Feuerbach auf 3:

| Studenten | MatrNr | Name | Semester |
|-----------|--------|-----------|------------|
| u. | | Feuerbach | u.3 |

Entferne Sokrates und alle seine Vorlesungen:

| Professoren | PersNr | Name | Rang | Raum |
|-------------|--------|----------|------|------|
| d. | _x | Sokrates | | |

| Vorlesungen | VorlNr | Titel | SWS | gelesenVon |
|-------------|--------|-------|-----|------------|
| d. | _y | | | _x |

| hören | VorlNr | MatrNr |
|-----------|--------|--------|
| d. | _y | |

6.10 SQL

SQL wird ausführlich behandelt in Kapitel 7. Hier sei nur vorab auf die offensichtliche Verwandtschaft mit der Relationenalgebra und dem Relationenkalkül hingewiesen:

Query: Die Namen der Studenten, die 4-stündige Vorlesungen hören:

```
select s.name
from studenten s, hoeren h, vorlesungen v
where s.matrnr = h.matrnr
and h.vorlnr = v.vorlnr
and v.sws = 4
```

Query: Die Namen der Studenten, die jeweils alle 4-stündigen Vorlesungen hören:

Wir erinnern uns an die entsprechende Formulierung im relationalen Tupelkalkül:

$$\{s.name \mid s \in \text{Studenten} \wedge \forall v \in \text{Vorlesungen} \\ (v.SWS = 4 \Rightarrow \exists h \in \text{hören}(h.VorlNr = v.VorlNr \wedge h.MatrNr = s.MatrNr))\}$$

SQL kennt keinen All-Quantor (wohl aber einen Existenz-Quantor) und auch keinen Implikationsoperator. Wir nutzen daher folgende Äquivalenzen:

$$\begin{aligned} \forall t \in R(P(t)) & \text{ ist äquivalent zu } \neg(\exists t \in R(\neg(t))) \\ A \Rightarrow B & \text{ ist äquivalent zu } \neg A \vee B \\ \neg(A \vee B) & \text{ ist äquivalent zu } \neg A \wedge \neg B \end{aligned}$$

Daher lässt sich der obige Ausdruck umformen in

$$\{s.name \mid s \in \text{Studenten} \wedge \neg(\exists v \in \text{Vorlesungen} \\ (v.SWS = 4 \wedge \neg \exists h \in \text{hören}(h.VorlNr = v.VorlNr \wedge h.MatrNr = s.MatrNr)))\}$$

Daraus entsteht unmittelbar die SQL-Query

```
select s.name from Studenten s
where not exists
  (select * from vorlesungen v
   where sws=4 and not exists
     (select * from hoeren h
      where h.vorlnr = v.vorlnr
        and h.matrnr = s.matrnr))
```


Kapitel 7

SQL

7.1 SQL-Server

Stellvertretend für die zahlreichen am Markt befindlichen relationalen Datenbanksysteme wird in diesem Kapitel das System *MySQL 5.1* verwendet. MySQL ist Open Source und für viele Plattformen erhältlich, darunter Linux, Microsoft Windows und Mac OS X.

MySQL hatte lange Zeit nicht den gleichen Funktionsumfang wie kommerzielle Datenbanksysteme (Oracle, IBM DB2, MS SQL-Server). Mit Erscheinen der Version 5.0 konnte der MySQL-Server aber stark aufholen und beherrscht nun unter anderem Views, Trigger und Stored Procedures.

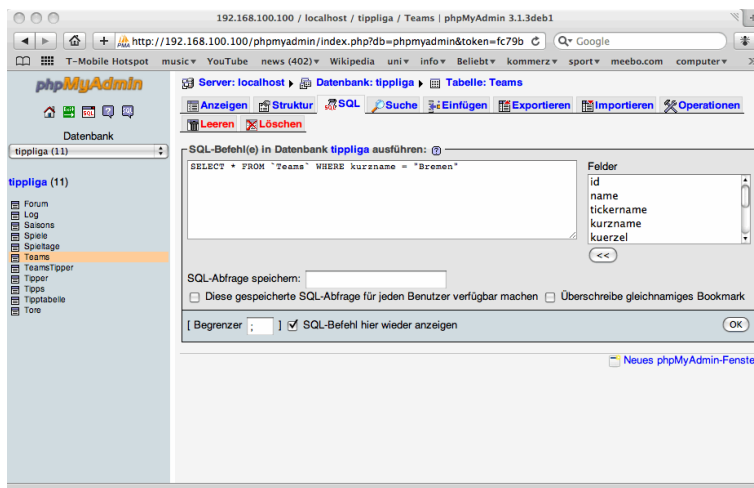


Abbildung 7.1: phpMyAdmin

Zur Verwaltung von Datenbanken dienen die mitgelieferten Kommandozeilen-Clients *mysql* und *mysqladmin*. Eine Alternative zur Kommandozeile stellt die Open Source Anwendung *phpMyAdmin* dar, die eine grafische Benutzeroberfläche zur Verfügung stellt. phpMyAdmin ist in PHP geschrieben und läuft im Webbrowser. Es ist dadurch plattform-unabhängig und in der Lage, auch Datenbanken zu administrieren, die auf anderen Rechnern laufen.

Für die Administration einer Datenbank mit Hilfe von phpMyAdmin sind keine Kenntnisse in SQL notwendig. phpMyAdmin bietet allerdings auch eine Schnittstelle, um eigene SQL-Anfragen zu stellen.

7.2 Sprachphilosophie

Die Relationale Algebra und der Relationenkalkül bilden die Grundlage für die Anfragesprache SQL. Zusätzlich zur Manipulation von Tabellen sind Möglichkeiten zur Definition des relationalen Schemas, zur Formulierung von Integritätsbedingungen, zur Vergabe von Zugriffsrechten und zur Transaktionskontrolle vorgesehen.

Relationale Datenbanksysteme realisieren keine Relationen im mathematischen Sinne, sondern Tabellen, die durchaus doppelte Einträge enthalten können. Bei Bedarf müssen die Duplikate explizit entfernt werden.

SQL geht zurück auf den von IBM Anfang der 70er Jahre entwickelten Prototyp *System R* mit der Anfragesprache *Sequel*. Der zur Zeit aktuelle Standard lautet SQL-92, auch SQL 2 genannt. Er wird weitgehend vom relationalen Datenbanksystem *SQL-Server* unterstützt.

7.3 Datentypen

Der MySQL-Server verwendet unter anderem folgende Datentypen:

| Typ | Bytes | Wertebereich |
|--|-------|---|
| <code>bigint</code> | 8 | ganze Zahlen von -2^{63} bis $+2^{63}$ |
| <code>int</code> | 4 | ganze Zahlen von -2^{31} bis $+2^{31}$ |
| <code>mediumint</code> | 3 | ganze Zahlen von -2^{23} bis $+2^{23}$ |
| <code>smallint</code> | 2 | ganze Zahlen von -2^{15} bis $+2^{15}$ |
| <code>tinyint</code> | 1 | ganze Zahlen von -128 bis 127 |
| <code>bool</code> , <code>boolean</code> | 1 | alias für <code>tinyint(1)</code> |
| <code>decimal(n,m)</code> | n | numerische Daten mit fester Genauigkeit von -10^{38} bis $+10^{38}$ |
| <code>numeric(n,m)</code> | n | entspricht <code>decimal</code> |
| <code>float</code> | 4 | Gleitkommazahlen von -10^{38} bis $+10^{38}$ |
| <code>double</code> | 8 | Gleitkommazahlen von -10^{308} bis $+10^{308}$ |
| <code>date</code> | 3 | Datumsangaben von 01.01.1000 bis 31.12.9999 |
| <code>datetime</code> | 8 | Zeitangaben von 01.01.1000 00:00:00 Uhr bis 31.12.9999 23:59:59 Uhr |
| <code>timestamp</code> | 4 | Zeitangaben von 01.01.1970 bis 2037 |
| <code>char(n)</code> | n | String fester Länge mit maximal 255 Zeichen |
| <code>varchar(n)</code> | | String variabler Länge mit maximal 255 Zeichen |
| <code>text</code> | | String variabler Länge mit maximal 2^{16} Zeichen |
| <code>binary</code> | | Binärdaten fester Länge mit maximal 255 Bytes |
| <code>varbinary</code> | | Binärdaten variabler Länge mit maximal 255 Bytes |

`NULL` bezeichnet nicht besetzte Attributwerte

`default` bezeichnet vorbesetzte Attributwerte.

`numeric(n,m)`-Werte werden mit n Dezimalstellen angezeigt, davon m Nachkommastellen.

`bigint`, `int`, `mediumint`, `smallint` und `tinyint` sind standardmäßig vorzeichenbehaftet. Durch den Zusatz `unsigned` wird bei ihnen der Wertebereich in die positiven Zahlen verschoben und beginnt bei 0. Durch Angabe eines Parameters kann außerdem die Anzeigebreite angegeben werden, die übrigens Bits werden mit Nullen aufgefüllt. `tinyint(1)` speichert ein Bit.

`bigint`, `int`, `mediumint`, `smallint` und `tinyint` können mit dem Zusatz `auto_increment` versehen werden. Dadurch werden sie automatisch mit einem eindeutigen Wert initialisiert. Startwert und Schrittweite beträgt jeweils 1.

Spalten vom Typ `timestamp` wird automatisch für die betreffende Zeile bei einer `INSERT`- oder `UPDATE`-Operation der aktuelle Zeitstempel zugewiesen.

Spalten vom Typ `binary` speichern umfangreiche Binärdaten innerhalb eines Zeilentupels und erfordern zusätzliche Zugriffstechniken, um die Daten einzufügen oder auszulesen.

7.4 SQL-Statements zur Schemadefinition

SQL-Statements zum Anlegen, Erweitern, Verkürzen und Entfernen einer Tabelle:

1. Tabelle anlegen:

2. Tabelle um eine Spalte erweitern:

```
alter table Person
add Vorname varchar(15)
```

3. Tabellenspalte ändern:

```
alter table Person
modify Vorname varchar(20)
```

4. Tabelle um eine Spalte verkürzen:

```
alter table Person
drop column Vorname
```

5. Tabelle entfernen:

```
drop table Person
```

7.5 Aufbau einer SQL-Query zum Anfragen

Eine SQL-Query zum Abfragen von Relationen hat den folgenden generischen Aufbau:

```

SELECT    Spalten-1
FROM      Tabellen
WHERE     Bedingung-1
GROUP BY  Spalten-2
HAVING    Bedingung-2
ORDER BY  Spalten-3

```

Nur die Klauseln SELECT und FROM sind erforderlich, der Rest ist optional.

Es bedeuten ...

| | |
|-------------|---|
| Spalten-1 | Bezeichnungen der Spalten, die ausgegeben werden |
| Tabellen | Bezeichnungen der verwendeten Tabellen |
| Bedingung-1 | Auswahlbedingung für die auszugebenden Zeilen; verwendet werden AND OR NOT = > < != <= >= IS NULL BETWEEN IN LIKE |
| Spalten-2 | Bezeichnungen der Spalten, die eine Gruppe definieren. Eine Gruppe bzgl. Spalte x sind diejenigen Zeilen, die bzgl. x identische Werte haben. |
| Bedingung-2 | Bedingung zur Auswahl einer Gruppe |
| Spalten-3 | Ordnungsreihenfolge für <Spalten-1> |

Vor <Spalten-1> kann das Schlüsselwort DISTINCT stehen, welches identische Ausgabzeilen unterdrückt.

Sogenannte *Aggregate Functions* fassen die Werte einer Spalte oder Gruppe zusammen.

Es liefert ...

| | |
|-----------------------|--|
| COUNT (*) | Anzahl der Zeilen |
| COUNT (DISTINCT x) | Anzahl der verschiedenen Werte in Spalte x |
| SUM (x) | Summe der Werte in Spalte x |
| SUM (DISTINCT x) | Summe der verschiedenen Werte in Spalte x |
| AVG (x) | Durchschnitt der Werte in Spalte x |
| AVG (DISTINCT x) | Durchschnitt der verschiedenen Werte in Spalte x |
| MAX (x) | Maximum der Werte in Spalte x |
| MIN (x) | Minimum der Werte in Spalte x |

jeweils bezogen auf solche Zeilen, welche die WHERE-Bedingung erfüllen. Null-Einträge werden bei AVG, MIN, MAX und SUM ignoriert.

Spalten der Ergebnisrelation können umbenannt werden mit Hilfe der AS-Klausel.

7.6 SQL-Queries zum Anfragen

Folgende Beispiele beziehen sich auf die Universitätsdatenbank, wobei die Relationen *Professoren*, *Assistenten* und *Studenten* jeweils um ein Attribut *GebDatum* vom Typ *Datetime* erweitert worden sind.

1. Liste alle Studenten:

```
select * from Studenten
```

2. Liste Personalnummer und Name der C4-Professoren:

```
select PersNr, Name
from Professoren
where Rang='C4'
```

3. Zähle alle Studenten:

```
select count(*)
from Studenten
```

4. Liste Namen und Studiendauer in Jahren von allen Studenten,

```
select Name, Semester/2 as Studienjahr
from Studenten
where Semester is not null
```

5. Liste alle Studenten mit Semesterzahlen zwischen 1 und 4:

```
select *
from Studenten
where Semester >= 1 and Semester <= 4
```

alternativ

```
select *
from Studenten
where Semester between 1 and 4
```

alternativ

```
select *
from Studenten
where Semester in (1,2,3,4)
```

6. Liste alle Vorlesungen, die im Titel den String *Ethik* enthalten, klein oder groß geschrieben:

```
select *
from Vorlesungen
where Titel like '%ETHIK'
```

7. Liste Personalnummer, Name und Rang aller Professoren, absteigend sortiert nach Rang, innerhalb des Rangs aufsteigend sortiert nach Name:

```
select  PersNr, Name, Rang
from    Professoren
order  by Rang desc, Name asc
```

8. Liste alle verschiedenen Einträge in der Spalte Rang der Relation Professoren:

```
select distinct Rang
from    Professoren
```

9. Liste alle Geburtstage mit ausgeschriebenem Monatsnamen:

```
select  Name,
        Day(Gebdatum)      as Tag,
        Monthname(GebDatum) as Monat,
        Year(GebDatum)     as Jahr
from    Studenten
```

10. Liste das Alter der Studenten in Jahren:

```
select Name, Year(Now()) - Year(GebDatum) as Jahre
from    Studenten
```

11. Liste die Wochentage der Geburtsdaten der Studenten:

```
select Name, Dayname(GebDatum) as Wochentag
from    Studenten
```

12. Liste die Kalenderwochen der Geburtsdaten der Studenten:

```
select Name, Week(GebDatum) as Kalenderwoche
from    Studenten
```

13. Liste den Dozenten der Vorlesung Logik:

```
select Name, Titel
from    Professoren, Vorlesungen
where  PersNr = gelesenVon and Titel = 'Logik'
```

14. Liste die Namen der Studenten mit ihren Vorlesungstiteln:

```
select Name, Titel
from    Studenten, hoeren, Vorlesungen
where  Studenten.MatrNr = hoeren.MatrNr
and    hoeren.VorlNr = Vorlesungen.VorlNr
```

alternativ:

```
select s.Name, v.Titel
from    Studenten s, hoeren h, Vorlesungen v
where  s.MatrNr = h.MatrNr
and    h.VorlNr = v.VorlNr
```

15. Liste die Namen der Assistenten, die für denselben Professor arbeiten, für den Aristoteles arbeitet:

```
select a2.Name
from Assistenten a1, Assistenten a2
where a2.boss = a1.boss
and a1.name = 'Aristoteles'
and a2.name != 'Aristoteles'
```

16. Liste die durchschnittliche Semesterzahl:

```
select avg(Semester)
from Studenten
```

17. Liste Geburtstage der Gehaltsklassenältesten (ohne Namen!):

```
select Rang, min(GebDatum) as Aeltester
from Professoren
group by Rang
```

18. Liste Summe der SWS pro Professor:

```
select gelesenVon as PersNr, sum(SWS) as Lehrbelastung
from Vorlesungen
group by gelesenVon
```

19. Liste Summe der SWS pro Professor, sofern seine Durchschnitts-SWS größer als 3 ist:

```
select gelesenVon as PersNr, sum(SWS) as Lehrbelastung
from Vorlesungen
group by gelesenVon
having avg(SWS) > 3
```

alternativ unter Verwendung von Gleichkommadurchschnitt:

20. Liste Summe der SWS pro C4-Professor, sofern seine Durchschnitts-SWS größer als 3 ist:

```
select Name, sum(SWS)
from Vorlesungen, Professoren
where gelesenVon = PersNr and Rang='C4'
group by gelesenVon, Name
having avg(SWS) > 3.0
```

21. Liste alle Prüfungen, die als Ergebnis die schlechteste Note haben:

```
select *
from pruefen
where Note = (select max(Note) from pruefen)
```

22. Liste alle Professoren zusammen mit ihrer Lehrbelastung:

```
select PersNr, Name, (select sum(SWS)
                    from Vorlesungen
                    where gelesenVon = PersNr) as Lehrbelastung
from Professoren
```


23. Liste alle Studenten, die älter sind als der jüngste Professor:

```
select s.*
from Studenten s
where exists (select p.*
              from Professoren p
              where p.GebDatum > s.GebDatum)
```

Alternativ:

```
select s.*
from Studenten s
where s.GebDatum < (select max(p.GebDatum)
                   from Professoren p )
```

24. Liste alle Assistenten, die für einen jüngeren Professor arbeiten:

```
select a.*
from Assistenten a, Professoren p
where a.Boss = p.PersNr
and a.GebDatum < p.GebDatum
```

25. Liste alle Studenten mit der Zahl ihrer Vorlesungen, sofern diese Zahl größer als 2 ist:

```
select tmp.MatrNr, tmp.Name, tmp.VorlAnzahl
from (select s.MatrNr, s.Name, count(*) as VorlAnzahl
      from Studenten s, hoeren h
      where s.MatrNr = h.MatrNr
      group by s.MatrNr, s.Name) tmp
where tmp.VorlAnzahl > 2
```

26. Liste die Namen und Geburtstage der Gehaltsklassenältesten:

```
select p.Rang, p.Name, p.gebdatum
from Professoren p,
     (select Rang, min(GebDatum) as maximum
      from Professoren
      group by Rang) tmp
where p.Rang = tmp.Rang and p.GebDatum = tmp.maximum
```

27. Liste Vorlesungen zusammen mit Marktanteil, definiert als = Hörerzahl/Gesamtzahl:

```
select h.VorlNr, h.AnzProVorl, g.GesamtAnz,
       h.AnzProVorl / g.GesamtAnz as Marktanteil
from (select VorlNr, count(*) as AnzProVorl
      from hoeren group by VorlNr) h,
     (select count(*) as GesamtAnz
      from Studenten) g
```

28. Liste die Vereinigung von Professoren- und Assistenten-Namen:

```
(select Name from Assistenten)
union
(select Name from Professoren)
```

29. Liste die Differenz von Professoren- und Assistenten-Namen (nur SQL-92):

```
(select Name from Assistenten)
minus
(select Name from Professoren)
```

30. Liste den Durchschnitt von Professoren- und Assistenten-Namen (nur SQL-92):

```
(select Name from Assistenten)
intersect
(select Name from Professoren)
```

31. Liste alle Professoren, die keine Vorlesung halten:

```
select Name
from Professoren
where PersNr not in ( select gelesenVon from Vorlesungen )
```

Alternativ:

```
select Name
from Professoren
where not exists ( select *
                  from Vorlesungen
                  where gelesenVon = PersNr )
```

32. Liste Studenten mit größter Semesterzahl:

```
select Name
from Studenten
where Semester >= all ( select Semester
                       from Studenten )
```

33. Liste Studenten, die nicht die größte Semesterzahl haben:

```
select Name
from Studenten
where Semester < some ( select Semester
                       from Studenten )
```

34. Liste solche Studenten, die alle 4-stündigen Vorlesungen hören:

```
select s.*
from Studenten s
where not exists
  (select *
   from Vorlesungen v
   where v.SWS = 4 and not exists
     (select *
      from hoeren h
      where h.VorlNr = v.VorlNr and h.MatrNr = s.MatrNr
     )
  )
```

35. Berechnung der transitiven Hülle einer rekursiven Relation (nur in Oracle):
Liste alle Voraussetzungen für die Vorlesung 'Der Wiener Kreis':

7.7 SQL-Statements zum Einfügen, Modifizieren und Löschen

1. Füge neue Vorlesung mit einigen Angaben ein:

```
insert into Vorlesungen (VorlNr, Titel, gelesenVon)
values (4711, 'Selber Atmen', 2125)
```

2. Schicke alle Studenten in die Vorlesung *Selber Atmen*:

```
insert into hoeren
select MatrNr, VorlNr
from Studenten, Vorlesungen
where Titel = 'Selber Atmen'
```

3. Erweitere die neue Vorlesung um ihre Semesterwochenstundenzahl:

```
update Vorlesungen
set SWS=6
where Titel='Selber Atmen'
```

4. Entferne alle Studenten aus der Vorlesung *Selber Atmen*:

```
delete from hoeren
where vorlnr =
(select VorlNr from Vorlesungen
where Titel = 'Selber Atmen')
```

5. Entferne die Vorlesung *Selber Atmen*:

```
delete from Vorlesungen
where titel = 'Selber Atmen'
```

7.8 SQL-Statements zum Anlegen von Sichten

Die mangelnden Modellierungsmöglichkeiten des relationalen Modells in Bezug auf Generalisierung und Spezialisierung können teilweise kompensiert werden durch die Verwendung von Sichten. Nicht alle Sichten sind *update-fähig*, da sich eine Änderung ihrer Daten nicht immer auf die Originaltabellen zurückpropagieren lässt

1. Lege Sicht an für Prüfungen ohne Note:

```
create view pruefenSicht as
select MatrNr, VorlNr, PersNr
from   pruefen;
```

2. Lege Sicht an für Studenten mit ihren Professoren:

```
create view StudProf (Sname, Semester, Titel, PName) as
select s.Name, s.Semester, v.Titel, p.Name
from   Studenten s, hoeren h, Vorlesungen v, Professoren p
where  s.MatrNr      = h.MatrNr
and    h.VorlNr      = v.VorlNr
and    v.gelesenVon = p.PersNr;
```

3. Lege Sicht an mit Professoren und ihren Durchschnittsnoten:

```
create view ProfNote (PersNr, Durchschnittsnote) as
select  PersNr, avg (Note)
from    pruefen
group by PersNr;
```

4. Entferne die Sichten wieder:

```
drop view PruefenSicht;
drop view StudProf;
drop view ProfNote;
```

5. Lege Untertyp als Verbund von Obertyp und Erweiterung an:

```
create table Angestellte  (PersNr      integer not null,
                          Name        varchar(30) not null);

create table ProfDaten   (PersNr      integer not null,
                          Rang        character(2),
                          Raum        integer);

create table AssiDaten   (PersNr      integer not null,
                          Fachgebiet  varchar(30),
                          Boss        integer);

create view Profs as
select a.persnr, a.name, d.rang, d.raum
from   Angestellte a, ProfDaten d
where  a.PersNr = d.PersNr;

create view Assis as
select a.persnr, a.name, d.fachgebiet, d.boss
from   Angestellte a, AssiDaten d
where  a.PersNr = d.PersNr;
```

Entferne die Tabellen und Sichten wieder:

```
drop table Angestellte;
drop table AssiDaten;
drop table ProfDaten;
drop view Profs;
drop view Assis;
```

6. Lege Obertyp als Vereinigung von Untertypen an (zwei der drei Untertypen sind schon vorhanden):

```
create table AndereAngestellte (PersNr      integer not null,
                               Name        varchar(30) not null);

create view Angestellte as
  (select PersNr, Name from Professoren) union
  (select PersNr, Name from Assistenten) union
  (select PersNr, Name from AndereAngestellte);
```

Entferne die Tabelle und die Sichten wieder:

```
drop table andereAngestellte;
drop view Angestellte;
```

7.9 SQL-Statements zum Anlegen von Indizes

1. Lege einen Index an für die aufsteigend sortierten Titel der Tabelle Vorlesung:

```
create index titelindex
on Vorlesungen(titel asc);
```

2. Lege einen eindeutigen Index an für die Personalnummern der Tabelle Vorlesung:

```
create unique index hilfepersnr
on Professoren(persnr);
```

3. Entferne die Indizes titel und persnr:

```
drop index titelindex on Vorlesungen;
drop index semesterindex on Studenten;
```

7.10 Load data infile

Gegeben sei eine tabellenartig strukturierte Textdatei auf dem Rechner des Datenbankservers:

```
4711;Willi;C4;339;1951.03.24
4712;Erika;C3;222;1962.09.18
```

Durch den Befehl `load data infile` kann der Inhalt einer Datei komplett in eine SQL-Server-Tabelle eingefügt werden, wobei das Trennzeichen zwischen Feldern und Zeilen angegeben werden muss:

```
LOAD DATA INFILE '/tmp/prof.txt'
  INTO TABLE Professoren
  FIELDS TERMINATED BY ',';
  LINES TERMINATED BY '\n';
```

7.11 SQL-Skripte

Der MySQL-Server bietet eine prozedurale Erweiterung von SQL an, genannt *SQL-Skripte* oder auch *Stored Procedures*. Hiermit können SQL-Statements zu Prozeduren oder Funktionen zusammengefasst und ihr Ablauf durch Kontrollstrukturen gesteuert werden.

Sei eine Tabelle *konto* mit Kontonummern und Kontoständen angelegt durch

```
create table konto (nr int, stand int);

insert into konto values (1, 100);
insert into konto values (2, 100);
insert into konto values (3, 100);
```

Listing 7.2 zeigt eine benannte Stored Procedure, welche versucht, innerhalb der Tabelle *konto* eine Überweisung durchzuführen und danach das Ergebnis in zwei Tabellen festhält:

```
create table gebucht (datum DATE, nr_1 int, nr_2 int, betrag int);
create table abgelehnt (datum DATE, nr_1 int, nr_2 int, betrag int);
```

```
drop procedure if exists ueberweisung $$
create procedure ueberweisung (x int, y int, betrag int)
begin
  set @s = (select stand from konto where nr = x);
  if (@s < betrag)
  then
    insert into abgelehnt values (now(), x, y, betrag);
  else
    update konto set stand = stand-betrag where nr = x;
    update konto set stand = stand+betrag where nr = y;
    insert into gebucht values (now(), x, y, betrag);
  end if;
end $$
```

Listing 7.2: stored procedure ueberweisung

Im Gegensatz zu einem konventionellen Benutzerprogramm wird eine *stored procedure* in der Datenbank gespeichert. Sie wird aufgerufen und (später) wieder entfernt durch

```
call ueberweisung (2, 3, 50);
drop procedure ueberweisung;
```

In Listing 7.3 wird eine Funktion `f2c` definiert, die eine übergebene Zahl als Temperatur in Fahrenheit auffasst und den Wert nach Celsius umrechnet.

```
drop function if exists f2c $$

create function f2c (fahrenheit int)
returns int
deterministic
begin
    set @celsius=(fahrenheit-32)/9.0 * 5.0;
    return @celsius;
end $$
```

Listing 7.3: stored function f2c

Der Aufruf der Funktion erfolgt innerhalb einer SQL-Abfrage

```
select f2c(122);
```

Oft besteht das Ergebnis eines Select-Statements aus einer variablen Anzahl von Tupeln. Diese können nacheinander verarbeitet werden mit Hilfe eines sogenannten *Cursor*. Listing 7.4 zeigt den typischen Einsatz in einer *stored procedure*.

Zunächst wird der Cursor durch `declare` mit einer SQL-Query assoziiert, welche die Professoren-namen mit ihren Vorlesungstiteln ermittelt. Dann wird er mit `open` für die Abarbeitung geöffnet. Mittels `fetch` wird das nächste Tupel aus der Trefferliste geholt und mit `into` in lokalen Variablen abgespeichert. Ein *continue handler* überwacht, ob noch Tupel aus der SQL-Abfrage abzuarbeiten sind. Zum Abschluss wird der Cursor geschlossen und deallokiert.

Kapitel 8

Datenintegrität

8.1 Grundlagen

In diesem Kapitel werden *semantische Integritätsbedingungen* behandelt, also solche, die sich aus den Eigenschaften der modellierten Welt ableiten lassen. Wir unterscheiden zwischen statischen und dynamischen Integritätsbedingungen. Eine statische Bedingung muß von jedem Zustand der Datenbank erfüllt werden (z. B. Professoren haben entweder den Rang C2, C3 oder C4). Eine dynamische Bedingung betrifft eine Zustandsänderung (z. B. Professoren dürfen nur befördert, aber nicht degradiert werden).

Einige Integritätsbedingungen wurden schon behandelt:

- Die Definition des Schlüssels verhindert, daß zwei Studenten die gleiche Matrikelnummer haben.
- Die Modellierung der Beziehung *lesen* durch eine 1:N-Beziehung verhindert, dass eine Vorlesung von mehreren Dozenten gehalten wird.
- Durch Angabe einer Domäne für ein Attribut kann z. B. verlangt werden, dass eine Matrikelnummer aus maximal 5 Ziffern besteht (allerdings wird nicht verhindert, daß Matrikelnummern mit Vorlesungsnummern verglichen werden).

8.2 Referentielle Integrität

Seien R und S zwei Relationen mit den Schemata \mathcal{R} und \mathcal{S} . Sei κ Primärschlüssel von \mathcal{R} .

Dann ist $\alpha \subset \mathcal{S}$ ein Fremdschlüssel, wenn für alle Tupel $s \in S$ gilt:

1. $s.\alpha$ enthält entweder nur Nullwerte oder nur Werte ungleich Null
2. Enthält $s.\alpha$ keine Nullwerte, existiert ein Tupel $r \in R$ mit $s.\alpha = r.\kappa$

Die Erfüllung dieser Eigenschaft heißt *referentielle Integrität*. Die Attribute von Primär- und Fremdschlüssel haben jeweils dieselbe Bedeutung und oft auch dieselbe Bezeichnung (falls möglich). Ohne

Überprüfung der referentiellen Integrität kann man leicht einen inkonsistenten Zustand der Datenbasis erzeugen, indem z. B. eine Vorlesung mit nichtexistentem Dozenten eingefügt wird.

Zur Gewährleistung der referentiellen Integrität muß also beim Einfügen, Löschen und Ändern immer sichergestellt sein, daß gilt

$$\pi_\alpha(S) \subseteq \pi_\kappa(R)$$

Erlaubte Änderungen sind daher:

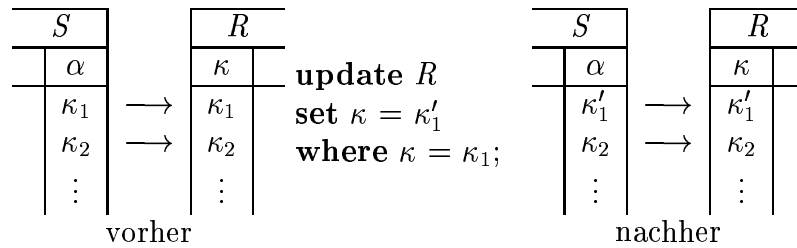
- Einfügen eines Tupels in S verlangt, daß der Fremdschlüssel auf ein existierendes Tupel in R verweist.
- Ändern eines Tupels in S verlangt, daß der neue Fremdschlüssel auf ein existierendes Tupel in R verweist.
- Ändern eines Primärschlüssels in R verlangt, daß kein Tupel aus S auf ihn verwiesen hat.
- Löschen eines Tupels in R verlangt, daß kein Tupel aus S auf ihn verwiesen hat.

8.3 Referentielle Integrität in SQL

SQL bietet folgende Sprachkonstrukte zur Gewährleistung der referentiellen Integrität:

- Ein Schlüsselkandidat wird durch die Angabe von `unique` gekennzeichnet.
- Der Primärschlüssel wird mit `primary key` markiert. Seine Attribute sind automatisch `not null`.
- Ein Fremdschlüssel heißt `foreign key`. Seine Attribute können auch `null` sein, falls nicht explizit `not null` verlangt wird.
- Ein `unique foreign key` modelliert eine 1:1 Beziehung.
- Innerhalb der Tabellendefinition von S legt die Klausel `integer references R` fest, daß der Fremdschlüssel α (hier vom Typ Integer) sich auf den Primärschlüssel von Tabelle R bezieht. Ein Löschen von Tupeln aus R wird also zurückgewiesen, solange noch Verweise aus S bestehen.
- Durch die Klausel `on update cascade` werden Veränderungen des Primärschlüssels auf den Fremdschlüssel propagiert (oberer Teil von Abbildung 8.1).
- Durch die Klausel `on delete cascade` zieht das Löschen eines Tupels in R das Entfernen des auf ihn verweisenden Tupels in S nach sich (unterer Teil der Abbildung 8.1).
- Durch die Klauseln `on update set null` und `on delete set null` erhalten beim Ändern bzw. Löschen eines Tupels in R die entsprechenden Tupel in S einen Nulleintrag (Abbildung 8.2).

(a) create table S (... , α integer references R on update cascade);



(b) create table S (... , α integer references R on delete cascade);

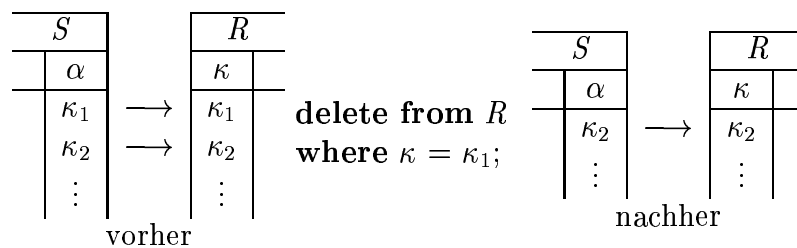
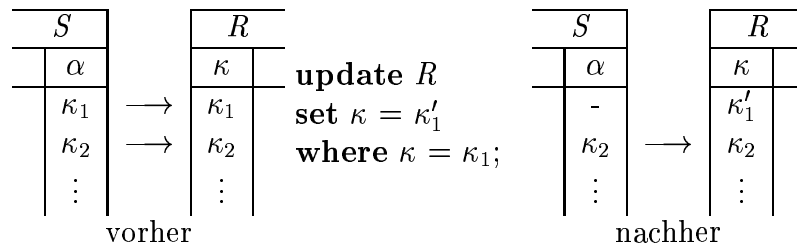


Abbildung 8.1: Referentielle Integrität durch Kaskadieren

a) create table S (... , α integer references R on update set null);



(b) create table S (... , α integer references R on delete set null);

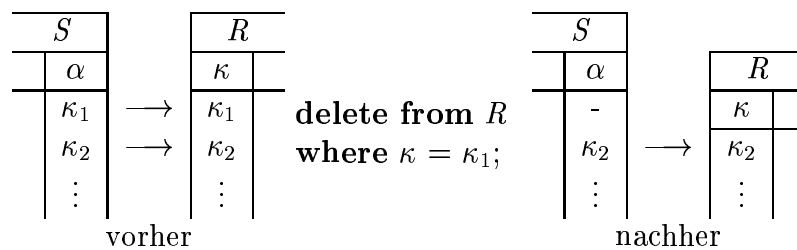


Abbildung 8.2: Referentielle Integrität durch Nullsetzen

Kaskadierendes Löschen kann ggf. eine Kettenreaktion nach sich ziehen. In Abbildung 8.3 wird durch das Löschen von Sokrates der gestrichelte Bereich mit drei Vorlesungen und drei *hören*-Beziehungen entfernt, weil der Fremdschlüssel *gelesenVon* die Tupel in *Professoren* mit `on delete cascade` referenziert und der Fremdschlüssel *VorlNr* in *hören* die Tupel in *Vorlesungen* mit `on delete cascade` referenziert.

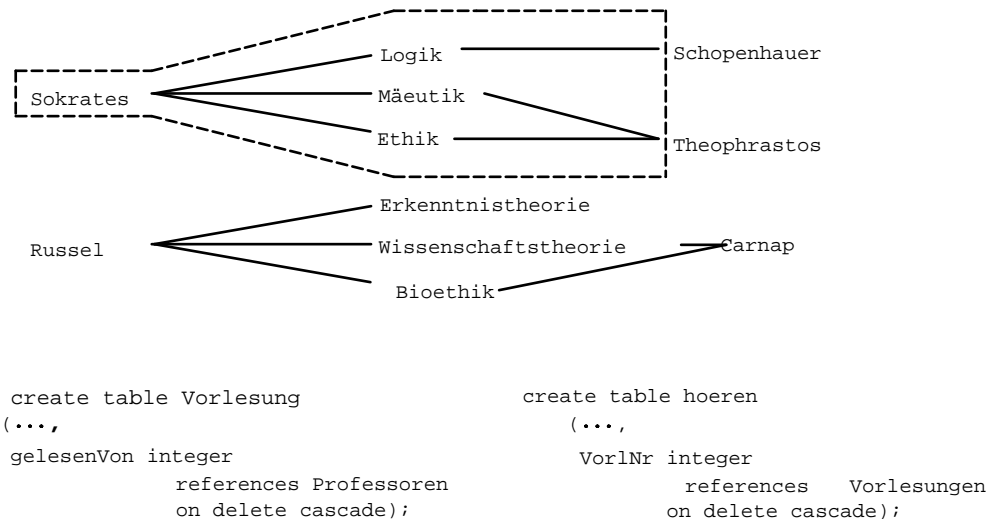


Abbildung 8.3: Kaskadierende Löschoptionen

8.4 Statische Integrität in SQL

Durch die *check-Klausel* können einem Attribut Bereichseinschränkungen auferlegt werden.

Zum Beispiel erzwingen

```

... check Semester between 1 and 13 ...
... check Rang in ('C2', 'C3', 'C4') ...

```

gewisse Vorgaben für die Semesterzahl bzw. den Professorenrang.

Listing 8.1 zeigt die Formulierung der Uni-Datenbank mit den Klauseln zur Überwachung von statischer und referentieller Integrität. Hierbei wurden folgende Restriktionen verlangt:

- Ein Professor darf solange nicht entfernt oder sein Primärschlüssel geändert werden, wie noch Verweise auf ihn existieren.
- Eine Vorlesung darf solange nicht entfernt werden, wie noch Verweise auf sie existieren. Eine Änderung ihres Primärschlüssels ist erlaubt und zieht das Ändern der Sekundärschlüssel nach sich.
- Ein Student darf entfernt werden und zieht dabei das Entfernen der Zeilen nach sich, die über Sekundärschlüssel auf ihn verweisen. Auch sein Primärschlüssel darf geändert werden und zieht das Ändern der Sekundärschlüssel nach sich.

```
CREATE TABLE Studenten(
  MatrNr          INTEGER PRIMARY KEY,
  Name            VARCHAR(20) NOT NULL,
  Semester        INTEGER,
  GebDatum        DATE
);

CREATE TABLE Professoren(
  PersNr          INTEGER PRIMARY KEY,
  Name            VARCHAR(20) NOT NULL,
  anzVorlesungen INTEGER,
  Rang            CHAR(2) CHECK (Rang in ('C2','C3','C4')),
  Raum            INTEGER UNIQUE,
  Gebdatum        DATE
);

CREATE TABLE Assistenten (
  PersNr          INTEGER PRIMARY KEY,
  Name            VARCHAR(20) NOT NULL,
  Fachgebiet      VARCHAR(20),
  Boss            INTEGER,
  GebDatum        DATE,
  FOREIGN KEY (Boss) REFERENCES Professoren (PersNr)
);

CREATE TABLE Vorlesungen (
  VorlNr          INTEGER PRIMARY KEY,
  Titel           VARCHAR(20),
  SWS             INTEGER,
  gelesenVon      INTEGER,
  FOREIGN KEY (gelesenVon) REFERENCES Professoren (PersNr)
);

CREATE TABLE hoeren (
  MatrNr          INTEGER,
  VorlNr          INTEGER,

  PRIMARY KEY (MatrNr, VorlNr),

  FOREIGN KEY (MatrNr) REFERENCES Studenten (MatrNr)
    ON UPDATE CASCADE
    ON DELETE CASCADE,
  FOREIGN KEY (VorlNr) REFERENCES Vorlesungen (VorlNr)
    ON UPDATE CASCADE
);

CREATE TABLE voraussetzen (
  Vorgaenger      INTEGER,
  Nachfolger      INTEGER,
  PRIMARY KEY (Vorgaenger, Nachfolger),
  FOREIGN KEY (Vorgaenger) REFERENCES Vorlesungen (VorlNr)
    ON UPDATE CASCADE,
```

```
FOREIGN KEY (Nachfolger) REFERENCES Vorlesungen (VorlNr)
  ON UPDATE CASCADE
);

CREATE TABLE pruefen (
  MatrNr          INTEGER,
  VorlNr          INTEGER,
  PersNr          INTEGER,
  Note            NUMERIC(3,1) CHECK (Note between 0.7 and 5.0),
  PRIMARY KEY (MatrNr, VorlNr),
  FOREIGN KEY (MatrNr) REFERENCES Studenten (MatrNr)
    ON UPDATE CASCADE
    ON DELETE CASCADE,
  FOREIGN KEY (VorlNr) REFERENCES Vorlesungen (VorlNr)
    ON UPDATE CASCADE,
  FOREIGN KEY (PersNr) REFERENCES Professoren (PersNr)
);
```

8.5 Trigger

Die allgemeinste Konsistenzsicherung geschieht durch einen *Trigger*. Dies ist eine benutzerdefinierte Prozedur, die automatisch bei Erfüllung einer bestimmten Bedingung vom DBMS gestartet wird. Hilfreich sind zwei vom System gefüllte Tabellen DELETED und INSERTED, in der solche Zeilen gespeichert sind, auf die sich das beabsichtigte Löschen bzw. Einfügen beziehen. In diesem Zusammenhang ist die Operation UPDATE als hintereinander ausgeführte Kombination von Löschen und Einfügen zu sehen.

Listing 8.2 zeigt einen AFTER-UPDATE-Trigger für die Tabelle Professoren, der nach jedem Update aufgerufen wird und im Falle einer Degradierung diese wieder rückgängig macht.

```
drop trigger if exists korrigieredegradierung /
create trigger korrigieredegradierung
after update on Professoren
for each row
begin
    UPDATE Professoren SET rang = OLD.rang
    WHERE rang < OLD.rang;
end/
```

Listing 8.2: Trigger zur Korrektur einer Degradierung

Listing 8.3 zeigt die Lösung für dasselbe Problem durch einen INSTEAD-OF-UPDATE-Trigger, der statt des Update durchgeführt wird. Durch Vergleich der Einträge in den Systemtabellen DELETED und INSERTED kann die beabsichtigte Beförderung für solche Professoren durchgeführt werden, die zuvor noch keine Rangangabe aufwiesen oder eine kleinere Rangangabe hatten.

```
drop trigger if exists verhinderedegradierung /
create trigger verhinderedegradierung before update on Professoren
for each row
begin
    UPDATE Professoren SET rang = NEW.rang
    WHERE rang >= NEW.rang;
end/
```

Listing 8.3: Trigger zur Verhinderung einer Degradierung

Listing 8.4 zeigt einen AFTER-INSERT-Trigger, der immer nach dem Einfügen eines Tupels in die Tabelle *hoeren* einen Professor sucht, der jetzt mehr als 10 Hörer hat und ihn dann nach C4 befördert.

```

create trigger befoerderung
after insert on hoeren
for each row
  update Professoren set rang='C4'
  where persnr in
    (select gelesenvon
     from hoeren h, Vorlesungen v
     where h.vorlnr = v.vorlnr
     group by gelesenvon
     having count(*) > 2)

```

Listing 8.4: Trigger zum Auslösen einer Beförderung

Listings 8.5 und 8.6 zeigen die Verwendung eines INSTEAD-OF-INSERT-Triggers im Zusammenhang mit Sichten, in die nur unter sehr eingeschränkten Bedingungen eingefügt werden kann. Auf der Tabelle *Person* sei eine Sicht *Geburtstagsliste* gegeben. In dieser Sicht wird das momentane Lebensalter in Jahren anhand der Systemzeit und des gespeicherten Geburtsdatums errechnet. Natürlich ist diese Sicht nicht update-fähig bei Einfügen eines Namens mit Lebensalter. Durch den Trigger *geburtstag* läßt sich das Einfügen trotzdem erreichen, da nach Umrechnung des Alters in ein Geburtsdatum ein Tupel in die Tabelle *Person* eingefügt werden kann.

```

create view Geburtstagsliste          -- lege Sicht an
as                                    -- bestehend aus
select Name,                          -- Name
       datediff(year,gebdatum,getdate()) as Jahre -- Lebensalter
from Person                            -- von Tabelle Person

```

Listing 8.5: Nichtupdatefähige Sicht

```

create trigger Geburtstag             -- lege Trigger an bzgl.
on Geburtstagsliste                  -- Geburtstagsliste
instead of insert                     -- statt einzufuegen
as
insert into Person (name,gebdatum)    -- fuege in Person ein
select i.name,                        -- eingefuegter Name
       dateadd(year, -i.jahre, getdate()) -- errechnetes Geburtsjahr
from inserted i                       -- aus Tabelle inserted

```

Listing 8.6: Trigger zum Einfügen eines errechneten Geburtsdatums

Das Schlüsselwort `drop` entfernt einen Trigger: `drop trigger Geburtstag`

Kapitel 9

Datenbankapplikationen

9.1 ODBC

Open Database Connectivity (ODBC) ist eine von Microsoft entwickelte standardisierte Anwendungs-Programmierungs-Schnittstelle (Application Programming Interface, API), über die Anwendungen auf Datenbanken unterschiedlicher Hersteller zugreifen können (Oracle, Informix, Microsoft, MySQL, ...). Hierzu wird auf dem Rechner des Anwenders unter Verwendung des für den jeweiligen Hersteller vorgeschriebenen Treibers eine sogenannte Datenquelle installiert, auf die dann das Anwendungsprogramm zugreifen kann, ohne die proprietären Netzwerkkommandos zu beherrschen.

Abbildung 9.1 zeigt das Hinzufügen einer ODBC-Datenquelle in der Systemsteuerung von Windows.

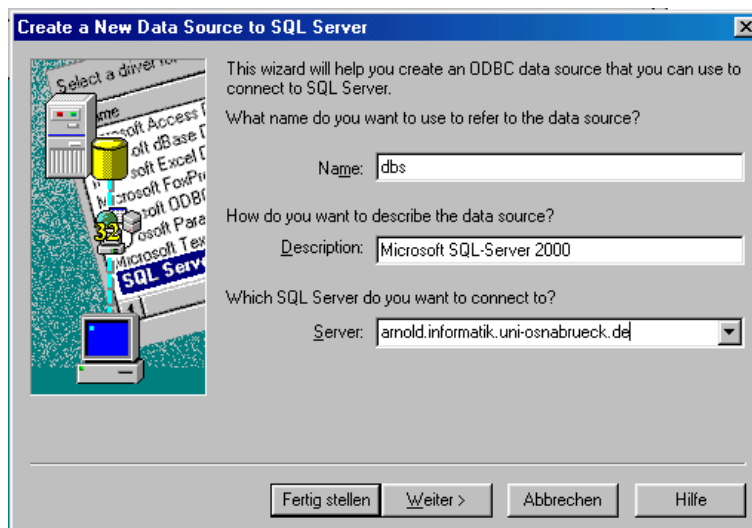


Abbildung 9.1: Hinzufügen einer ODBC-Datenquelle

9.2 Microsoft Visio

Microsoft Visio ist ein Vektorgrafikprogramm zum Erstellen von Grafiken mit vorgefertigten Schablonen. Über den Menüpunkt *Database Reverse Engineering* kann das Datenbankschema einer ODBC-fähigen Datenbank eingelesen und grafisch aufbereitet werden (Abbildung 9.2).

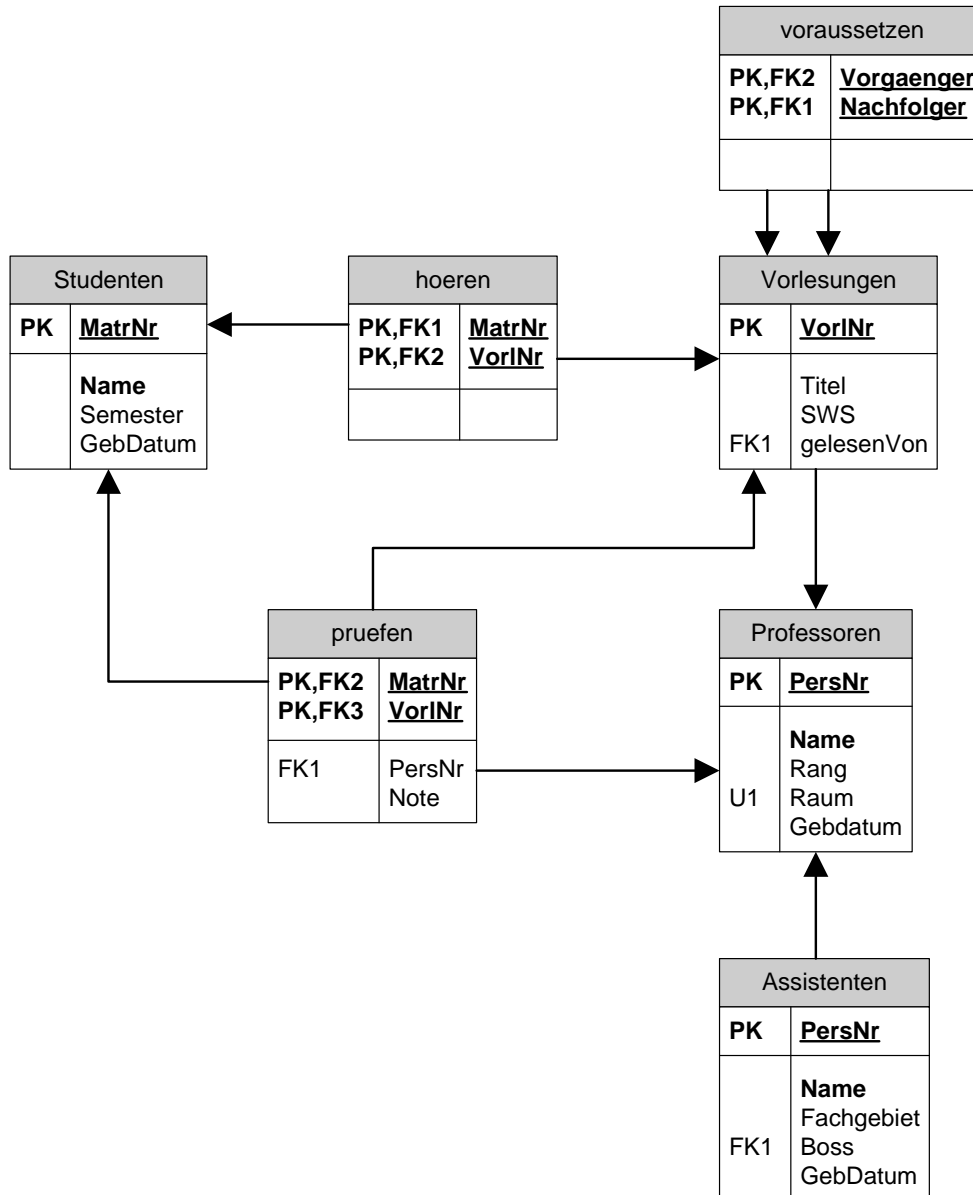


Abbildung 9.2: Universitätsschema, erzeugt von MS Visio

9.3 Microsoft Access

Access ist ein relationales Datenbanksystem der Firma *Microsoft*, welches als Einzel- und Mehrplatzsystem unter dem Betriebssystem Windows läuft. Seine wichtigsten Eigenschaften:

- Als **Frontend** eignet es sich für relationale Datenbanksysteme, die per ODBC-Schnittstelle angesprochen werden können. Hierzu wird in der Windows-Systemsteuerung der zum Microsoft-SQL-Server mitgelieferte ODBC (Open Data Base Connectivity) Treiber eingerichtet und eine User Data Source hinzugefügt, z.B. mit dem Namen `dsb`. Nun können die auf dem SQL-Server liegenden Tabellen verknüpft und manipuliert werden.
- Der **Schemaentwurf** geschieht menugesteuert (Abbildung 9.3)
- Referenzen zwischen den Tabellen werden in Form von **Beziehungen** visualisiert.
- **Queries** können per SQL oder menugesteuert abgesetzt werden (Abbildung 9.4).
- **Berichte** fassen Tabelleninhalte und Query-Antworten in formatierter Form zusammen und können als Rich-Text-Format exportiert werden (Listing 9.1 + Abbildung 9.5).
- **Balken- und Tortendiagramme** lassen sich automatisch aus den Trefferlisten der Abfragen erzeugen (Listing 9.1b + Abbildung 9.6)
- **Formulare** definieren Eingabemasken, die das Erfassen und Updaten von Tabellendaten vereinfachen (Abbildung 9.7).
- **Visual-Basic-for-Application-Skripte** (Listing 9.1c) ermöglichen die Gestaltung individueller Abfrageformulare (Abbildung 9.8).

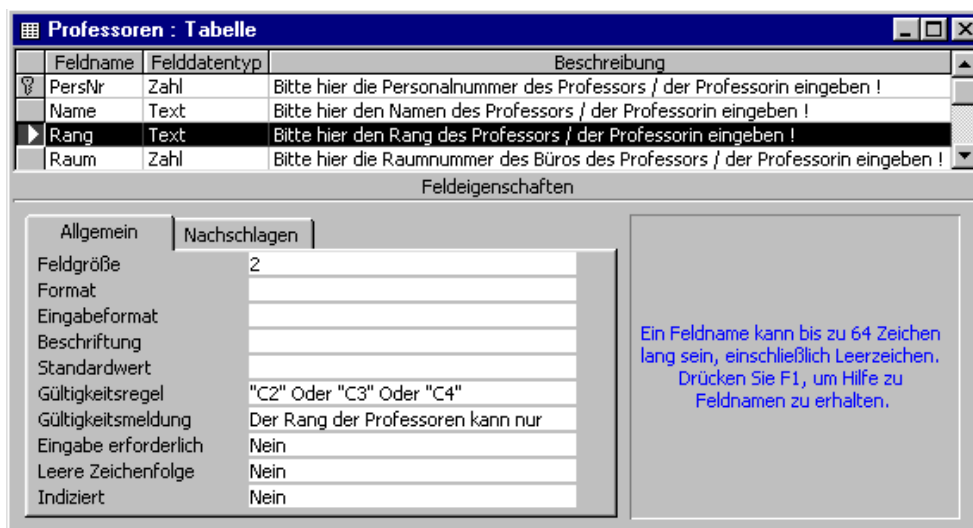


Abbildung 9.3: Schemadefinition in Microsoft Access

Abbildung 9.4 zeigt die interaktiv formulierte Abfrage, die zu jedem Professor seine Studenten ermittelt. Daraus wird die SQL-Syntax in Listing 9.1a erzeugt. Aus den Treffern dieser Query wird der Bericht in Abbildung 9.5 generiert.



Abbildung 9.4: in Microsoft Access formulierte Abfrage

```
SELECT DISTINCT p.name AS Professor, s.name AS Student
FROM  professoren p, vorlesungen v, hoeren h, studenten s
WHERE v.gelesenvon = p.persnr
and   h.vorlnr     = v.vorlnr
and   h.matrn timer = s.matrn timer
ORDER BY p.name, s.name
```

Listing 9.1a: generierte Abfrage, wird verwendet für Bericht in Abbildung 9.6



Abbildung 9.5: Word-Ausgabe eines Microsoft Access-Berichts, basierend auf Listing 9.1a

```

SELECT p.Name, sum(v.SWS) AS Lehrbelastung
FROM   Vorlesungen AS v, Professoren AS p
WHERE  v.gelesenVon=p.PersNr
GROUP BY p.name;

```

Listing 9.1b: Abfrage zur Ermittlung der Lehrbelastung

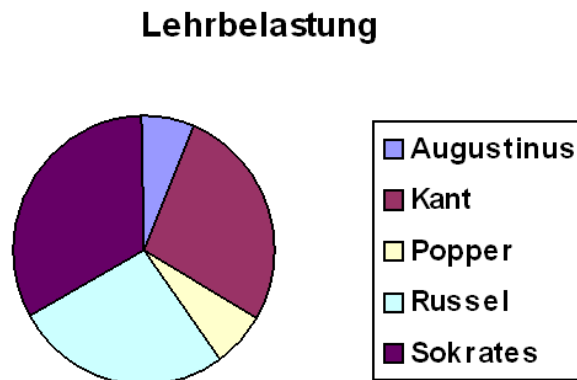


Abbildung 9.6: Tortendiagramm, erstellt aus den Treffern zur Abfrage in Listing 9.1b

Prof+Assi : Formular

Stammdaten der Professoren

PersNr:

Name:

Rang:

Raum:

Stammdaten der zugehörigen Assistenten

| Personalnummer | Name | Fachgebiet |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---|
| <input type="text" value="3005"/> | <input type="text" value="Rethikus"/> | <input type="text" value="Planetenbewegung"/> |
| <input type="text" value="3006"/> | <input type="text" value="Newton"/> | <input type="text" value="Keplersche Gesetze"/> |
| <input type="text" value="*"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Datensatz: von 7

Abbildung 9.7: interaktiv zusammengestelltes Eingabeformular

```
Private Sub berechne_Click()  
  
    Dim rang As String  
  
    Select Case gehaltsgruppe.Value  
    Case 1  
        rang = "C2"  
    Case 2  
        rang = "C3"  
    Case 3  
        rang = "C4"  
    Case Else  
        rang = " "  
    End Select  
  
    If rang = " " Then  
        MsgBox ("Sie haben keinen Rang angegeben")  
    Else  
        Dim rs As Recordset  
        Set rs = CurrentDb.OpenRecordset("Select name, gebdatum " & _  
            "from professoren where gebdatum = " & _  
            "(select min(gebdatum) from professoren where rang = '" & rang & "')")  
        ausgabe.Value = rs.Fields("name").Value & _  
            ", geboren am " & rs.Fields("gebdatum")  
    End If  
  
End Sub
```

Listing 9.1c: Visual Basic Script, dem Button Rangältester aus Abbildung 9.8 zugeordnet



Abbildung 9.8: Formular mit VBA-Skript-Funktionalität

9.4 Embedded SQL

Unter *Embedded SQL* versteht man die Einbettung von SQL-Befehlen innerhalb eines Anwendungsprogramms. Das Anwendungsprogramm heißt *Host Programm*, die in ihm verwendete Sprache heißt *Host-Sprache*.

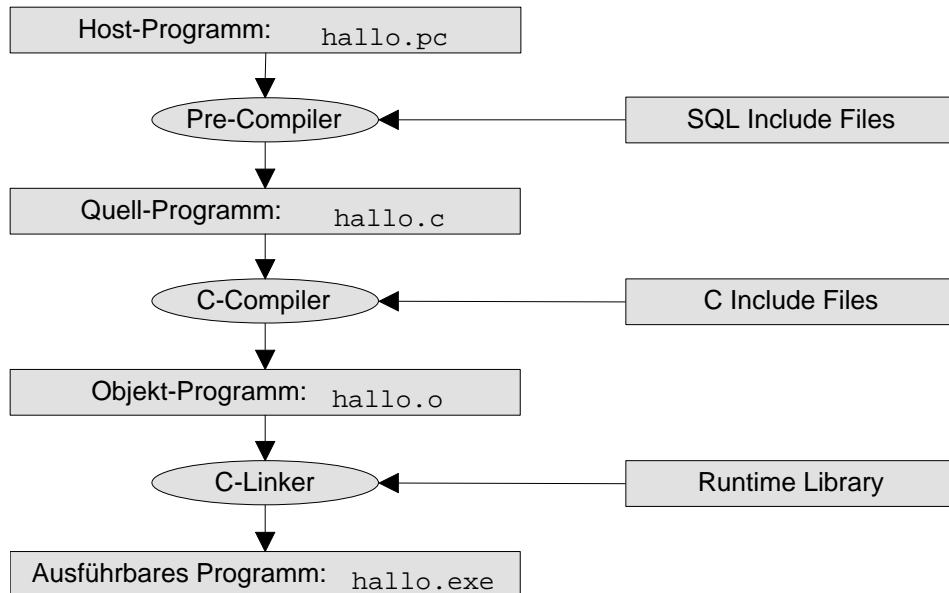


Abbildung 9.9: Vom Hostprogramm zum EXE-File

Der *Microsoft SQL-Server* unterstützt Embedded SQL im Zusammenspiel mit den Programmiersprachen C und C++ durch einen *Pre-Compiler*. Abbildung 9.9 zeigt den prinzipiellen Ablauf: Das mit eingebetteten SQL-Statements formulierte Host-Programm `beispiel.sql` wird zunächst durch den Pre-Compiler unter Verwendung von SQL-spezifischen Include-Dateien in ein ANSI-C-Programm `beispiel.c` überführt. Diese Datei übersetzt ein konventioneller C-Compiler unter Verwendung der üblichen C-Include-Files in ein Objekt-File `beispiel.o`. Unter Verwendung der Runtime Library wird daraus das ausführbare Programm `beispiel.exe` gebunden.

Listing 9.2 zeigt ein Embedded-SQL-Programm, die davon erzeugte Ausgabe zeigt Abb. 9.10.

```

C:\WINNT\System32\cmd.exe
L:\dbs\2001\Developer\Skript\ESQL-Microsoft>beispiel
Verbindung zum SQL Server aufgebaut!
Bitte Rang eingeben: C4
Mit Rang C4 gespeichert:
2125 Sokrates          C4 226 23 08 1923 0:00
2126 Russel           C4 232 10 07 1934 0:00
2133 Popper           C4 52 03 09 1949 0:00
2136 Curie            C4 36 10 05 1929 0:00
2137 Kant             C4 7 04 04 1950 0:00
2140 Pythagoras      C4 ??? 28 05 2001 12:42
L:\dbs\2001\Developer\Skript\ESQL-Microsoft>
  
```

The screenshot shows a Windows command prompt window titled 'C:\WINNT\System32\cmd.exe'. The user has executed the command 'beispiel' in the directory 'L:\dbs\2001\Developer\Skript\ESQL-Microsoft'. The output shows a successful connection to the SQL Server, a prompt for a rank ('Bitte Rang eingeben: C4'), and a confirmation that the rank 'C4' is stored. A table of data is then displayed with columns for rank, name, and a series of numbers and times. The data rows are: 2125 Sokrates, 2126 Russel, 2133 Popper, 2136 Curie, 2137 Kant, and 2140 Pythagoras. The prompt returns to the command line.

Abbildung 9.10: Ausgabe des Embedded-SQL-Programms von Listing 9.2

Eingebettete SQL-Statements werden durch ein vorangestelltes EXEC SQL gekennzeichnet und ähneln ansonsten ihrem interaktiven Gegenstück. Die Kommunikation zwischen dem Host-Programm und der Datenbank geschieht über sogenannte *Host-Variablen*, die im C-Programm deklariert werden. Eine *Input-Host-Variable* überträgt Daten des Hostprogramms an die Datenbank, eine *Output-Host-Variable* überträgt Datenbankwerte und Statusinformationen an das Host-Programm. Hostvariablen werden innerhalb von SQL-Statements durch einen vorangestellten Doppelpunkt (:) gekennzeichnet.

Für Hostvariablen, die Datenbankattributen vom Typ VARCHAR entsprechen, empfiehlt sich eine Definition nach folgendem Beispiel:

```
char fachgebiet[20];
```

Mit einer Hostvariable kann eine optionale *Indikator-Variable* assoziiert sein, welche Null-Werte überträgt oder entdeckt. Folgende Zeilen definieren alle Hostvariablen zum Aufnehmen eines Datensatzes der Tabelle *Professoren* sowie eine Indikator-Variable *raum_ind* zum Aufnehmen von Status-Information zur Raumangabe.

```
int   persnr;
char  name  [20];
char  rang  [3];
int   raum;
short raum_ind;
```

Folgende Zeilen transferieren einen einzelnen Professoren-Datensatz in die Hostvariablen *persnr*, *name*, *rang*, *raum* und überprüfen mit Hilfe der Indikator-Variable *raum_ind*, ob eine Raumangabe vorhanden war.

```
EXEC SQL SELECT PersNr, Name, Rang, Raum
          INTO   :persnr, :name, :rang, :raum INDICATOR :raum_ind
          FROM   Professoren
          WHERE  PersNr = 2125;
if (raum_ind == -1) printf("PersNr %d ohne Raum \n", persnr);
```

Oft liefert eine SQL-Query kein skalares Objekt zurück, sondern eine Menge von Zeilen. Diese Treffer werden in einer sogenannten *private SQL area* verwaltet und mit Hilfe eines *Cursors* sequentiell verarbeitet.

```
EXEC SQL DECLARE C1 CURSOR FOR
  SELECT PersNr, Name, Rang, Raum
  FROM   Professoren
  WHERE  Rang='C4';
EXEC SQL OPEN C1;
EXEC SQL FETCH C1 into :persnr, :name, :rang, :raum
while (SQLCODE ==0){
  printf("Verarbeite Personalnummer %d\n", persnr);
  EXEC SQL FETCH C1 into :persnr, :name, :rang, :raum
}
EXEC SQL CLOSE C1;
```



```

#include <stddef.h> // Standardheader
#include <stdio.h> // Standardheader

void ErrorHandler (void) { // im Fehlerfalle
    printf("%li %li %li\n", SQLCODE, SQLERRD1, SQLERRMC); // Ausgabe von
} // Fehlermeldungen

int main ( int argc, char** argv, char** envp) {

    EXEC SQL BEGIN DECLARE SECTION; // Deklarationen-Start
    char server[] = "arnold.uni"; // Server + DB
    char loginPasswort[] = "erika.mustermann"; // User + Passwort
    int persnr; // Personalnummer
    char name[20]; // Name
    char rang[3]; // Rang
    int raum; // Raum
    char gebdatum[17]; // Geburtsdatum
    short raum_ind; // Raum-Indikator
    char eingaberang[3]; // Eingabe vom User
    EXEC SQL END DECLARE SECTION; // Deklarationen-Ende

    EXEC SQL WHENEVER SQLERROR CALL ErrorHandler(); // Fehlermarke
    EXEC SQL CONNECT TO :server USER :loginPasswort; // Verbindung aufbauen

    if (SQLCODE == 0) printf("Verbindung aufgebaut!\n"); // Erfolg
    else { printf("Keine Verbindung\n"); return (1); } // Misserfolg
    printf("Bitte Rang eingeben: "); // gewuenschten Rang
    scanf("%s", eingaberang); // vom user holen
    printf("Mit Rang %s gespeichert:\n", eingaberang);

    EXEC SQL DECLARE C1 CURSOR FOR // Cursor vereinbaren
        SELECT PersNr, Name, Rang, Raum, Gebdatum // SQL-Statement
        FROM Professoren
        WHERE Rang = :eingaberang;
    EXEC SQL OPEN C1; // Cursor oeffnen
    EXEC SQL FETCH C1 INTO :persnr, :name, :rang, // Versuche eine Zeile
        :raum INDICATOR :raum_ind, :gebdatum; // zu lesen

    while (SQLCODE == 0){ // SOLANGE erfolgreich
        printf("%d %s %s", persnr, name, rang); // Tupel ausgeben
        if(raum_ind == -1) printf(" ???"); // Platzhalter drucken
        else printf("%4d", raum); // SONST Raumnr
        printf(" %s\n", gebdatum); // letztes Attribut
        EXEC SQL FETCH C1 INTO :persnr, :name, :rang, // naechste Zeile lesen
            :raum INDICATOR :raum_ind, :gebdatum;
    }
    EXEC SQL CLOSE C1; // Cursor schliessen
    EXEC SQL DISCONNECT ALL; // Verbindung beenden
    return (0);
}

```

Listing 9.2: Quelltext des Embedded SQL-Programm beispiel.sqc

9.5 JDBC

JDBC (Java Database Connectivity) ist ein Java-API (Application Programming Interface) zur Ausführung von SQL-Anweisungen innerhalb von Java-Applikationen und Java-Applets. Es besteht aus einer Menge von Klassen und Schnittstellen, die in der Programmiersprache Java geschrieben sind. Ein JDBC-Programm läuft in drei Phasen ab:

1. Treiber laden und Verbindung zur Datenbank aufbauen,
2. SQL-Anweisungen absenden,
3. Ergebnisse verarbeiten.

Der folgende Quelltext zeigt ein einfaches Beispiel für diese Schritte unter Verwendung der nativen Microsoft-Treiber:

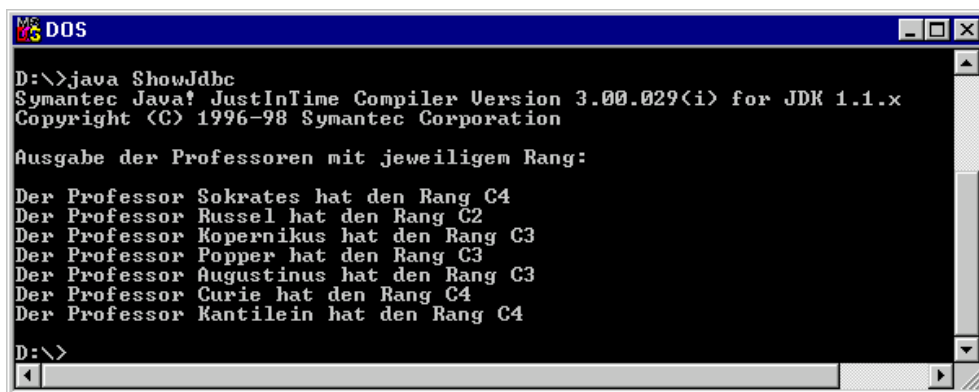
```
String url      = "jdbc:microsoft:sqlserver://maestro:1433";
String user    = "erika";
String password = "mustermann";

Class.forName  ("com.microsoft.jdbc.sqlserver.SQLServerDriver");
Connection con = DriverManager.getConnection(url,user,password);

Statement stmt = con.createStatement();
ResultSet rs   = stmt.executeQuery("select * from Professoren");

while (rs.next()){
    int x    = rs.getInt("persnr");
    String s = rs.getString("name");
    System.out.println("Professor " + s + " hat die Personalnummer " + x);
}
```

Abbildung 9.11 zeigt die von Listing 9.3a erzeugte Ausgabe einer Java-Applikation auf der Konsole.



```
DOS
D:\>java ShowJdbc
Symantec Java! JustInTime Compiler Version 3.00.029(i) for JDK 1.1.x
Copyright (C) 1996-98 Symantec Corporation

Ausgabe der Professoren mit jeweiligem Rang:

Der Professor Sokrates hat den Rang C4
Der Professor Russel hat den Rang C2
Der Professor Kopernikus hat den Rang C3
Der Professor Popper hat den Rang C3
Der Professor Augustinus hat den Rang C3
Der Professor Curie hat den Rang C4
Der Professor Kantilein hat den Rang C4

D:\>
```

Abbildung 9.11: Ausgabe einer Java-Applikation

Ist auf dem Clienten eine ODBC-Datenquelle eingerichtet, so kann auch unter Verwendung des von Sun mitgelieferten Brückentreibers der Kontakt zur Datenbank hergestellt werden:

Soll ein Update oder Delete durchgeführt werden, so wird statt der Methode `executeQuery` die Methode `executeUpdate` bemüht. Sie liefert die Zahl der geänderten Tupel zurück:

Bei mehrfacher Benutzung desselben SQL-Befehls macht es Sinn, diesen vorzuübersetzen als sogenanntes `PreparedStatement`. Hierbei kann durch das Fragezeichen ('?') ein Platzhalter definiert werden, der zur Laufzeit mittels `setInt(i, ...)` bzw. mittels `setString(i, ...)` an die *i*-te Position das noch fehlende Argument übergeben bekommt:

Die bisherigen JDBC-Beispiele konnten zur Übersetzungszeit nicht gegen die Datenbank validiert werden, da erst zur Laufzeit der SQL-Query-String an den SQL-Interpreter übergeben wurde. SQLJ löst dieses Problem durch den Einsatz eines *Translators*, welcher zunächst das mit #SQL-Kommandos erweiterte Javaprogramm in reguläres Java überführt, welches anschließend mit dem Java-Compiler übersetzt wird. Der Translator kann dabei bereits mit Hilfe der Treiberklassen Kontakt zur Datenbank aufnehmen und die SQL-Befehle auf Korrektheit überprüfen. Abbildung 9.12 zeigt den schematischen Ablauf und Listing 9.3b zeigt die Java-Klasse `IO.java`, die in den Beispielen 9.3c und 9.3d zur Eingabe benutzt wird.

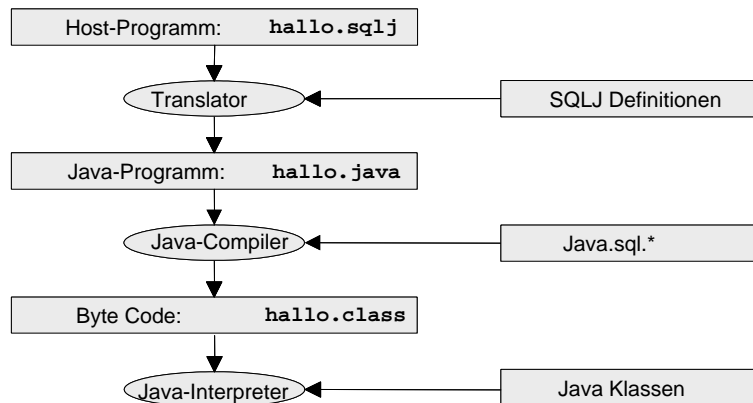


Abbildung 9.12: Zusammenspiel von SQLJ-Translator und Java-Compiler

```

import java.io.BufferedReader;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStreamReader;

public class IO {

    private final static BufferedReader system_in =
        new BufferedReader( new InputStreamReader( System.in));

    /** Liest eine ganzzahlige Zahl von System.in.
     * @param s Text, der zur Eingabe auffordert
     * @throws NumberFormatException bei fehlerhafter Eingabe
     * @return Die eingelesene Zahl. */
    public static int readInt(String s) {
        System.out.print(s);
        int result = 0;
        try { result = Integer.parseInt(system_in.readLine());
        } catch (IOException e) {}
        return result;
    }
}
  
```

Listing 9.3b: Quelltext der Java-Klasse `IO.java`

Listing 9.3c zeigt demonstriert den Umgang mit Hostvariablen in einem SQLJ-Programm. Ein lokal deklarierte Variable `int vorgabe` kann innerhalb der SQL-Statements mit `:vorgabe` angesprochen werden.

```
import java.io.*;
import java.sql.*;
import sqlj.runtime.*;
import sqlj.runtime.ref.*;

public class ShowSqljHost {

    public static void main(String args[]) {

        String url ="jdbc:microsoft:sqlserver://maestro:1433"; // URL der Datenbank
        String user  = "erika"; // User-Login
        String passwd = "mustermann"; // User-Passwort
        Connection con; // Verbindungs-Objekt

        try { // versuche
            Class.forName("com.microsoft.jdbc.sqlserver.SQLServerDriver");
        }catch(java.lang.ClassNotFoundException e) { // Treiber zu laden
            System.err.println(e.getMessage()); // Fehlermeldung
        }

        try {

            con = DriverManager.getConnection(url,user,passwd); // Verbindung
            int vorgabe=IO.readInt("Bitte Personalnummer: "); // Benutzereingabe
            String name, rang;
            DefaultContext ctx = new DefaultContext(con);
            DefaultContext.setDefaultContext(ctx);
            #sql {select name, rang into :name, :rang
                from Professoren
                where persnr = :vorgabe};

            System.out.print("Die Personalnummer gehoert zu ");
            System.out.println(name + " mit Rang " + rang);

        }catch(SQLException ex) {
            System.err.println("SQLException: " + ex.getMessage());
        }
    }
}
```

Listing 9.cd: Quelltext der Java-Applikation `ShowSqljHost.sqlj`

Listing 9.3d zeigt den Umgang mit einem Iterator in einem SQLJ-Programm. Der im #SQL-Kommando eingeführte Iterator-Typ `MyIter` definiert den Iterator `iter`, mit dem sequentiell die Trefferliste durchlaufen werden kann. Dabei stehen die im Iterator-Typ angemeldeten Spalten `Name` und `Semester` als Accessor-Methoden zur Verfügung.

```
import java.io.*;
import java.sql.*;
import sqlj.runtime.*;
import sqlj.runtime.ref.*;

public class ShowSqljIter {

    public static void main(String args[]) {

        String url = "jdbc:microsoft:sqlserver://maestro:1433"; // URL der Datenbank
        String user = "erika"; // User-Login
        String passwd = "mustermann"; // User-Passwort
        Connection con; // Verbindungs-Objekt

        try { // versuche
            Class.forName("com.microsoft.jdbc.sqlserver.SQLServerDriver");
        } catch (java.lang.ClassNotFoundException e) { // Treiber zu laden
            System.err.println(e.getMessage()); // Fehlermeldung
        }

        try {

            con = DriverManager.getConnection(url,user,passwd); // Verbindung
            int vorgabe=IO.readInt("Bitte Semesterobergrenze: "); // Benutzereingabe
            DefaultContext ctx = new DefaultContext(con);
            DefaultContext.setDefaultContext(ctx);
            #sql iterator MyIter (String Name, int Semester);
            MyIter iter;
            #sql iter= {select name, semester from Studenten
                       where semester < :vorgabe};

            while (iter.next()) { // Iterator durchlaufen
                System.out.print(iter.Name()); // dabei Namen
                System.out.print(" studiert im "); // und Semester
                System.out.print(iter.Semester()); // formatiert ausgeben
                System.out.println(". Semester.");
            }

            iter.close(); // Verbindung schliessen

        } catch (SQLException ex) {
            System.err.println("SQLException: " + ex.getMessage());
        }
    }
}
```

Listing 9.3d: Quelltext der Java-Applikation `ShowSqljIter.sqlj`

Listing 9.4 zeigt den Quelltext einer HTML-Seite mit dem Aufruf eines Java-Applets. Abbildung 9.13 zeigt die Oberfläche des Applets. Listing 9.5 zeigt den Quelltext der im Applet verwendeten Javaklassen. Aus Sicherheitsgründen darf ein Applet nur eine Socket-Verbindung aufbauen zu einem Rechner, von dem es gezogen wurde. Daher müssen Web-Server und Datenbankserver auf demselben Rechner liegen oder dieser Sachverhalt muss durch ein Port-Forwarding simuliert werden. Z.B. leitet im Informatik-Netz der Uni Osnabrück der Rechner `arnold` eine Anfrage an Port 80 an den Web-Server `sol` weiter und eine Anfrage an Port 1433 an den Datenbankserver `maestro`, so dass Applet und Datenbank auf demselben Rechner zu liegen scheinen.

```
<HTML>
<HEAD> <TITLE>JDBC Test-Applet</TITLE></HEAD>
<BODY bgColor=Silver>
  <CENTER>
    <H2> Demo-Applet für JDBC-Datenbankzugriff</H2>
    <H4>nur aufrufbar innerhalb des Informatik-Netzes</H4>
    <APPLET
      codebase = .
      code      =JdbcApplet
      width     =700
      height    =400>
    </APPLET>
  </CENTER>
</BODY>
</HTML>
```

Listing 9.4: Quelltext einer HTML-Seite zum Aufruf eines Applets

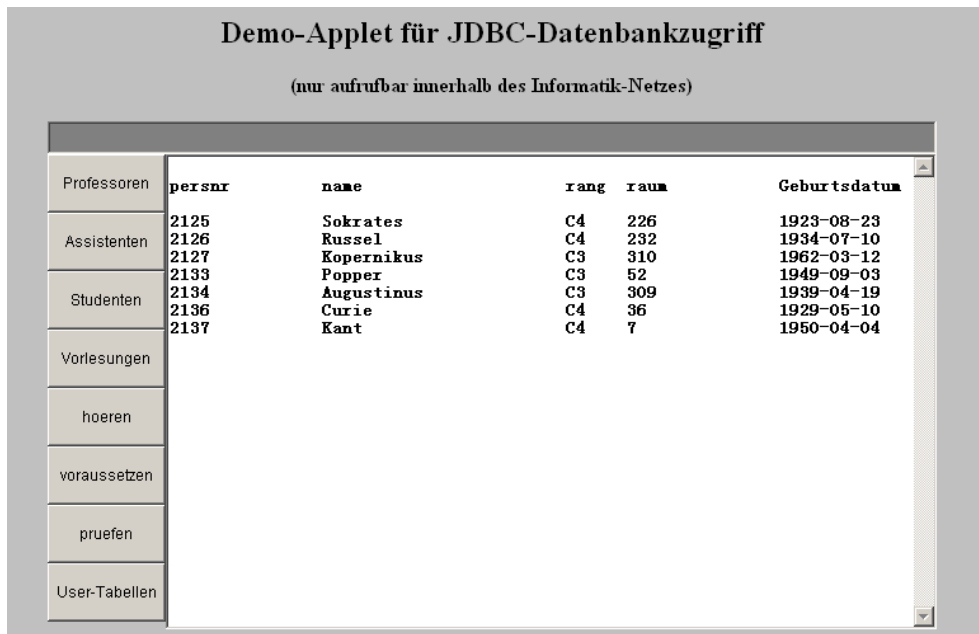


Abbildung 9.13: Java-Applet mit JDBC-Zugriff auf SQL-Server-Datenbank

Listing 9.5: Quelltext der Java-Klassen vom Java-Applet

9.6 Java-Servlets

Der Einsatz von JDBC auf dem Rechner des Clienten als Applet wird von den Sicherheitsbeschränkungen beeinträchtigt, unter denen Applets ausgeführt werden können. Als Alternative bieten sich Java-Servlets an, die auf dem Server des Datenbank-anbieters laufen. Mit einem Formular auf einer HTML-Seite auf dem Web-Server des Anbieters werden die Argumente vom Anwender ermittelt und dann an das in Java formulierte Servlet übergeben. Per JDBC wird die Query an den Datenbankserver gerichtet und das Ergebnis mit Java-Befehlen zu einer dynamischen HTML-Seite aufbereitet.

Listing 9.6 zeigt eine HTML-Seite zum Erfassen der Anwendereingabe, Listing 9.7 zeigt den Quelltext des zugehörigen Java-Servlet, welches vom Rechner `atum` aus mit dem nativen Microsoft-Treiber den MS-SQL-Server kontaktiert. Die erzeugte Ausgabe findet sich in Abbildung 9.14.

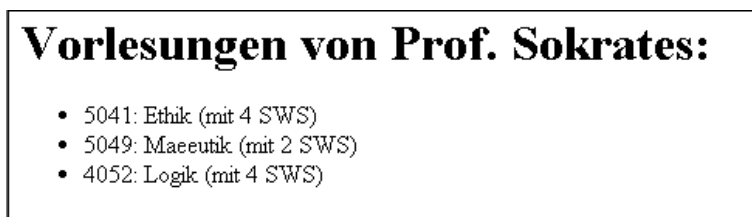


Abbildung 9.14: vom Java-Servlet erzeugte Ausgabe

```
<HTML>
<HEAD><TITLE>Vorlesungsverzeichnis mittels Java-Servlet</TITLE></HEAD>
<BODY>
  <FORM
    METHOD="GET"
    ACTION="http://atum.informatik.uni-osnabrueck.de:8080/examples/Vr1Vrz">
    Bitte geben Sie den Namen eines Professors ein:
    <P><INPUT NAME="professor_name" SIZE="40"><P>
    <INPUT TYPE="submit" VALUE="Vorlesungen ermitteln">
  </FORM>
</BODY>
</HTML>
```

Listing 9.6: Quelltext einer HTML-Seite zur Versorgung des Servlets `Vr1Vrz.java`

```

import javax.servlet.*; import javax.servlet.http.*; import java.io.*;
import java.sql.*; import java.text.*;

public class VrlVrz extends HttpServlet {

    public void doGet (HttpServletRequest request,HttpServletResponse response)
        throws ServletException, IOException {
        Connection con = null;
        Statement stmt = null;
        ResultSet rs = null;
        response.setContentType("Text/html");
        PrintWriter out = response.getWriter();
        try {
            Class.forName("com.microsoft.jdbc.sqlserver.SQLServerDriver");
            con = DriverManager.getConnection(
                "jdbc:microsoft:sqlserver://arnold.informatik.uni-osnabrueck.de:1433",
                "erika","mustermann");

            stmt = con.createStatement();
            String query = "select v.vorlnr, v.titel, v.sws " +
                "from vorlesungen v, professoren p " +
                "where v.gelesenvon = p.persnr and p.name ='" +
                request.getParameter("professor_name") + "'";
            rs = stmt.executeQuery(query);
            out.println("<HTML>");
            out.println("<HEAD><TITLE>Java Servlet</TITLE></HEAD>");
            out.println("<BODY>");
            out.println("<H1>Vorlesungen von Prof. " +
                request.getParameter("professor_name") + ": </H1>");
            out.println("<UL>");
            while (rs.next())
                out.println("<LI>" +
                    rs.getInt("VorlNr") + ": " + rs.getString("Titel") + " (mit " +
                    rs.getInt("SWS") + " SWS)" + "</LI>");
            out.println("</UL>");
            out.println("<BODY></HTML>");
        }
        catch(ClassNotFoundException e) {
            out.println("Datenbanktreiber nicht gefunden: " + e.getMessage());
        }
        catch(SQLException e) {
            out.println("SQLException: " + e.getMessage());
        }
        finally {
            try { if (con != null ) con.close();
                } catch (SQLException ignorieren) {}
        }
    }
}

```

Listing 9.7: Quelltext des Servlets VrlVrz.java

9.7 Java Server Pages

Java-Servlets vermischen oft in verwirrender Weise HTML mit Java, d.h. Layout-Informationen und algorithmische Bestandteile. Abhilfe wird geschaffen durch sogenannte Java Server Pages, in denen eine bessere Trennung zwischen statischem Layout und den benötigten algorithmischen Bestandteilen ermöglicht wird.

Die wesentliche Inhalt einer Java-Server-Page besteht aus HTML-Vokabeln, die nun Methoden einer Java-Klasse aufrufen dürfen (gekennzeichnet durch spitze Klammern und Prozentzeichen).

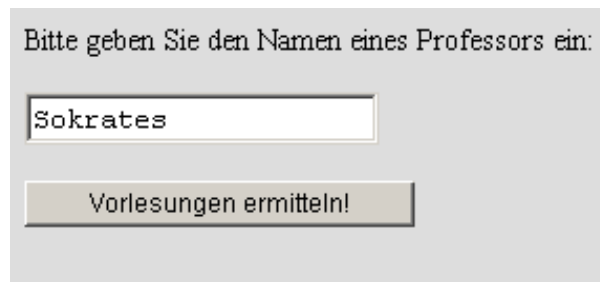
Listing 9.8 zeigt die Java-Server-Page `vorlesungen.jsp`, welche zuständig ist für die Erfassung der Benutzereingabe und die Ausgabe der Datenbankantwort. Die Eingabe wird über ein HTML-Formular ermittelt und über den Feldnamen `profname` an die Java-Bean `VorlesungenBean` übermittelt. Die Ausgabe wird im wesentlichen bestritten durch einen String, der von der Methode `generiereVorlliste()` geliefert wird.

Verwendet wird hierbei der Tomcat-Server von Apache, der die Java-Server-Page in ein Servlet übersetzt und mit der zugehörigen Java-Bean verbindet. Dies geschieht automatisch immer dann, sobald sich der Quelltext der JSP-Seite geändert hat. Die generierten Webseiten werden in Abbildungen 9.15 bzw. 9.16 gezeigt.

```
<%@ page import = "dbs.VorlesungenBean" %>
<jsp:useBean id="prg" class="dbs.VorlesungenBean" scope="request"/>
<jsp:setProperty name="prg" property="*" />

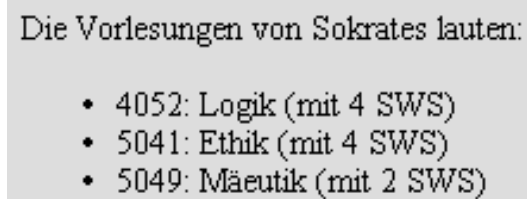
<html>
  <% if (prg.getProfname() == null) { %>
    <head><title>Professoren-Namen erfassen</title></head>
    <body bgcolor="DDDDDD">
      <FORM METHOD="GET">
        Bitte geben Sie den Namen eines Professors ein:<P>
        <INPUT TYPE=TEXT NAME=profname><P>
        <INPUT TYPE=SUBMIT VALUE="Vorlesungen ermitteln!">
      </FORM>
    </body>
  <% } else { %>
    <head><title>Vorlesungen ausgeben</title></head>
    <body bgcolor="DDDDDD">
      Die Vorlesungen von <%= prg.getProfname() %> lauten: <P>
      <%= prg.generiereVorlliste() %>
    </body>
  <% } %>
</html>
```

Listing 9.8: Quelltext der Java-Server-Page `vorlesungen.jsp`



Bitte geben Sie den Namen eines Professors ein:

Abbildung 9.15: von der Java-Server-Page erzeugtes Eingabeformular



Die Vorlesungen von Sokrates lauten:

- 4052: Logik (mit 4 SWS)
- 5041: Ethik (mit 4 SWS)
- 5049: Mäeutik (mit 2 SWS)

Abbildung 9.16: von der Java-Server-Page erzeugte Ausgabe

```
package dbs;

import java.sql.*;

public class VorlesungenBean {

    Connection con;
    String error;
    String profname;

    public VorlesungenBean() {

        String url    = "jdbc:mysql://dbs.informatik.uos.de/UniWeb";
        String user   = "erika";
        String passwd = "mustermann";

        try {
            Class.forName("com.mysql.jdbc.Driver");
            con = DriverManager.getConnection(url, user, passwd);
        }
        catch(Exception e) {
            error = e.toString();
        }
    }

    public void setProfname(String name) {
        profname = name;
    }

    public String getProfname() {
        return profname;
    }

    public String generiereVorlListe() {
        Statement stmt = null;
        ResultSet rs = null;

        if (con == null)
            return "Probleme mit der Datenbank: " + error + "<br />";

        StringBuffer result = new StringBuffer();

        try {
            stmt = con.createStatement();
            String query =
                "select v.VorlNr, v.Titel, v.SWS " +
                "  from Vorlesungen v, Professoren p " +
                " where v.gelesenVon = p.PersNr " +
                "    and p.name ='" + profname + "'";
            rs = stmt.executeQuery(query);
            result.append("<ul>");
            while (rs.next())
                result.append("<li>" + rs.getInt("VorlNr") + ": " + rs.getString("Titel") +
                    " (mit " + rs.getInt("SWS") + " SWS)" + "</li>");
            result.append("</ul>");
        }
        catch(SQLException e) {
```

```
        result.append("Bei der Abfrage fuer " + profname +
            " trat ein Fehler auf: " + e.getMessage() + "<br />");
    }
    return result.toString();
}

public void finalize () {
    try {
        if (con != null)
            con.close();
    } catch (SQLException ignorieren) {}
}
}
```

9.8 Cold Fusion

Cold Fusion ist ein Anwendungsentwicklungssystem der Firma Macromedia für dynamische Web-Seiten. Eine ColdFusion-Anwendung besteht aus einer Sammlung von CFML-Seiten, die in der *Cold Fusion Markup Language* geschrieben sind. Die Syntax von CFML ist an HTML angelehnt und beschreibt die Anwendungslogik. In Abbildung 9.17 ist der grundsätzliche Ablauf dargestellt:

1. Wenn ein Benutzer eine Seite in einer Cold Fusion - Anwendung anfordert, sendet der Web-Browser des Benutzers eine HTTP-Anforderung an den Web-Server.
2. Der Web-Server übergibt die vom Client übermittelten Daten aufgrund der Dateieindung `cfm` an den Cold Fusion Application Server.
3. Cold Fusion liest die Daten vom Client und verarbeitet den auf der Seite verwendeten CFML-Code und führt die damit angeforderte Anwendungslogik aus.
4. Cold Fusion erzeugt dynamisch eine HTML-Seite und gibt sie an den Web-Server zurück.
5. Der Web-Server gibt die Seite an den Web-Browser zurück.

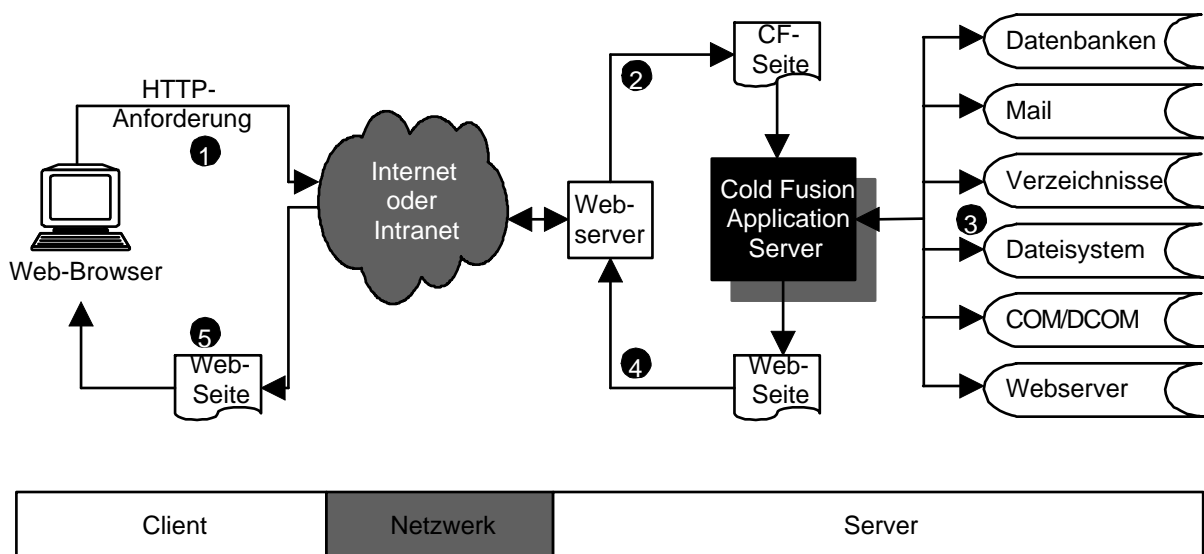


Abbildung 9.17: Arbeitsweise von Coldfusion

Von den zahlreichen Servertechnologien, mit denen Cold Fusion zusammenarbeiten kann, interessiert uns hier nur die Anbindung per ODBC an eine relationale Datenbank.

CF-Vorlesungsverzeichnis: <http://www.uos.de/vpv/sommer2003/index.cfm>

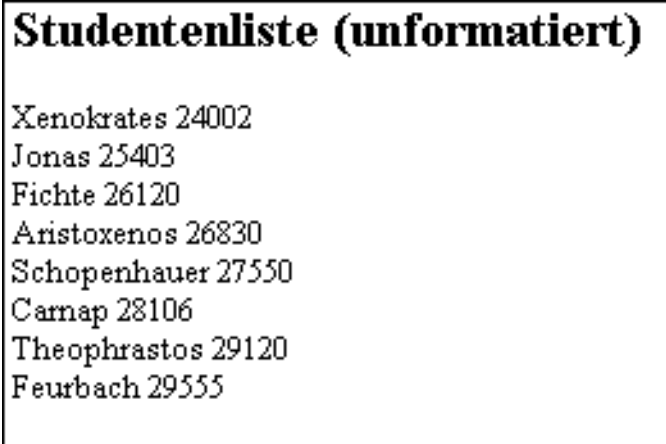
CF-Online-Dokumentation: <http://balrog.informatik.uni-osnabrueck.de/CFDOCS/dochome.ht>

Listing 9.10 zeigt eine unformatierte Ausgabe einer SQL-Query.

```
<CFQUERY NAME      = "Studentenliste"
      USERNAME     = "erika"
      PASSWORD     = "mustermann"
      DATASOURCE   = "dbs"
      DBTYPE      = "ODBC">
  SELECT matrnr, name from studenten
</CFQUERY>

<HTML>
  <HEAD>
    <TITLE> Studentenliste </TITLE>
  </HEAD>
  <BODY>
    <H2> Studentenliste (unformatiert)</H2>
    <CFOUTPUT QUERY="Studentenliste">
      #name# #matrnr# <BR>
    </CFOUTPUT>
  </BODY>
</HTML>
```

Listing 9.10: Quelltext von studliste.cfm



Studentenliste (unformatiert)

Xenokrates 24002
Jonas 25403
Fichte 26120
Aristoxenos 26830
Schopenhauer 27550
Carnap 28106
Theophrastos 29120
Feurbach 29555

Abbildung 9.18: Screenshot von studliste.cfm

Listing 9.11 zeigt die formatierte Ausgabe einer SQL-Query unter Verwendung einer HTML-Tabelle.

```

<CFQUERY NAME      = "Studententabelle"
      USERNAME     = "erika"
      PASSWORD     = "mustermann"
      DATASOURCE   = "dbs"
      DBTYPE       = "ODBC">
  SELECT matrnr, name, gebdatum as geburt from studenten
      WHERE CURRENT_TIMESTAMP > DATEADD(year, 30, gebdatum)
</CFQUERY>

<HTML>
<HEAD>
  <TITLE> Studententabelle </TITLE>
</HEAD>
<BODY>
  <H2> Alle Studenten, die &uuml;lter als 30 Jahre sind,<BR>
      als HTML-Tabelle</H2>
  <TABLE BORDER>
  <TD>Matrikelnummer</TD> <TD> Nachname </TD> <TD>Geburtsdatum </TD></TR>
  <CFOUTPUT QUERY="Studententabelle">
    <TR><TD> #matrnr# </TD> <TD> #name# </TD> <TD> #geburt# </TR>
  </CFOUTPUT>
  </TABLE>
</BODY>
</HTML>

```

Listing 9.11: Quelltext von studtabelle.cfm

**Alle Studenten, die älter als 30 Jahre sind,
als HTML-Tabelle**

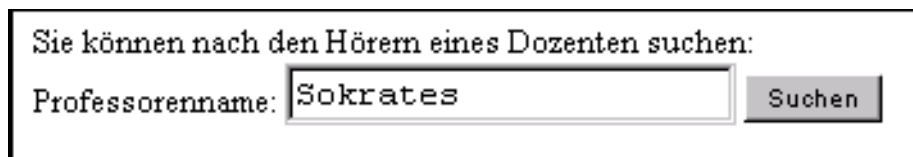
| Matrikelnummer | Nachname | Geburtsdatum |
|----------------|--------------|---------------------|
| 26120 | Fichte | 1967-12-04 00:00:00 |
| 26830 | Aristoxenos | 1943-08-05 00:00:00 |
| 27550 | Schopenhauer | 1954-06-22 00:00:00 |
| 29120 | Theophrastos | 1948-04-19 00:00:00 |
| 29555 | Feuerbach | 1961-02-12 00:00:00 |

Abbildung 9.19: Screenshot von studtabelle.cfm

Listing 9.12. zeigt die Verwendung eines Formulars zum Eingeben eines Dozentennamens, der eine Suche anstößt.

```
<HTML>
  <HEAD>
    <TITLE> Studentenformular </TITLE>
  </HEAD>
  <BODY>
    <FORM ACTION="studsuche.cfm" METHOD="POST">
      Sie können nach den Hörern eines Dozenten suchen: <BR>
      Professorenname: <INPUT TYPE="text" NAME="Profname">
      <INPUT TYPE="Submit" VALUE="Suchen">
    </FORM>
  </BODY>
</HTML>
```

Listing 9.12: Quelltext von studformular.cfm



Sie können nach den Hörern eines Dozenten suchen:

Professorenname:

Abbildung 9.20: Screenshot von studformular.cfm

Der vom Formular `studformular.cfm` erfaßte Name wird übergeben an die Datei `studsuche.cfm`, welche im Listing 9.13 gezeigt wird.

```
<CFQUERY NAME      = "Studentensuche"
      USERNAME     = "erika"
      PASSWORD     = "mustermann"
      DATASOURCE   = "dbs"
      DBTYPE       = "ODBC" >
SELECT distinct s.matrn, s.name
FROM  professoren p, vorlesungen v, hoeren h, studenten s
WHERE s.matrn    = h.matrn
AND   h.vorlnr  = v.vorlnr
AND   v.gelesen von = p.persnr
AND   p.name    = '#FORM.Profname#'
</CFQUERY>

<HTML>
  <HEAD>
    <TITLE> Studenten eines Professors </TITLE>
  </HEAD>
  <BODY>
    <CFOUTPUT>
      Professor #FORM.Profname# hat folgende H&ouml;rer: <P>
    </CFOUTPUT>
    <CFOUTPUT QUERY="Studentensuche">
      #matrn# #name#<BR>
    </CFOUTPUT>
  </BODY>
</HTML>
```

Listing 9.13: Quelltext von `studsuche.cfm`

```
Professor Sokrates hat folgende Hörer:
27550 Schopenhauer
28106 Carnap
29120 Theophrastos
```

Abbildung 9.21: Screenshot von `studsuche.cfm`

Listing 9.14 zeigt eine HTML-Tabelle mit sensitiven Links für die Professoren.

```

<CFQUERY NAME      = "Vorlesungstabelle"
      USERNAME      = "erika"          PASSWORD = "mustermann"
      DATASOURCE    = "dbs"           DBTYPE    = "ODBC">
  SELECT vorlnr, titel, name, persnr FROM vorlesungen, professoren
  where gelesenvon = persnr
</CFQUERY>
<HTML>
  <HEAD> <TITLE> Vorlesungstabelle </TITLE> </HEAD>
  <BODY>
    <H2> Vorlesungen mit sensitiven Links </H2>
    <TABLE BORDER>
      <TR><TD>Vorlesungsnr</TD> <TD> Titel </TD> <TD>Dozent</TD> </TR>
      <CFOUTPUT QUERY="Vorlesungstabelle">
        <TR><TD>#vorlnr#</TD><TD>#Titel#</TD>
          <TD><A HREF="profinfo.cfm?profid=#persnr#">#name#</A></TD></TR>
      </CFOUTPUT>
    </TABLE>
  </BODY>
</HTML>

```

Listing 9.14: Quelltext von vorltabelle.cfm

Vorlesungen mit sensitiven Links

| Vorlesungsnr | Titel | Dozent |
|--------------|----------------------|----------------------------|
| 5001 | Grundzuge | Kant |
| 5041 | Ethik | Sokrates |
| 5043 | Erkenntnistheorie | Russel |
| 5049 | Maeutik | Sokrates |
| 4052 | Logik | Sokrates |
| 5052 | Wissenschaftstheorie | Russel |
| 5216 | Bioethik | Russel |
| 5259 | Der Wiener Kreis | Popper |
| 5022 | Glaube und Wissen | Augustinus |
| 4630 | Die 3 Kritiken | Kant |

Abbildung 9.22: Screenshot von vorltabelle.cfm

Die in Listing 9.14 ermittelte Personalnummer eines Professors wird in Form einer URL an die in Listing 9.15 gezeigte Datei `profinfo.cfm` übergeben und dort in einer Select-Anweisung verwendet. Die gefundenen Angaben zum Dozenten werden anschließend ausgegeben.

```
<CFQUERY NAME      = "Profinfo"
      USERNAME     = "erika"
      PASSWORD     = "mustermann"
      DATASOURCE   = "dbs"
      DBTYPE       = "ODBC">
  SELECT * from Professoren
  WHERE persnr=#URL.profid#
</CFQUERY>

<HTML>
  <HEAD>
    <TITLE> Professoreninfo: </TITLE>
  </HEAD>
  <BODY>
    <H2> Professoren-Info</H2>
    <CFOUTPUT QUERY="Profinfo">
      Professor #name# hat die Personalnummer #persnr#. <BR>
      Er wird nach Rang #rang# besoldet. <BR>
      Sein Dienstzimmer ist Raum #Raum#.
    </CFOUTPUT>
  </TABLE>
</BODY>
</HTML>
```

Listing 9.15: Quelltext von `profinfo.cfm`

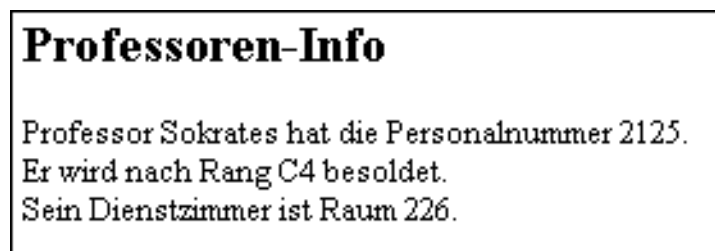


Abbildung 9.23: Screenshot von `profinfo.cfm`

Listing 9.16 zeigt ein Formular zum Einfügen eines Professors.

```

<HTML>
<HEAD> <TITLE> Professoreneinf&uuml;geformular </TITLE> </HEAD>
<BODY>
  <H2> Professoreneinf&uuml;geformular </H2>
  <FORM ACTION="profininsert.cfm" METHOD="POST"> <PRE>
  PersNr:  <INPUT SIZE= 4 TYPE="text" NAME="ProfPersnr">
           <INPUT TYPE="hidden" NAME="ProfPersnr_required"
           VALUE="PersNr erforderlich !">
           <INPUT TYPE="hidden" NAME="ProfPersnr_integer"
           VALUE="Personalnummer muss ganzzahlig sein !">
  Name:    <INPUT SIZE=15 TYPE="text"          NAME="ProfName">
           <INPUT TYPE="hidden" NAME="ProfName_required"
           VALUE="Name erforderlich !">
  Rang:    <SELECT NAME="ProfRang"> <OPTION>C2 <OPTION>C3 <OPTION>C4
           </SELECT>
  Raum:    <INPUT SIZE=4 TYPE="text" NAME="ProfRaum">
           <INPUT TYPE="Submit" VALUE="Einf&uuml;gen">
  </PRE></FORM>
</BODY>
</HTML>

```

Listing 9.16: Quelltext von profinsertform.cfm

Professoreneinfügeformular

PersNr:

Name:

Rang:

Raum:

Abbildung 9.24: Screenshot von profinsertform.cfm

Die von Listing 9.16 übermittelten Daten werden in Listing 9.17 zum Einfügen verwendet. Anschließend erfolgt eine Bestätigung.

```
<CFQUERY NAME      = "Profinsert"
      USERNAME     = "erika"
      PASSWORD     = "mustermann"
      DATASOURCE   = "dbs"
      DBTYPE       = "ODBC">

      INSERT INTO Professoren (PersNr, Name, Rang, Raum)
      VALUES ( '#FORM.ProfPersnr#', '#FORM.ProfName#', '#FORM.ProfRang#',
                '#FORM.ProfRaum#' )
</CFQUERY>

<HTML>
<HEAD>
  <TITLE> Professoreneinf&uuml;gen </TITLE>
</HEAD>
<BODY>
  In die Tabelle der Professoren wurde eingef&uuml;gt: <P>
  <CFOUTPUT>
    <PRE>
      Persnr: #FORM.ProfPersnr#
      Name:   #FORM.ProfName#
      Rang:  #FORM.ProfRang#
      Raum:  #ProfRaum#
    </PRE>
  </CFOUTPUT>
</BODY>
</HTML>
```

Listing 9.17: Quelltext von profinsert.cfm

```
In die Tabelle der Professoren wurde eingef&uuml;gt:

      Persnr: 4711
      Name:   Wunderlich
      Rang:  C2
      Raum:  99
```

Abbildung 9.25: Screenshot von profinsert.cfm

Listing 9.18 zeigt eine Tabelle mit einem Formular zum Löschen eines Professors.

```

<CFQUERY NAME      = "Professorentabelle"
      USERNAME    = "erika"      PASSWORD  = "mustermann"
      DATASOURCE  = "dbs"      DBTYPE    = "ODBC">
  SELECT * from professoren
</CFQUERY>
<HTML>
  <HEAD>
    <TITLE> Professorenformular zum Löschen </TITLE>
  </HEAD>
  <BODY>
    <H2> Professorenformular zum Löschen</H2>
    <TABLE BORDER>
      <TD>PersNr</TD><TD>Name</TD><TD>Rang</TD><TD>Raum</TD></TR>
      <CFOUTPUT QUERY="Professorentabelle">
      <TR><TD>#persnr#</TD><TD>#name#</TD><TD>#rang#</TD><TD>#raum#</TD></TR>
      </CFOUTPUT>
    </TABLE>
    <FORM ACTION="profdelete.cfm" METHOD="POST">
      Personalnummer: <INPUT SIZE=4 TYPE="text" NAME="Persnr">
      <INPUT TYPE="Submit" VALUE="Datensatz löschen">
    </FORM>
  </BODY>
</HTML>

```

Listing 9.18: Quelltext von profdeleteform.cfm

| PersNr | Name | Rang | Raum |
|--------|------------|------|------|
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 |
| 2126 | Russel | C4 | 227 |
| 2137 | Kant | C4 | 7 |
| 4711 | Wunderlich | C2 | 99 |

Personalnummer:

Abbildung 9.26: Screenshot von profdeleteform.cfm

Die in Listing 9.18 ermittelte Personalnummer eines Professors wird in Listing 9.19 zum Löschen verwendet. Anschließend erfolgt eine Bestätigung.

```
<CFQUERY NAME      = "Profdelete"
      USERNAME     = "erika"
      PASSWORD     = "mustermann"
      DATASOURCE   = "dbs"
      DBTYPE       = "ODBC">
  delete from professoren
  where persnr = #FORM.persnr#
</CFQUERY>

<HTML>
  <HEAD> <TITLE> Professoren l&ouml;schen </TITLE> </HEAD>
  <BODY>
    <CFOUTPUT>
      Der Professor mit Personalnummer #FORM.persnr# wurde gel&ouml;scht
    </CFOUTPUT>
  </BODY>
</HTML>
```

Listing 9.19: Quelltext von profdelete.cfm

Der Professor mit Personalnummer 4711 wurde gelöscht

Abbildung 9.27: Screenshot von profdelete.cfm

Die in Listing 9.20 gefundenen Treffer können im Listing 9.21 durchlaufen werden und anschließend editiert werden.

```

<!-- erstellt von Ralf Kunze --->

<CFQUERY NAME      = "ProfAbfr"
           USERNAME  = "erika"
           PASSWORD  = "mustermann"
           DATASOURCE = "dbs"
           DBTYPE    = "ODBC">

    <!-- Where 0=0, um in jedem Fall eine
         korrekte Abfrage zu erhalten --->
    SELECT * FROM professoren where 0 = 0

    <!-- Weitere Statements gegebenenfalls anhaengen --->
<CFIF #ProfPersnr# is NOT "">
AND PersNr = #ProfPersnr#
</CFIF>

<CFIF #ProfName# is not "">
AND Name LIKE '#ProfName#'
</CFIF>

<CFIF #ProfRang# is not "">
AND Rang = '#ProfRang#'
</CFIF>

<CFIF #ProfRaum# is not "">
AND Raum = '#ProfRaum#'
</CFIF>

</CFQUERY>

<HTML>

  <HEAD>
    <TITLE> Professorenupdate </TITLE>
  </HEAD>

  <BODY>

    <!-- Falls keine Ergebnisse erzielt wurden, Fehlermeldung geben
         und den Rest der Seite mit CFABORT unterdruecken --->
    <CFIF #ProfAbfr.Recordcount# IS "0">
      Ihre Anfrage lieferte leider keine passenden Records.<BR>
      <A HREF="profupdateformular.cfm">New Search</A>
    </CFIF>

    Bitte geben sie die gewuenschte Aenderung ein
    bzw. waehlen sie den entsprechenden Datensatz aus:

    <!-- Ausgabe der Ergebnisse. Bei Record #i# starten
         und nur ein Record liefern --->
    <CFOUTPUT QUERY="ProfAbfr" STARTROW="#i#" MAXROWS="1">
    <FORM ACTION="update.cfm" METHOD="POST">

```

```

<!-- Ausgabe der Werte in ein Formular zum aendern --->
<TABLE>
  <TR><TD>Personalnummer: </TD>
    <TD><INPUT TYPE="text" SIZE=4 NAME="ProfPersnr" VALUE="#Persnr#">
      <INPUT TYPE="HIDDEN" NAME="ProfPersnr_integer"
        VALUE="Personalnummer muss ganzzahlig sein"></TD></TR>
  <TR><TD>Nachname:</TD>
    <TD><INPUT SIZE=15 TYPE="text" NAME="ProfName"
      VALUE="#Name#"></TD></TR>
  <TR><TD>Gehaltsklasse:</TD>
    <TD><SELECT NAME="ProfRang">
      <CFIF #Rang# IS "C2"><OPTION SELECTED><CFELSE><OPTION></CFIF>C2
      <CFIF #Rang# IS "C3"><OPTION SELECTED><CFELSE><OPTION></CFIF>C3
      <CFIF #Rang# IS "C4"><OPTION SELECTED><CFELSE><OPTION></CFIF>C4
    </SELECT></TD></TR>
  <TR><TD>Raum:</TD>
    <TD><INPUT SIZE=4 TYPE="text" NAME="ProfRaum" VALUE="#Raum#">
      <INPUT TYPE="HIDDEN" NAME="ProfRaum_integer"
        VALUE="Raumnummer muss ganzzahlige sein"></TD></TR>
  <TR><TD><INPUT TYPE="Submit" VALUE="Update"></TD>
    <TD><INPUT TYPE="RESET"></TD></TR>
</TABLE>
</FORM>
</CFOUTPUT>

<!-- Den Zaehler setzen und entsprechend des
  Wertes weiteren Link anbieten oder nicht --->
<CFIF #i# IS "1">
  <IMG SRC="Grayleft.gif" ALT="Back">
<CFELSE>
  <CFSET iback=#i#-1>
  <CFOUTPUT>
    <A HREF="profupdate.cfm?i=#iback#&ProfPersnr=#ProfPersnr#
      &Profname=#Profname#&ProfRang=#ProfRang#&ProfRaum=#ProfRaum#">
    <IMG SRC="redleft.gif" BORDER="0" ALT="back"></A>
  </CFOUTPUT>
</CFIF>
<A HREF="profupdateformular.cfm">New Search</A>
<CFIF #i# LESS THAN #ProfAbfr.RecordCount#>
  <CFSET inext=#i#+1>
  <CFOUTPUT>
    <A HREF="profupdate.cfm?i=#inext#&ProfPersnr=#ProfPersnr#
      &Profname=#Profname#&ProfRang=#ProfRang#&ProfRaum=#ProfRaum#">
    <IMG SRC="redright.gif" ALIGN="Next Entry" BORDER="0"></A>
  </CFOUTPUT>
<CFELSE>
  <IMG SRC="grayright.gif" ALT="Next">
</CFIF>

<!-- Ausgabe welcher Datensatz gezeigt wird
  und wieviele insgesamt vorhanden sind --->
<CFOUTPUT>Eintrag #i# von #ProfAbfr.RecordCount#</CFOUTPUT><BR>
</BODY>
</HTML>

```

Listing 9.21: Quelltext von profupdate.cfm

Bitte geben sie die gewünschte Änderung ein bzw. wählen sie den entsprechenden Datensatz aus:

Personalnummer:

Nachname:

Gehaltsklasse:

Raum:

[◀ New Search ▶](#) Eintrag 1 von 2

Abbildung 9.29: Screenshot von profupdate.cfm

Listing 9.22 zeigt die Durchführung der Update-Operation auf dem in Listing 9.21 ausgewählten Professorendatensatz.

```
<CFQUERY NAME      = "Profupdate"
      USERNAME     = "erika"
      PASSWORD     = "mustermann"
      DATASOURCE   = "dbs"
      DBTYPE       = "ODBC">

UPDATE professoren set
name = '#FORM.ProfName#' ,
rang = '#FORM.ProfRang#' ,
raum = '#FORM.ProfRaum#'
where persnr = #FORM.ProfPersnr#
</CFQUERY>

<HTML>
<HEAD>
  <TITLE> Professorenupdate </TITLE>
</HEAD>
<BODY>
  In der Tabelle der Professoren wurde ein Datensatz modifiziert:
  <CFOUTPUT>
    <PRE>
      Persnr: #FORM.ProfPersnr#
      Name:   #FORM.ProfName#
      Rang:   #FORM.ProfRang#
      Raum:   #FORM.ProfRaum#
    </PRE>
  </CFOUTPUT>
  <A HREF="profupdateformular.cfm"> New Search </A>
</BODY>
</HTML>
```

Listing 9.22: Quelltext von update.cfm

```
In der Tabelle der Professoren wurde ein Datensatz modifiziert:

      Persnr: 2127
      Name:   Kopernikus
      Rang:   C3
      Raum:   318

New Search
```

Abbildung 9.30: Screenshot von update.cfm

9.9 PHP

Eine Alternative zur ColdFusion-Technik stellt PHP dar, eine Server-basierte Skriptsprache, die in HTML-Seiten eingebettet werden kann. Der Name entstand ursprünglich aus der Abkürzung *Personal Home Page*. Eine HTML-Seite mit PHP-Aufrufen hat typischerweise die Endung `.php`. Neben der Auswertung der HTML-Tags übernimmt ein entsprechend aufgerüsteter Web-Server die Interpretation der PHP-Skripte, welche für die Generierung dynamischer, nicht notwendigerweise datenbankgetriebener Inhalte sorgen.

Auf der Web-Seite <http://www.php.net> sind ausführliche Hinweise zu finden. Eine nützliche Seite ist <http://www.selfphp.info>, dort finden sich auch zahlreiche Funktionen der GD-Library, mit der dynamische Grafiken erzeugt werden können:

http://www.selfphp.info/funktionsreferenz/image_funktionen.

Unter Verwendung der GD-Library erzeugen die Routinen der JpGraph-Library komplexere Bilder, wie z.B. Tortengrafiken (<http://www.aditus.nu/jpgraph/index.php>).

Wir beschränken uns hier auf die Angabe von einigen wenigen Beispielen, in denen gegen den *Microsoft SQL Server* eine SQL-Query abgesetzt und das Ergebnis tabellarisch bzw. graphisch angezeigt wird.

Eine Möglichkeit zur Übergabe der Query an die PHP-Seite besteht darin, die Query bei Aufruf der PHP-Seite an die URL der PHP-Seite zu hängen:

```
antwort.html?frage=select+*+from+professoren
```

Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Query durch ein Formular in einer HTML-Seite zu ermitteln und von dort aus die PHP-Seite aufzurufen. PHP legt dann automatisch eine Variable mit den Namen der in dem Formular verwendeten Feldern an.

Listing 9.23 zeigt eine HTML-Seite mit einem Formular zur Erfassung einer SQL-Query. Die vom Benutzer eingegebene Frage wird übergeben an ein PHP-Skript, welches im Listing 9.24 gezeigt wird. Das Ergebnis ist in Abbildung 9.31 zu sehen.

Listing 9.25 zeigt die Template-Datei `assistenten.ihtml`, welche das Formatierungsgerüst enthält für das PHP-Skript `assistenten.php`, gezeigt in Listing 9.26. Das Ergebnis ist in Abbildung 9.32 zu sehen. Vorteil dieser Zweiteilung von Form und Funktionalität ist die Tatsache, dass die Template-Datei in einem beliebigen HTML-Editor gestaltet werden kann.

Listing 9.27 zeigt eine HTML-Seite, welche per PHP die Namen und Semesterzahlen der Studenten ermittelt und die Dauer ihres Studiums grafisch durch einen Balken visualisiert. Hierzu wird in dem PHP-Skript `balken.php` (Listing 9.28) mithilfe der GD-Library ein blaues Rechteck gezeichnet mit einer Breite gemäß dem übergebenen Parameter `$zahl`. Das Ergebnis ist in Abbildung 9.33 zu sehen.

Listing 9.29 zeigt ein PHP-Skript, welches die Lehrbelastung der Professoren ermittelt und die relativen Anteile durch eine Tortengrafik visualisiert. Hierzu werden die ermittelten Namen und Zahlenwerte an das PHP-Skript `torte.php` (Listing 9.30) übergeben und dort mithilfe der `jpgraph`-Library visualisiert. Das Ergebnis ist in Abbildung 9.34 zu sehen.

```

<html>
  <head>
    <title>Frage</title>
  </head>
  <body>
    <form method="post" action="./antwort.php">
      Bitte geben Sie eine SQL-Query ein:
      <p><input name="frage" size="70"></p>
      <input type="submit" value="Query absetzen">
    </form>
  </body>
</html>

```

Listing 9.23: Quelltext der HTML-Seite frage.html mit Formular zur Ermittlung einer Query

```

<html>
  <head>
    <title>Antwort auf DB-Query</title>
  </head>
  <body bgcolor="#dddddd">
<?php
require_once 'MDB2.php';

// Datenbankverbindung aufbauen
$dns = array(
  'phptype' => 'mysql',
  'username' => 'erika',
  'password' => 'mustermann',
  'hostspec' => 'dbs',
  'database' => 'UniWeb',
);

$con =& MDB2::connect($dns);
if (PEAR::isError($con))
  die($con->getMessage());

// uebergene Abfrage ausfuehren
$result = $con->query($_REQUEST['frage']);
if (PEAR::isError($result))
  die($result->getMessage());

// Spaltenanzahl und Beschriftung ermitteln
$s = $result->numCols();
$header = $result->getColumnNames();

// Header der Tabelle ausgeben
echo "<table border=\"2\" cellpadding=\"3\">\n";
echo "<tr>";
for ($i = 0; $i < $s; $i++) {
  echo "<td>".ucfirst(key($header))."</td>";
  next($header);
}
echo "</tr>\n";

```



```
// Datensätze ausgeben
while($row = $result->fetchRow()) {
    echo "<tr>";
    for($i = 0; $i < $s; $i++) {
        echo "<td>$row[$i]</td>";
    }
    echo "</tr>\n";
}

echo "</table>\n";

// DB-Verbindung beenden
$result->free();
$con->disconnect();

?>
</body>
</html>
```

| Student | Titel |
|--------------|-------------------|
| Jonas | Glaube und Wissen |
| Fichte | Grundzüge |
| Schopenhauer | Logik |
| Schopenhauer | Die 3 Kritiken |
| Schopenhauer | Grundzüge |
| Schopenhauer | Ethik |
| Carnap | Logik |
| Carnap | Bioethik |
| Carnap | Der Wiener Kreis |
| Theophrastos | Ethik |
| Theophrastos | Mäeutik |
| Feuerbach | Grundzüge |
| Feuerbach | Glaube und Wissen |

Abbildung 9.31: Ergebnis einer SQL-Query, ermittelt durch antwort.php

| Name | Fachgebiet | Betreuer |
|--------------|--------------------|------------|
| Platon | Ideenlehre | Sokrates |
| Aristoteles | Syllogistik | Sokrates |
| Wittgenstein | Sprachtheorie | Russel |
| Rhetikus | Planetenbewegung | Kopernikus |
| Newton | Keplersche Gesetze | Kopernikus |
| Spinoza | Gott und Natur | Augustinus |

Abbildung 9.32: Ergebnis einer SQL-Query, ermittelt durch assistenten.php

```

<html>
  <head>
    <title>Auflistung der Assistenten</title>
  </head>
  <body bgcolor="#abcdef">
    <table border="1" cellspacing="4">
      <tr>
        <th>Name</th><th>Fachgebiet</th><th>Betreuer</th>
      </tr>
      <!-- BEGIN row -->
      <tr>
        <td>{name}</td><td>{fachgebiet}</td><td>{betreuer}</td>
      </tr>
      <!-- END row -->
    </table>
  </body>
</html>

```

Listing 9.25: Quelltext der Template-Datei assistenten.ihhtml mit Formatanweisungen, genutzt vom PHP-Script assistenten.php

```

<?php
require_once 'MDB2.php';
require_once 'HTML/Template/PHPLIB.php';

// Verbindungsinformationen in einem Array sammeln
$dns = array(
  "phptype" => "mysql",
  "username" => "erika",
  "password" => "mustermann",
  "hostspec" => "dbs",
  "database" => "UniWeb",
);

// Herstellen der Verbindung
// und ggf. auf einen Fehler reagieren
$con =& MDB2::connect($dns);
if (PEAR::isError($con))
  die($con->getMessage());

// Erstellen des SQL-Statements und ausfuehren
// gegen die Datenbank
$sql = "SELECT a.name AS Name,
        a.fachgebiet AS Fachgebiet,
        p.name AS Betreuer
        FROM Assistenten a, Professoren p
        WHERE a.boss = p.persnr";
$result = $con->query($sql);
if (PEAR::isError($result))
  die($result->getMessage());

// Laden des HTML-Templates
$template = new HTML_Template_PHPLIB();

```

```
$template->setFile("assistenten", "assistenten.ihtml");
$template->setBlock("assistenten", "row", "rows");

// alle Datensätze der Query durchlaufen
while($row = $result->fetchRow(MDB2_FETCHMODE_ASSOC)) {

    // alle Felder eines Tupels dem Template uebergeben
    foreach($row as $field => $value) {
        $template->setVar($field, $value);
    }

    // Einfuegen der einzelnen Entries in eine Zeile
    $template->parse("rows", "row", true);
}

// Template ausgeben
$template->pParse("output", "assistenten");

// DB-Verbindung beenden
$result->free();
$con->disconnect();
?>
```

```
<?php
require_once 'MDB2.php';
require_once 'HTML/Template/PHPLIB.php';

// Datenbankverbindung aufbauen
$dns = array(
    'phptype' => 'mysql',
    'username' => 'erika',
    'password' => 'mustermann',
    'hostspec' => 'dbs',
    'database' => 'UniWeb',
);

$con =& MDB2::connect($dns);
if (PEAR::isError($con))
    die($con->getMessage());

// Hole Name und Semester aller Studenten
$sql = "SELECT name, semester FROM Studenten ORDER BY name";
$result = $con->query($sql);
if (PEAR::isError($result))
    die($result->getMessage());

// Laden des HTML-Templates
$template = new HTML_Template_PHPLIB();
$template->setFile("semester", "semester.ihtml");
$template->setBlock("semester", "row", "rows");

// Balkengrafik pro Eintrag erzeugen
while($row = $result->fetchRow()) {
    $template->setVar("name", $row[0]);
    $template->setVar("grafik", "<img src=\"../balken.php?zahl=$row[1]\">");

    // Zeile ins Template einfügen
    $template->parse("rows", "row", true);
}
// Template ausgeben
$template->pParse("output", "semester");

// DB-Verbindung beenden
$result->free();
$con->disconnect();
?>
```

Listing 9.27: Quelltext des PHP-Scripts *semester.php* zur Berechnung von dynamischen Grafiken

```
<?php
$breite = $_GET['zahl'] * 10;
$hoehe = 30;
$bild = imagecreate($breite, $hoehe);
$farbe_balken = imagecolorallocate($bild, 0, 0, 255);
$farbe_schrift = imagecolorallocate($bild, 255, 255, 255);
ImageString($bild, 3, $breite - 16, 8, $_GET['zahl'], $farbe_schrift);
header("Content-Type: image/png");
imagepng($bild);
?>
```

Listing 9.28: Quelltext des PHP-Script balken.php zur Berechnung eines dynamischen Balkens

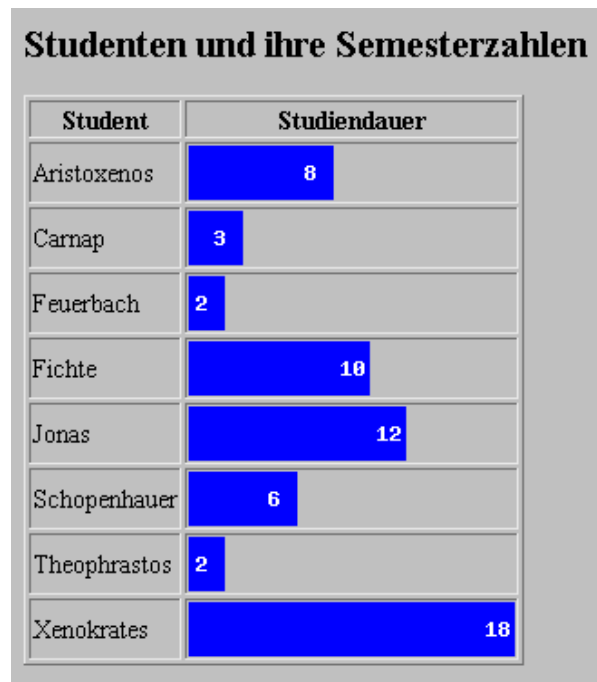


Abbildung 9.33: Dynamische Grafiken erzeugt von balken.php, aufgerufen von semester.php

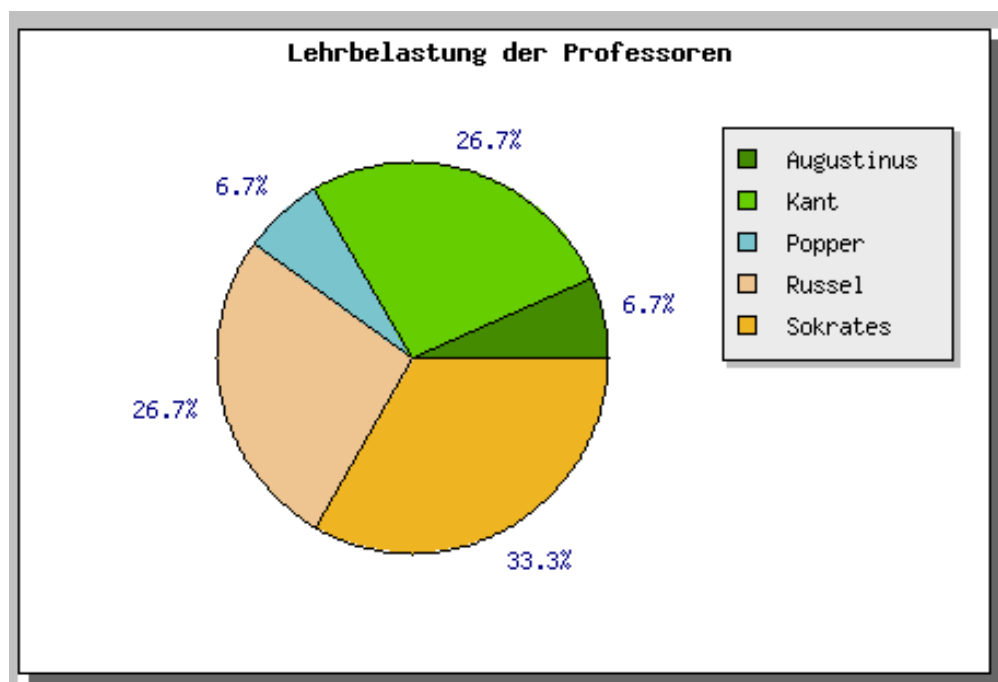


Abbildung 9.34: Dynamische Grafiken, erzeugt von torte.php, aufgerufen von lehre.php

```

<HTML>
<HEAD> <TITLE>Lehrbelastung der Professoren</TITLE> </HEAD>
<BODY BGCOLOR=SILVER>
<?php
                                // Verbindung herstellen
    $con=mssql_connect("arnold", // auf Server arnold
                        "erika", // als user erika
                        "mustermann"); // mit Passwort mustermann

    mssql_select_db("uni",$con); // Datenbank waehlen

    $frage = "select name, sum(sws)
              from vorlesungen, professoren
              where persnr=gelesen von group by name";

    $rs = mssql_query($frage, $con); // Resultset bilden
    $i=0;
    while ($tupel = mssql_fetch_array($rs)) { // pro Treffertupel
        $parameter .= "namen[$i]=".$tupel[0]."&"; // Namen konkatenieren
        $parameter .= "daten[$i]=".$tupel[1]."&"; // SWS konkatenieren
        $i++;
    }

    echo "<IMG SRC=torte.php?$parameter>"; // Torte malen

    mssql_free_result($rs); // Ressource freigeben
    mssql_close($con); // Verbind. schliessen
?>
</BODY>
</HTML>

```

Listing 9.29: Quelltext des PHP-Scripts *lehre.php* zur Ermittlung der Lehrbelastung

```

<?php
require_once './jpgraph-2.3.4/src/jpgraph.php';
require_once './jpgraph-2.3.4/src/jpgraph_pie.php';
require_once 'MDB2.php';

// Verbindungsinformationen in einem Array sammeln
$dsn = array(
    "phptype" => "mysql",
    "username" => "erika",
    "password" => "mustermann",
    "hostspec" => "dbs",
    "database" => "UniWeb",
);

// Herstellen der Verbindung
// und ggf. auf einen Fehler reagieren
$con =& MDB2::connect($dsn);
if (PEAR::isError($con))
    die($con->getMessage());

```



```
// Erstellen des SQL-Statements und ausfuehren
// gegen die Datenbank
$sql = "SELECT name, SUM(sws)
        FROM Vorlesungen, Professoren
        WHERE persnr = gelesenvon
        GROUP BY name";
$result = $con->query($sql);
if (PEAR::isError($result))
    die($result->getMessage());

// alle Datensaeetze in Arrays speichern
$i = 0;
while($row = $result->fetchRow()) {
    $namen[$i] = $row[0];
    $daten[$i] = $row[1];
    $i++;
}

// DB-Verbindung beenden
$result->free();
$con->disconnect();

// Graph aus Daten erzeugen
$graph = new PieGraph(600, 400, "auto");
$graph->SetShadow();

$graph->title->Set("Lehrbelastung der Professoren");
$graph->title->SetFont(FF_FONT1, FS_BOLD);

$pl = new PiePlot($daten);
$pl->SetLegends($namen);
$pl->SetCenter(0.4);

$graph->Add($pl);
$graph->Stroke();
?>
```


Kapitel 10

XML

Die *eXtensible Markup Language (XML)* ist ein vom World-Wide-Web-Konsortium vorgeschlagener Dokumentenverarbeitungsstandard, veröffentlicht unter <http://www.w3c.org/XML>. XML ermöglicht dem Benutzer die Strukturierung seiner Daten mit Hilfe von selbstgewählten *Tags*:

```
<Titel>Selber Atmen</Titel>
<Autor>Willi Wacker</Autor>
```

Mit Hilfe der *eXtensible Stylesheet Language (XSL)* (<http://www.w3c.org/style/xsl>) kann für die einzelnen Tags eine individuelle Darstellungsweise festgelegt werden, welche auf die zugehörigen Daten angewendet wird.

Auf diese Weise wird eine Trennung zwischen Struktur, Inhalt und Layout erreicht. Typischerweise verteilen sich daher die Angaben zu den Benutzerdaten, z.B. einen Zeitschriftenartikel, auf drei Dateien:

- `artikel.dtd`: *Document Type Definition* mit der Strukturbeschreibung
- `artikel.xml`: *XML-Datei* mit den durch *Tags* markierten Daten
- `artikel.xsl`: *Stylesheet* mit Angaben zum Rendern des Layout

Ein XML-Parser kann zu einer vorliegenden XML-Datei ohne Angabe der zugehörigen DTD überprüfen, ob die XML-Datei *wohlgeformt* ist, d.h. ob die grundsätzlichen Syntaxregeln eingehalten werden. Bei Vorlage der DTD kann der XML-Parser zusätzlich überprüfen, ob die Datei *gültig* ist, d.h. ob ihr Inhalt der Strukturbeschreibung gehorcht. Ein XSLT-Prozessor (*eXtensible Stylesheet Language Transformation*) rendert das Layout für die Daten der XML-Datei unter Anwendung des Stylesheets. Anstelle einer DTD kann die Struktur auch durch ein *XML Schema* beschrieben werden, welches selbst wiederum eine wohlgeformte XML-Datei darstellt (<http://www.w3.org/XML/Schema>).

Die Beispiele der folgenden Seiten lassen sich im Microsoft Internet Explorer ausführen.

<http://xml.apache.org/xerces-j/index.html> bietet den XML-Parser Apache Xerces zum Download.

<http://www.xmlme.com/Validator.aspx> bietet Online-Validierung von XML-Dokumenten.

<http://www.xmlme.com/XsltTransformer.aspx?mid> bietet Online-XSLT-Transformation.

10.1 Strukturierte Texte

Listing 10.1 zeigt die Document Type Definition für die typische Struktur eines Zeitschriftenartikels, Listing 10.4 zeigt als Alternative ein XML-Schema. Listing 10.2 zeigt den Inhalt des Dokuments, welches diese Strukturvorgaben erfüllt. Abbildung 10.1 zeigt die von Listing 10.3 definierte Ausgabe.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
<!ELEMENT artikel      (Kopf,Rumpf)>
<!ELEMENT Kopf        (Titel,Autor)>
<!ELEMENT Rumpf       (Kapitel*)>
<!ELEMENT Kapitel     (Titel, Absatz*)>
<!ELEMENT Titel       (#PCDATA)>
<!ELEMENT Autor       (#PCDATA)>
<!ELEMENT Absatz      (#PCDATA|betont)*>
<!ELEMENT betont      (#PCDATA)>
```

Listing 10.1: artikel.dtd

```
<?xml version='1.0' encoding="ISO-8859-1" ?>
<!DOCTYPE artikel SYSTEM "artikel.dtd" >
<artikel>
  <Kopf>
    <Titel>Selber Atmen</Titel>
    <Autor>Willi Wacker</Autor>
  </Kopf>
  <Rumpf>
    <Kapitel>
      <Titel>Einleitung</Titel>
      <Absatz>
        In einer Reihe von aufsehenerregenden Experimenten
        wurden krzlich am <betont>Max-Planck-Institut</betont>
        die Vorteile des selbstndigen Denkens herausgearbeitet.
      </Absatz>
      <Absatz>
        Unsere Forschungen lassen erwarten, da analoge
        Aussagen auch fr den Atmungsvorgang gelten knnten.
      </Absatz>
    </Kapitel>
    <Kapitel>
      <Titel>Ausblick</Titel>
      <Absatz>
        Es gibt viel zu tun; warten wir es ab !
      </Absatz>
    </Kapitel>
  </Rumpf>
</artikel>
```

Listing 10.2: artikel.xml

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<xsl:stylesheet version="1.0" xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform">

  <xsl:template match="artikel">
    <html>
      <head><title><xsl:value-of select="Titel"/></title></head>
      <body><xsl:apply-templates/></body>
    </html>
  </xsl:template>

  <xsl:template match="artikel/Kopf/Titel">
    <center><h1><xsl:apply-templates/></h1></center>
  </xsl:template>

  <xsl:template match="artikel/Kopf/Autor">
    <center><h4><xsl:apply-templates/></h4></center>
  </xsl:template>

  <xsl:template match="artikel/Rumpf/Kapitel/Titel">
    <h3><xsl:apply-templates/></h3>
  </xsl:template>

  <xsl:template match="Absatz">
    <p><xsl:apply-templates/></p>
  </xsl:template>

  <xsl:template match="betont">
    <I><xsl:apply-templates/></I>
  </xsl:template>

</xsl:stylesheet>
```

Listing 10.3: artikel.xsl

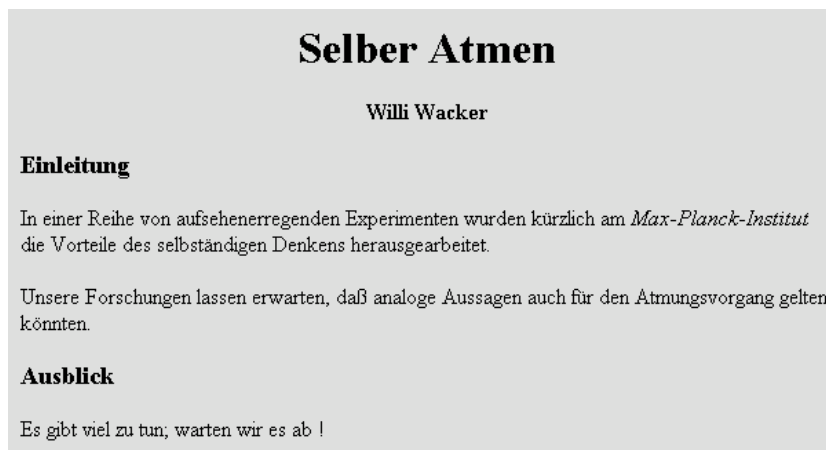


Abbildung 10.1: Ausgabe von artikel.xml mit Hilfe von artikel.xsl

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  <xs:element name="artikel">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="Kopf"/>
        <xs:element ref="Rumpf"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="Kopf">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="Titel"/>
        <xs:element ref="Autor"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="Titel" type="xs:string"/>
  <xs:element name="Autor" type="xs:string"/>
  <xs:element name="Rumpf">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="Kapitel" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="Kapitel">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="Titel"/>
        <xs:element ref="Absatz" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="Absatz">
    <xs:complexType mixed="true">
      <xs:choice minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
        <xs:element ref="betont"/>
      </xs:choice>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="betont" type="xs:string"/>
</xs:schema>

```

Listing 10.4: Strukturbeschreibung für artikel.xml durch ein XML-Schema

10.2 Strukturierte Daten

Listing 10.5 zeigt die Document Type Definition für einen Entity-Typ *personen*, bestehend aus den Feldern *Vorname*, *Nachname* und *Photo* und den Attributen *PersNr*, *Chef* und *Geschlecht*. Das Feld *Photo* ist leer und besteht nur aus einem Attribut *src* zur Angabe einer Bilddatei. Das Attribut *PersNr* vom Typ ID muß eindeutig sein, das Attribut *Chef* bezieht sich auf ein ID-Attribut. Listing 10.6 zeigt einige zur DTD passende Daten.

```
<?xml version='1.0' encoding="ISO-8859-1" ?>
<!ELEMENT personen          (person*)>
<!ELEMENT person           (vorname,nachname,photo)>
<!ATTLIST person   persnr   ID #REQUIRED>
<!ATTLIST person   chef    IDREF #IMPLIED>
<!ATTLIST person   geschlecht (maennlich|weiblich) #REQUIRED>
<!ELEMENT vorname   (#PCDATA)>
<!ELEMENT nachname  (#PCDATA)>
<!ELEMENT photo     EMPTY>
<!ATTLIST photo     src    CDATA #REQUIRED>
```

Listing 10.5: *personen.dtd*

```
<?xml version="1.0"?>

<personen>

  <person persnr="P4711" chef="P4712" geschlecht="weiblich">
    <vorname>Susi</vorname>
    <nachname>Sorglos</nachname>
    <photo src="erika.gif"/>
  </person>

  <person persnr="P4712" geschlecht="maennlich">
    <vorname>Willi</vorname>
    <nachname>Wacker</nachname>
    <photo src="willi.gif"/>
  </person>

</personen>
```

Listing 10.6: *personen.xml*

Listing 10.7 zeigt die zur DTD von Listing 10.5 gleichwertige Schema-Definition; Listing 10.8 zeigt eine XML-Datei, welche auf dieses Schema Bezug nimmt.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xsd:schema xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  <xsd:element name="personen" type="PersonenTyp"/>
  <xsd:complexType name="PersonenTyp">
    <xsd:sequence>
      <xsd:element name="person" type="PersonTyp" minOccurs="0"
        maxOccurs="unbounded"/>
    </xsd:sequence>
  </xsd:complexType>
  <xsd:complexType name="PersonTyp">
    <xsd:sequence>
      <xsd:element name="vorname" type="xsd:string"/>
      <xsd:element name="nachname" type="xsd:string"/>
      <xsd:element name="photo" type="PhotoTyp"/>
    </xsd:sequence>
    <xsd:attribute name="persnr" type="xsd:ID"/>
    <xsd:attribute name="chef" type="xsd:IDREF"/>
    <xsd:attribute name="geschlecht" use="required">
      <xsd:simpleType>
        <xsd:restriction base="xsd:NMTOKEN">
          <xsd:enumeration value="maennlich"/>
          <xsd:enumeration value="weiblich"/>
        </xsd:restriction>
      </xsd:simpleType>
    </xsd:attribute>
  </xsd:complexType>
  <xsd:complexType name="PhotoTyp">
    <xsd:attribute name="src" type="xsd:string"/>
  </xsd:complexType>
</xsd:schema>
```

Listing 10.7: personen.xsd

```
<?xml version="1.0"?>
<personen xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://www-lehre.inf.uos.de/~dbs/2005/XML/personen.xsd">
  <person persnr="P4711" chef="P4712" geschlecht="weiblich">
    <vorname>Susi</vorname>
    <nachname>Sorglos</nachname>
    <photo src="erika.gif"/>
  </person>
  <person persnr="P4712" geschlecht="maennlich">
    <vorname>Willi</vorname>
    <nachname>Wacker</nachname>
    <photo src="willi.gif"/>
  </person>
</personen>
```

Listing 10.8: personen-mit-xsd-verweis.xml

Listing 10.9 zeigt eine Document Type Definition für den Entity-Typ *Dozenten*, der den Entity-Typ *Professoren* erweitert um eine variable Anzahl von Feldern mit dem Namen *Amt*. Als Alternative zeigt Listing 10.11 das passende XML-Schema. Abbildung 10.2 zeigt Teil einer Ausprägung des XML-Baums. Listing 10.10 zeigt dazu passende Daten.

```
<?xml version='1.0' encoding="ISO-8859-1" ?>
<!ELEMENT dozenten    (dozent*)>
<!ELEMENT dozent      (PersNr,Name,Rang,Raum,Amt*>
<!ELEMENT PersNr      (#PCDATA)>
<!ELEMENT Name        (#PCDATA)>
<!ELEMENT Rang        (#PCDATA)>
<!ELEMENT Raum        (#PCDATA)>
<!ELEMENT Amt         (Bezeichnung, Termin?)>
<!ELEMENT Bezeichnung (#PCDATA)>
<!ELEMENT Termin     (#PCDATA)>
```

Listing 10.9: dozenten.dtd

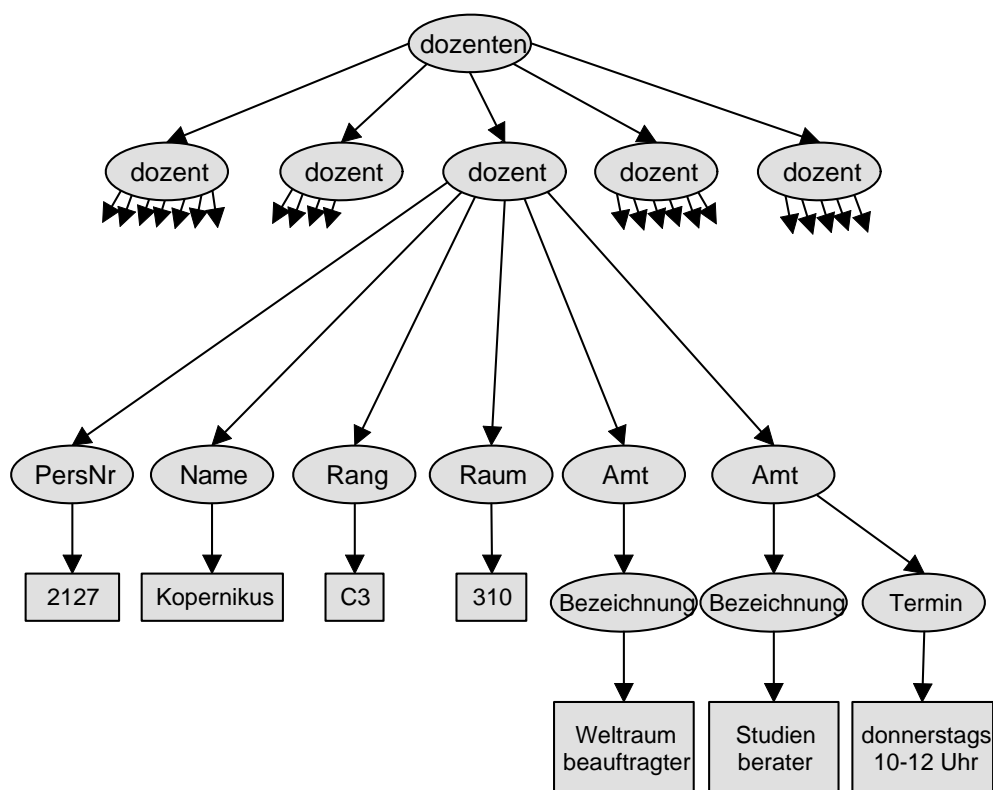


Abbildung 10.2: XML-Baum zur Datei dozenten.xml

```
<?xml version='1.0' encoding="ISO-8859-1" ?>
<!DOCTYPE dozenten SYSTEM "dozenten.dtd" >
<dozenten>
  <dozent>
    <PersNr>2125</PersNr>
    <Name>Sokrates</Name>
    <Rang>C4</Rang>
    <Raum>226</Raum>
    <Amt>
      <Bezeichnung>Dekan</Bezeichnung>
      <Termin>vormittags</Termin>
    </Amt>
  </dozent>
  <dozent>
    <PersNr>2126</PersNr>
    <Name>Russel</Name>
    <Rang>C4</Rang>
    <Raum>232</Raum>
  </dozent>
  <dozent>
    <PersNr>2127</PersNr>
    <Name>Kopernikus</Name>
    <Rang>C3</Rang>
    <Raum>310</Raum>
    <Amt>
      <Bezeichnung>Weltraumbeauftragter</Bezeichnung>
    </Amt>
    <Amt>
      <Bezeichnung>Studienberater</Bezeichnung>
      <Termin>donnerstags 10-12 Uhr</Termin>
    </Amt>
  </dozent>
  <dozent>
    <PersNr>2133</PersNr>
    <Name>Popper</Name>
    <Rang>C3</Rang>
    <Raum>52</Raum>
  </dozent>
  <dozent>
    <PersNr>2134</PersNr>
    <Name>Augustinus</Name>
    <Rang>C3</Rang>
    <Raum>309</Raum>
  </dozent>
</dozenten>
```

Listing 10.10: dozenten.xml

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">

  <xs:element name="dozenten">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="dozent" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>

  <xs:element name="dozent">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="PersNr"/>
        <xs:element ref="Name"/>
        <xs:element ref="Rang"/>
        <xs:element ref="Raum"/>
        <xs:element ref="Amt" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>

  <xs:element name="PersNr" type="xs:string"/>

  <xs:element name="Name" type="xs:string"/>

  <xs:element name="Rang" type="xs:string"/>

  <xs:element name="Raum" type="xs:string"/>

  <xs:element name="Amt">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="Bezeichnung"/>
        <xs:element ref="Termin" minOccurs="0"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>

  <xs:element name="Bezeichnung" type="xs:string"/>

  <xs:element name="Termin" type="xs:string"/>

</xs:schema>
```

Listing 10.11: Strukturbeschreibung für dozenten.xml durch ein XML-Schema

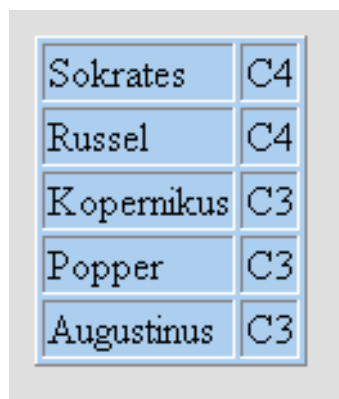
10.3 XML-Ausgabe auf Web-Seiten

Alle Beispiele dieser Sektion (mit Ausnahme des letzten) beziehen sich auf die Document Type Definition `dozenten.dtd`, gezeigt in Listing 10.9, sowie die XML-Datei `dozenten.xml`, gezeigt in Listing 10.10.

Listing 10.12 zeigt den Quelltext einer HTML-Datei `dozenten-tabelle.html`, in der die Elemente der XML-Datei `dozenten.xml` zu einer Tabelle aufbereitet werden. Abbildung 10.3 zeigt die Ausgabe.

```
<html>
  <head>
    <title>dozenten-tabelle.html</title>
  </head>
  <body bgcolor="DDDDDD">
    <xml id="dozenten" src="dozenten.xml"></xml>
    <table border="1" bgcolor="ABCDEF" datasrc="#dozenten">
      <tr>
        <td><span datafld="Name"></span></td>
        <td><span datafld="Rang"></span></td>
      </tr>
    </table>
  </body>
</html>
```

Listing 10.12: HTML-Datei mit XML-Datei



| | |
|------------|----|
| Sokrates | C4 |
| Russel | C4 |
| Kopernikus | C3 |
| Popper | C3 |
| Augustinus | C3 |

Abbildung 10.3: Ausgabe einer XML-Datei als HTML-Tabelle

Listing 10.13 zeigt den Quelltext der HTML-Datei `dozenten-traverse.html`, in der mittels VB-Script der Microsoft XML-Parser verwendet wird, um die Knoten des XML-Baumes der XML-Datei `dozenten.xml` zu traversieren. Abbildung 10.4 zeigt die Ausgabe.

```
<html>
<head>
  <title>dozenten-traverse.html</title>
</head>
<body bgcolor="dddddd">
  <script type="text/vbscript">
    set xmlDoc=CreateObject("Microsoft.XMLDOM")
    xmlDoc.async="false"
    xmlDoc.load("dozenten.xml")
    document.write("<h1>Traversieren der XML Knoten</h1>")
    for each x in xmlDoc.documentElement.childNodes
      document.write("<b>" & x.nodename & "</b>")
      document.write(": ")
      document.write(x.text)
      document.write("<br><br>")
    next
  </script>
</body>
</html>
```

Listing 10.13: Traversieren der XML-Knoten

Traversieren der XML Knoten

dozent: 2125 Sokrates C4 226 Dekan vormittags

dozent: 2126 Russel C4 232

dozent: 2127 Kopernikus C3 310 Weltraumbauftrager Studienberater donnerstags 10-12 Uhr

dozent: 2133 Popper C3 52

dozent: 2134 Augustinus C3 309

Abbildung 10.4: Traversieren der XML-Knoten

Listing 10.14 zeigt den Quelltext der HTML-Datei `dozenten-navigation.html`, in der mit Hilfe von Javascript durch die Elemente der XML-Datei `dozenten.xml` navigiert wird. Abbildung 10.5 zeigt die Ausgabe.

```
<html>
<head><title>dozenten-navigation.html</title></head>
  <script type="text/javascript">
    function naechste(){
      x=vor.recordset
      if (x.absoluteposition < x.recordcount){ x.movenext()}
    }
    function vorige(){
      x=vor.recordset
      if (x.absoluteposition > 1){ x.moveprevious()}
    }
  </script>
</head>
<body bgcolor="dddddd">
  <xml src="dozenten.xml" id="vor" async="false"></xml>
  <B>Name:</B> <span datasrc="#vor" datafld="Name"></span><br>
  <B>Rang:</B> <span datasrc="#vor" datafld="Rang"></span><br>
  <B>Raum:</B> <span datasrc="#vor" datafld="Raum"></span><br>
  <input type="button" value="Voriger Dozent" onclick="vorige()">
  <input type="button" value="Nchster Dozent" onclick="naechste()">
</body>
</html>
```

Listing 10.14: Navigation durch eine XML-Datei mit Hilfe von Javascript

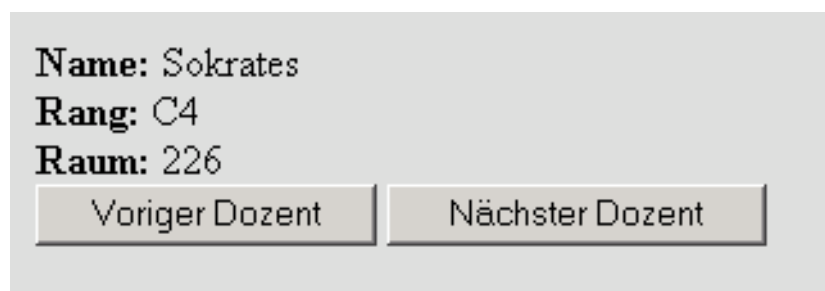


Abbildung 10.5: Navigation durch die XML-Datei mit Hilfe von Javascript

Listing 10.15 zeigt den Quelltext der Cascading-Stylesheet-Datei `dozenten.css`, auf die von der XML-Datei `dozenten.xml` Bezug genommen werden kann, nachdem dort die Zeile

```
<?xml-stylesheet type="text/css" href="dozenten.css"?>
```

eingefügt worden ist. Abbildung 10.6 zeigt die Ausgabe.

```
dozenten{background-color: #dddddd;width: 100%;}
dozent {display: block; margin-bottom: 10pt;margin-left: 15pt;}
PersNr {color: #0000FF; font-size: 20pt;}
Name {color: #FF0000; font-size: 28pt;}
Rang {color: #0000FF; font-size: 20pt;}
Raum {color: #0000FF; font-size: 20pt;}
Amt {Display: block; color: #000000;margin-left: 20pt;}
```

Listing 10.15: Cascading Stylesheet für `dozenten.xml`



Abbildung 10.6: Ausgabe von `dozenten.xml` mit Hilfe von `dozenten.css`

Listing 10.16 zeigt den Quelltext der XSL-Datei `dozenten.xsl`, auf die von der XML-Datei `dozenten.xml` Bezug genommen werden kann über die Zeile

```
<?xml-stylesheet type="text/xsl" href="dozenten.xsl" ?>
```

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<xsl:stylesheet version="1.0" xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform">

<xsl:template match="/">
  <html>
    <body>
      <table border="1" bgcolor="ABCDEF">
        <tr>
          <th>Pers-Nr</th><th>Name</th><th>Rang</th><th>Raum</th><th>mter</th>
        </tr>
        <xsl:for-each select="/dozenten/dozent">
          <tr>
            <td><xsl:value-of select="PersNr" /></td>
            <td><xsl:value-of select="Name" /></td>
            <td><xsl:value-of select="Rang" /></td>
            <td><xsl:value-of select="Raum" /></td>
            <td>
              <xsl:for-each select="Amt">
                <xsl:value-of select="Bezeichnung" />
                <xsl:if test="position() != last()">, </xsl:if>
              </xsl:for-each>
            </td>
          </tr>
        </xsl:for-each>
      </table>
    </body>
  </html>
</xsl:template>
</xsl:stylesheet>
```

Listing 10.16: `dozenten.xsl`

| Pers-Nr | Name | Rang | Raum | Ämter |
|---------|------------|------|------|--------------------------------------|
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | Dekan |
| 2126 | Russel | C4 | 232 | |
| 2127 | Kopernikus | C3 | 310 | Weltraumbeauftragter, Studienberater |
| 2133 | Popper | C3 | 52 | |
| 2134 | Augustinus | C3 | 309 | |

Abbildung 10.7: Ausgabe von `dozenten.xml` mit Hilfe von `dozenten.xsl`

Eine Alternative zur Anwendung einer XSL-Datei auf eine XML-Datei besteht in der Formulierung einer HTML-Seite, in der mit Hilfe des Microsoft XML-Parsers zunächst die XML-Datei und die XSL-Datei geladen werden und danach die Transformation angestoßen wird. Listing 10.17 zeigt den Quelltext der HTML-Datei `dozenten-mit-xsl.html`.

In beiden Fällen kommt dieselbe XSL-Datei zur Anwendung, das Ergebnis wird in Abbildung 10.7 gezeigt.

```
<html>
<head><title>dozenten-mit-xsl.html</title></head>
<body bgcolor="dddddd">
  <script type="text/javascript">

    var xml = new ActiveXObject("Microsoft.XMLDOM") // XML-File laden
    xml.async = false
    xml.load("dozenten.xml")

    var xsl = new ActiveXObject("Microsoft.XMLDOM") // XSL-File laden
    xsl.async = false
    xsl.load("dozenten.xsl")

    document.write(xml.transformNode(xsl))           // transformieren

  </script>
</body>
</html>
```

Listing 10.17: HTML-Datei zur Ausgabe von `dozenten.xml` mit Hilfe von `dozenten.xsl`

Das folgende Beispiel bezieht sich auf `personen.dtd`, eine im Listing 10.5 gezeigte Document Type Definition. Neben dem Attribut *persnr* vom Typ ID zur eindeutigen Kennung einer Person und dem Attribut *chef* vom Typ IDREF zur Referenz auf eine *persnr* gibt es ein leeres Feld *Photo* mit dem Attribut *src* zur Angabe einer Bilddatei.

Listing 10.18 zeigt den Quelltext der XSL-Datei `personen.xsl`, auf die von der XML-Datei `personen.xml` Bezug genommen werden kann, nachdem die Zeile

```
<?xml-stylesheet type="text/xsl" href="personen.xsl"?>
```

eingefügt wurde. Abbildung 10.8 zeigt die Ausgabe.

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<xsl:stylesheet version="1.0" xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform">

<xsl:template match="/">
  <html>
    <body bgcolor="dddddd">
      <table border="1" cellpadding="5" bgcolor="abcdef">
        <tr>
          <th>Pers-Nr</th><th>Anrede</th><th>Vorname</th><th>Nachname</th>
          <th>Chef</th><th>Photo</th>
        </tr>
        <xsl:for-each select="/personen/person">
          <tr>
            <td><xsl:value-of select="@persnr"/></td>
            <td>
              <xsl:if test="@geschlecht='weiblich'">Frau</xsl:if>
              <xsl:if test="@geschlecht='maennlich'">Herr</xsl:if>
            </td>
            <td><xsl:value-of select="vorname" /></td>
            <td><xsl:value-of select="nachname" /></td>
            <td><xsl:value-of select="@chef" /></td>
            <td><IMG SRC="{photo/@src}" /></td>
          </tr>
        </xsl:for-each>
      </table>
    </body>
  </html>
</xsl:template>
</xsl:stylesheet>

```

Listing 10.18: personen.xsl



| Pers-Nr | Anrede | Vorname | Nachname | Chef | Photo |
|---------|--------|---------|------------|-------|---|
| P4711 | Frau | Erika | Mustermann | P4712 |  |
| P4712 | Herr | Willi | Wacker | |  |

Abbildung 10.8: Ausgabe von personen.xml mit Hilfe von personen.xsl

10.4 XML vom Microsoft SQL Server 2000

Der Microsoft SQL-Server 2000 unterstützt XML sowohl bei der Überführung von XML-Dokumenten in die Datenbank als auch bei der Wiedergabe von Tabellendaten in XML-Notation.

Durch Aufruf der stored procedure `sp_xml_prepare_document` kann der wohlgeformte Inhalt eines XML-Strings in eine interne Darstellung überführt werden. Durch Aufruf von `OPENXML` kann der Inhalt des XML-Baums als Rowset geliefert werden. Listing 10.19 zeigt den gesamten Aufruf, Abbildung 10.9 zeigt die erzeugte Tabelle.

```

DECLARE @hdoc int                -- Handle fuer interne Darstellung
DECLARE @doc varchar(1000)      -- Variable fuer XML-String
SET @doc =                      -- initialisiere XML-String
'<dozenten>
  <dozent>
    <persnr>4711</persnr>
    <name>Willi</name>
    <rang>C4</rang>
    <raum>801</raum>
  </dozent>
</dozenten>'

EXEC sp_xml_preparedocument    -- lege interne Darstellung @hdoc
  @hdoc OUTPUT, @doc           -- fuer den XML-String @doc an

SELECT * FROM OPENXML          -- werte XML-Baum aus
  (@hdoc, '/dozenten/dozent') -- ueber Handle @hdoc

EXEC sp_xml_removedocument @hDoc -- entferne interne Darstellung

```

Listing 10.19: Aufruf von *OPENXML*

| | id | parentid | nodetype | localname | prefix | namespaceuri | datatype | prev | text |
|---|----|----------|----------|-----------|--------|--------------|----------|------|-------|
| 1 | 2 | 0 | 1 | dozent | NULL | NULL | NULL | NULL | NULL |
| 2 | 3 | 2 | 1 | persnr | NULL | NULL | NULL | NULL | NULL |
| 3 | 7 | 3 | 3 | #text | NULL | NULL | NULL | NULL | 4711 |
| 4 | 4 | 2 | 1 | name | NULL | NULL | NULL | 3 | NULL |
| 5 | 8 | 4 | 3 | #text | NULL | NULL | NULL | NULL | Willi |
| 6 | 5 | 2 | 1 | rang | NULL | NULL | NULL | 4 | NULL |
| 7 | 9 | 5 | 3 | #text | NULL | NULL | NULL | NULL | C4 |
| 8 | 6 | 2 | 1 | raum | NULL | NULL | NULL | 5 | NULL |
| 9 | 10 | 6 | 3 | #text | NULL | NULL | NULL | NULL | 801 |

Abbildung 10.9: XML-Baum als Tabelle, erstellt von *OPENXML*

Der Inhalt der von `OPENXML` gelieferten Tabelle kann mit Hilfe eines `INSERT`-Statements in eine bestehende Datenbanktabelle eingefügt werden. Hierbei müssen über das Schlüsselwort `WITH` die zu verwendenden Spaltentypen angegeben werden. Dem `OPENXML`-Kommando wird durch die Flagge 1 eine attributbezogene, durch die Flagge 2 eine elementbezogene XML-Struktur signalisiert. Listing 10.20 zeigt den kompletten Ablauf.

```

DECLARE @hdoc int                -- Handle fuer interne Darstellung
DECLARE @doc varchar(1000)      -- Variable fuer XML-String
SET @doc =                      -- initialisiere XML-String
'<dozenten>
  <dozent>
    <persnr>4711</persnr>
    <name>Willi</name>
    <rang>C4</rang>
    <raum>801</raum>
  </dozent>
  <dozent>
    <persnr>4712</persnr>
    <name>Erika</name>
    <rang>C3</rang>
    <raum>802</raum>
  </dozent>
</dozenten>'

EXEC sp_xml_preparedocument    -- lege interne Darstellung @hdoc
  @hdoc OUTPUT, @doc           -- fuer den XML-String @doc an

insert into professoren        -- fuege in Tabelle professoren ein
  (persnr,name,rang,raum)      -- Persnr, Name, Rang, Raum
SELECT * FROM OPENXML         -- werte XML-Baum aus
  (@hdoc,'/dozenten/dozent',2) -- Parameter 2: Elementbezogen
with (persnr int, name varchar(20), -- Datentypen fuer persnr und Name
      rang char(2), raum int)     -- Datentypen fuer Rang und Raum

EXEC sp_xml_removedocument @hDoc -- entferne interne Darstellung

```

Listing 10.20: Einfügen mit Hilfe von OPENXML

Eine Ausgabe von Tabelleninhalten in geschachtelter XML-Notation ist beim SQL-Server 2000 möglich im Rahmen einer erweiterten SQL-Syntax:

```

select persnr, name from professoren
where rang='C3'
for xml auto, elements

```

Hierbei wird für jede Zeile aus dem Result-Set ein Tupel erzeugt, welches geklammert wird durch Tags mit dem Namen der Tabelle. Jede Spalte des Result-Set wird geklammert durch Tags mit dem Namen der Spalte:

```

<professoren><persnr>2127</persnr><name>Kopernikus</name></professoren>
<professoren><persnr>2134</persnr><name>Augustinus</name></professoren>

```

10.5 XQuery

Als Abfragesprache für XML-Dokumente scheint sich *XQuery* durchzusetzen. Im April 2005 wurde unter der Adresse <http://www.w3.org/TR/xquery> der letzte W3C Working Draft veröffentlicht.

In *XQuery* werden Abfragen durch eine Kombination von *FLWR*-Ausdrücken, Pfadausdrücken und Element-Konstruktoren formuliert. Ein *FLWR*-Ausdruck (gesprochen wie das englische Wort *Flower*) besteht aus einer Sequenz der Schlüsselworte `FOR`, `LET`, `WHERE`, `RETURN`. Ein Pfadausdruck nach der **XPath**-Syntax (<http://www.w3.org/TR/xpath.html>) fasst das Dokument als Baum von Element-Knoten auf und liefert durch gezielte Navigation den gewünschten Teilbaum ab. Dabei trennt ein einzelner Schrägstrich (`'/'`) Elemente in direkter Vater/Sohn-Beziehung, ein doppelter Schrägstrich (`'//'`) bedeutet eine Nachkommen-Beziehung über eine oder auch mehrere Baum-Ebenen. Element-Konstruktor klammert das Ergebnis der Query mit öffnenden und schließenden Tags.

Da XML-Fragmente bereits gültige XQuery-Ausdrücke darstellen, müssen sie durch geschweifte Klammern (`{ , }`) gekennzeichnet werden, andernfalls würden sie wie normaler Text behandelt und ausgegeben.

- Liste alle Dozenten, die Vorlesungen mit mehr als 2 SWS halten:

```
<aktive-Dozenten>
  {FOR $d IN distinct(document("dozenten.xml")//dozent)
   LET $v := document("vorlesungen.xml")//vorlesung[gelesenVon=$d/PersNr]
   WHERE $v/SWS > 2
   RETURN <Dozent>$d/Name</Dozent>}
</aktive-Dozenten>
```

Das Ergebnis würde lauten:

```
<aktive-Dozenten>
  <Dozent>
    <name>
      Sokrates
    </name>
  </Dozent>
  <Dozent>
    <name>
      Kant
    </name>
  </Dozent>
  <Dozent>
    <name>
      Russel
    </name>
  </Dozent>
</aktive-Dozenten>
```

- Liste alle Dozenten zusammen mit ihren Lehrveranstaltungen:

```
<Vorlesungsverzeichnis>
  {FOR    $d IN document("dozenten.xml")//dozent,
    $v IN document("vorlesungen.xml")//vorlesung
  WHERE  $d/PersNr = $v/gelesenVon
  RETURN <Veranstaltung>$d/Name, $v/Titel</Veranstaltung>}
</Vorlesungsverzeichnis>
```

- Liste zu jedem Dozenten alle seine Lehrveranstaltungen:

```
<Vorlesungsverzeichnis>
  {FOR    $d IN document("dozenten.xml")//dozent
  RETURN
    <Dozent>$d/Name</Dozent>
    {FOR    $v IN document("vorlesungen.xml")//vorlesung
      WHERE  $d/PersNr = $v/gelesenVon
      RETURN <Vorlesung>$v/Titel</Vorlesung>}}
</Vorlesungsverzeichnis>
```

- Liste zu jedem Dozenten die Summe der Semesterwochenstunden seiner Lehrveranstaltungen:

```
<Dozenten>
  {FOR    $d IN document("dozenten.xml")//dozent
  LET    $s := sum(document("vorlesungen.xml")
    //vorlesung[gelesenVon=$d/PersNr]/SWS)
  WHERE  $s > 0
  RETURN <Dozent>
    <Name>$d/Name</Name>
    <Lehrbelastung>$s</Lehrbelastung>
  </Dozent>}
</Dozenten>
```

- Liste alle Dozenten mit demselben Rang wie Sokrates:

```
<Rang-wie-Sokrates>
  {FOR    $d1 IN document("dozenten.xml")//dozent[Name="Sokrates"],
    $d2 IN document("dozenten.xml")//dozent[Rang=$d1/Rang]
  RETURN <Name>$d2/Name</Name>}
</Rang-wie-Sokrates>
```

10.6 Apache Xindice

Seit November 2002 pflegt die Apache Software Foundation eine Website zu **Xindice**, gesprochen *sin-di-tschee*: <http://xml.apache.org/xindice>. Xindice ist eine XML-Datenbank, die dem Benutzer das Abspeichern und Wiederfinden von XML-Dokumenten und ihren Bestandteilen ermöglicht. Als Abfragesprache wird XPath verwendet (<http://www.w3.org/TR/xpath>).

10.7 Web Services

Bisher wurden Informationen im Internet über von Menschen lesbare Webseiten angeboten; zum Finden der passenden Webseiten helfen Suchmaschinen, wie z.B. Google. Inzwischen existieren auch Angebote in maschinenlesbarer Form, sogenannte *Web Services*, die über genormte Schnittstellen Informationen bereitstellen, die von Programmen abgefragt und ausgewertet werden können. Zum Auffinden dieser maschinenlesbaren Angebote gibt es Verzeichnisdienste, in denen der Anbieter seine Dienste kategorisiert ankündigt.

Mittlerweile existieren folgende auf XML basierende Standards:

1. **UDDI:** Universal Description, Discovery and Integration: Auf dieser Norm sind die Verzeichnisdienste organisiert, mit denen interessierte Clienten sich über angebotene Dienste informieren und mit deren Hilfe sie die zuständigen WSDL-Dateien finden können.
2. **WSDL:** Web Services Description Language: In dieser Notation kündigt der Diensteanbieter an, welche Art von Anfragen er zulässt, welche Art von Antworten zu erwarten sind und an welchen Server die Anfragen gerichtet werden können. Dieses Dokument kann, aber muss nicht in einem UDDI-Verzeichnisdienst gepflegt werden und muss auch nicht auf demselben Server liegen, der den Dienst bereitstellt.
3. **SOAP:** Simple Object Access Protokoll: Hiermit sendet der anfragende Client gemäß der im WSDL-Dokument genannten Spezifikation einen Request in Form eines XML-Dokuments an den anbietenden Dienst und erhält von dort die Antwort, wiederum als XML-Dokument.

Die Firmen Google und Amazon bieten beispielsweise Web Services an, welche dieselben Anfragen erlauben, die auch über die Menschen-lesbare Webseite möglich sind. Details sind zu finden unter <http://www.google.com/apis> bzw.

```
http://www.amazon.com/gp/aws/sdk/002-5975367-0251255?v=2005%2d03%2d23&
s=AWSEcommerceService
```

Die Amazon-WSDL-Datei lautet

```
http://soap.amazon.com/schemas2/AmazonWebServices.wsdl.
```

Wenn man sich beim Amazon Web Service registrieren lässt, erhält man eine Subscription-ID, mit der man sich in Anfrage authentifizieren kann. Z.B. kann die Suche nach *Harry Potter* wie folgt an den Amazon Web Service gestellt werden:

```
http://webservices.amazon.de/onca/xml?Service=AWSECommerceService&
SubscriptionId=0BB9F8ZND7HG04QG1G2&Operation=ItemSearch&
SearchIndex=Books&Keywords=Harry%20Potter&ResponseGroup=Small
```

Das Testen von Web Services unter Angabe einer WSDL-Datei wird angeboten von

```
http://www.mindreef.net.
```

Ein einfacher Verzeichnisdienst liegt unter <http://www.xmethods.net>.

Zur Demonstration wurde auf dem Apache Tomcat Server terra im Informatik-Netz ein sehr einfacher Web Service installiert, welcher folgende Funktionalität bietet:

Die Anfrage `GetLehrumfangVonProfessorRequest`, versehen mit einem `ProfName` wird beantwortet als `GetLehrUmfangVonProfessorResponse`, versehen mit dem `LehrUmfang`.

Die zugehörige WSDL-Datei liegt unter

`http://www-lehre.inf.uos.de/~dbs/2005/WS/UniVerwaltung.wsdl`

Listing 10.19 zeigt den Quelltext der Klasse `InquireDB.java`, welche vom Apache Tomcat Server beim Eintreffen einer Anfrage an den Webservice gestartet wird.

```
import java.sql.*;

public class InquireDB {

    public static int getLehrUmfangVonProfessor(String profName) {

        int sumsws    = 0;
        String url    = "jdbc:microsoft:sqlserver://maestro:1433";
        String user   = "erika";
        String pwd    = "mustermann";

        try {

            Class.forName("com.microsoft.jdbc.sqlserver.SQLServerDriver");
            Connection con = DriverManager.getConnection(url, user, pwd);

            PreparedStatement stmt = con.prepareStatement(
                "SELECT SUM(v.SWS) AS SUMSWS " +
                "FROM Vorlesungen v, Professoren p " +
                "WHERE v.gelesenVon = p.PersNr " +
                "AND p.Name = ?");

            stmt.setString(1, profName);
            ResultSet rset = stmt.executeQuery();
            rset.next();
            sumsws = java.lang.Integer.parseInt(rset.getString("SUMSWS"));
            rset.close();
            stmt.close();
            con.close();
        } catch (Exception e) {e.printStackTrace();}

        return sumsws;
    }
}
```

Listing 10.19: InquireDB.java

Listing 10.20 zeigt den Quelltext des WSDL-Dokuments `UniVerwaltung.wsdl`, in dem die Funktionalität angekündigt wird.

```
<?xml version="1.0" ?>
<definitions name="UniVerwaltung"
  targetNamespace="http://www-lehre/inf.uos.de/~dbs/2005/WS/UniVerwaltung.wsdl"
  xmlns:tns="http://www-lehre/inf.uos.de/~dbs/2005/WS/UniVerwaltung.wsdl"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
  xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/"
  xmlns="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/">

  <message name="GetLehrUmfangVonProfessorRequest">
    <part name="ProfName" type="xsd:string"/>
  </message>
  <message name="GetLehrUmfangVonProfessorResponse">
    <part name="LehrUmfang" type="xsd:int"/>
  </message>

  <portType name="UniVerwaltungPortType">
    <operation name="getLehrUmfangVonProfessor">
      <input message="tns:GetLehrUmfangVonProfessorRequest"/>
      <output message="tns:GetLehrUmfangVonProfessorResponse"/>
    </operation>
  </portType>

  <binding name="UniVerwaltungSOAPBinding" type="tns:UniVerwaltungPortType">
    <soap:binding style="rpc" transport="http://schemas.xmlsoap.org/soap/http"/>

    <operation name="getLehrUmfangVonProfessor">
      <soap:operation soapAction=""/>
      <input>
        <soap:body use="encoded" namespace="UniVerwaltung"
          encodingStyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/" />
      </input>
      <output>
        <soap:body use="encoded" namespace="UniVerwaltung"
          encodingStyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/" />
      </output>
    </operation>
  </binding>

  <service name="UniVerwaltungService">
    <port name="UniVerwaltung" binding="tns:UniVerwaltungSOAPBinding">
      <soap:address location="http://terra.inf.uos.de/axis/services/UniVerwaltung"/>
    </port>
  </service>
</definitions>
```

Listing 10.20: UniVerwaltung.wsdl

Listing 10.21 zeigt den SOAP-Envelope, in dem die Anfrage nach dem Lehrumfang von Sokrates an den Web Service geschickt wird. Listing 10.22 zeigt den SOAP-Envelope, der die Antwort vom Web Service enthält.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<soapenv:Envelope
  xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <soapenv:Body>
    <ns1:getLehrUmfangVonProfessor
      soapenv:encodingStyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/"
      xmlns:ns1="UniVerwaltung">
      <ProfName xsi:type="xsd:string">Sokrates</ProfName>
    </ns1:getLehrUmfangVonProfessor>
  </soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>
```

Listing 10.21: Request, an den Web Service gerichtet

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<soapenv:Envelope
  xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <soapenv:Body>
    <ns1:getLehrUmfangVonProfessorResponse
      soapenv:encodingStyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/"
      xmlns:ns1="UniVerwaltung">
      <LehrUmfang href="#id0"/>
    </ns1:getLehrUmfangVonProfessorResponse>
    <multiRef id="id0"
      soapenc:root="0"
      soapenv:encodingStyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/"
      xsi:type="xsd:int"
      xmlns:soapenc="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/">10</multiRef>
  </soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>
```

Listing 10.22: Response, vom Web Service geliefert

Listing 10.23 zeigt den Quelltext eines "handgestrickten" Klienten `ClientUniVerwaltung.java`, welcher das zur Anfrage "Welchen Lehrumfang hat Sokrates?" passende XML-Dokument als SOAP-Envelope erstellt, verschickt, das Ergebnis wieder als SOAP-Envelope entgegennimmt und ausgibt.

```
import java.io.*;
import java.net.*;

public class ClientUniVerwaltung {
    private static final int BUFF_SIZE = 100;

    public static void main(String[] argv) throws Exception {
        String request =
            "<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>" +
            "<soapenv:Envelope " +
                "xmlns:soapenv='http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/' " +
                "xmlns:xsd='http://www.w3.org/2001/XMLSchema' " +
                "xmlns:xsi='http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance'> " +
            "<soapenv:Body> " +
                "<ns1:getLehrUmfangVonProfessor " +
                    "soapenv:encodingStyle= " +
                        "'http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/' " +
                    "xmlns:ns1='UniVerwaltung'> " +
                        "<ProfName xsi:type='xsd:string'>Sokrates</ProfName> " +
                        "</ns1:getLehrUmfangVonProfessor> " +
                "</soapenv:Body>" +
            "</soapenv:Envelope>";

        URL url = new URL(
            "http://terra.inf.uos.de/axis/services/UniVerwaltung");
        HttpURLConnection conn = (HttpURLConnection) url.openConnection();

        conn.setDoOutput(true); conn.setUseCaches(false);
        conn.setRequestProperty("Accept", "text/xml");
        conn.setRequestProperty("Connection", "keep-alive");
        conn.setRequestProperty("Content-Type", "text/xml");
        conn.setRequestProperty("Content-length", Integer.toString(request.length()));
        conn.setRequestProperty("SOAPAction", "\\ \\");

        OutputStream out = conn.getOutputStream();
        out.write(request.getBytes()); out.flush();

        StringBuffer response = new StringBuffer(BUFF_SIZE);
        InputStreamReader in =
            new InputStreamReader(conn.getInputStream(), "UTF-8");
        char buff[] = new char[BUFF_SIZE]; int n;
        while ((n = in.read(buff, 0, BUFF_SIZE - 1)) > 0) {
            response.append(buff, 0, n);
        }
        out.close(); in.close();
        System.out.println( response.toString() );
    }
}
```

Listing 10.23: `ClientUniVerwaltung.java`

Kapitel 11

Relationale Entwurfstheorie

11.1 Funktionale Abhängigkeiten

Gegeben sei ein Relationenschema \mathcal{R} mit einer Ausprägung R . Eine *funktionale Abhängigkeit* (engl. *functional dependency*) stellt eine Bedingung an die möglichen gültigen Ausprägungen des Datenbankschemas dar. Eine funktionale Abhängigkeit, oft abgekürzt als FD, wird dargestellt als

$$\alpha \rightarrow \beta$$

Die griechischen Buchstaben α und β repräsentieren Mengen von Attributen. Es sind nur solche Ausprägungen zulässig, für die gilt:

$$\forall r, t \in R : r.\alpha = t.\alpha \Rightarrow r.\beta = t.\beta$$

D. h., wenn zwei Tupel gleiche Werte für alle Attribute in α haben, dann müssen auch ihre β -Werte übereinstimmen. Anders ausgedrückt: Die α -Werte bestimmen eindeutig die β -Werte; die β -Werte sind funktional abhängig von den α -Werten.

Die nächste Tabelle zeigt ein Relationenschema \mathcal{R} über der Attributmengemenge $\{A, B, C, D\}$.

| R | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| A | B | C | D |
| a_4 | b_2 | c_4 | d_3 |
| a_1 | b_1 | c_1 | d_1 |
| a_1 | b_1 | c_1 | d_2 |
| a_2 | b_2 | c_3 | d_2 |
| a_3 | b_2 | c_4 | d_3 |

Aus der momentanen Ausprägung lassen sich z. B. die funktionalen Abhängigkeiten $\{A\} \rightarrow \{B\}$, $\{A\} \rightarrow \{C\}$, $\{C, D\} \rightarrow \{B\}$ erkennen, hingegen gilt nicht $\{B\} \rightarrow \{C\}$.

Ob diese Abhängigkeiten vom Designer der Relation als semantische Konsistenzbedingung verlangt wurden, läßt sich durch Inspektion der Tabelle allerdings nicht feststellen.

Statt $\{C, D\} \rightarrow \{B\}$ schreiben wir auch $CD \rightarrow B$. Statt $\alpha \cup \beta$ schreiben wir auch $\alpha\beta$.

Ein einfacher Algorithmus zum Überprüfen einer (vermuteten) funktionalen Abhängigkeit $\alpha \rightarrow \beta$ in der Relation R lautet:

1. sortiere R nach α -Werten
2. falls alle Gruppen bestehend aus Tupeln mit gleichen α -Werten auch gleiche β -Werte aufweisen, dann gilt $\alpha \rightarrow \beta$, sonst nicht.

11.2 Schlüssel

In dem Relationenschema \mathcal{R} ist $\alpha \subseteq \mathcal{R}$ ein *Superschlüssel*, falls gilt

$$\alpha \rightarrow \mathcal{R}$$

Der Begriff Superschlüssel besagt, daß alle Attribute von α abhängen aber noch nichts darüber bekannt ist, ob α eine minimale Menge von Attributen enthält.

Wir sagen: β ist *voll funktional abhängig* von α , in Zeichen $\alpha \twoheadrightarrow \beta$, falls gilt

1. $\alpha \rightarrow \beta$
2. $\forall A \in \alpha : \alpha - \{A\} \not\rightarrow \beta$

In diesem Falle heißt α *Schlüsselkandidat*. Einer der Schlüsselkandidaten wird als *Primärschlüssel* ausgezeichnet.

Folgende Tabelle zeigt die Relation *Städte*:

| Städte | | | |
|-----------|-------------|---------|---------|
| Name | BLand | Vorwahl | EW |
| Frankfurt | Hessen | 069 | 650000 |
| Frankfurt | Brandenburg | 0335 | 84000 |
| München | Bayern | 089 | 1200000 |
| Passau | Bayern | 0851 | 50000 |
| ... | ... | ... | ... |

Offenbar gibt es zwei Schlüsselkandidaten:

1. {Name, BLand}
2. {Name, Vorwahl}

11.3 Bestimmung funktionaler Abhängigkeiten

Wir betrachten folgendes Relationenschema:

ProfessorenAdr : {[PersNr, Name, Rang, Raum,
Ort, Straße, PLZ, Vorwahl, BLand, Landesregierung]}

Hierbei sei *Ort* der eindeutige Erstwohnsitz des Professors, die *Landesregierung* sei die eindeutige Partei des Ministerpräsidenten, *BLand* sei der Name des Bundeslandes, eine Postleitzahl (*PLZ*) ändere sich nicht innerhalb einer Straße, Städte und Straßen gehen nicht über Bundesgrenzen hinweg.

Folgende Abhängigkeiten gelten:

1. {PersNr} → {PersNr, Name, Rang, Raum,
Ort, Straße, PLZ, Vorwahl, BLand, EW, Landesregierung}
2. {Ort, BLand} → {Vorwahl}
3. {PLZ} → {BLand, Ort}
4. {Ort, BLand, Straße} → {PLZ}
5. {BLand} → {Landesregierung}
6. {Raum} → {PersNr}

Hieraus können weitere Abhängigkeiten abgeleitet werden:

7. {Raum} → {PersNr, Name, Rang, Raum,
Ort, Straße, PLZ, Vorwahl, BLand, Landesregierung}
8. {PLZ} → {Landesregierung}

Bei einer gegebenen Menge F von funktionalen Abhängigkeiten über der Attributmenge U interessiert uns die Menge F^+ aller aus F ableitbaren funktionalen Abhängigkeiten, auch genannt die *Hülle* (engl. *closure*) von F .

Zur Bestimmung der Hülle reichen folgende *Inferenzregeln*, genannt *Armstrong Axiome*, aus:

- Reflexivität: Aus $\beta \subseteq \alpha$ folgt: $\alpha \rightarrow \beta$
- Verstärkung: Aus $\alpha \rightarrow \beta$ folgt: $\alpha\gamma \rightarrow \beta\gamma$ für $\gamma \subseteq U$
- Transitivität: Aus $\alpha \rightarrow \beta$ und $\beta \rightarrow \gamma$ folgt: $\alpha \rightarrow \gamma$

Die Armstrong-Axiome sind *sound* (korrekt) und *complete* (vollständig). Korrekt bedeutet, daß nur solche FDs abgeleitet werden, die von jeder Ausprägung erfüllt sind, für die F erfüllt ist. Vollständig bedeutet, daß sich alle Abhängigkeiten ableiten lassen, die durch F logisch impliziert werden.

Weitere Axiome lassen sich ableiten:

- Vereinigung: Aus $\alpha \rightarrow \beta$ und $\alpha \rightarrow \gamma$ folgt: $\alpha \rightarrow \beta\gamma$
- Dekomposition: Aus $\alpha \rightarrow \beta\gamma$ folgt: $\alpha \rightarrow \beta$ und $\alpha \rightarrow \gamma$
- Pseudotransitivität: Aus $\alpha \rightarrow \beta$ und $\gamma\beta \rightarrow \delta$ folgt $\alpha\gamma \rightarrow \delta$

Wir wollen zeigen: $\{PLZ\} \rightarrow \{\text{Landesregierung}\}$ läßt sich aus den FDs 1-6 für das Relationenschema *ProfessorenAdr* herleiten:

- $\{PLZ\} \rightarrow \{B\text{Land}\}$ (Dekomposition von FD Nr.3)
- $\{B\text{Land}\} \rightarrow \{\text{Landesregierung}\}$ (FD Nr.5)
- $\{PLZ\} \rightarrow \{\text{Landesregierung}\}$ (Transitivität)

Oft ist man an der Menge von Attributen α^+ interessiert, die von α gemäß der Menge F von FDs funktional bestimmt werden:

$$\alpha^+ := \{\beta \subseteq U \mid \alpha \rightarrow \beta \in F^+\}$$

Es gilt der Satz:

$$\alpha \rightarrow \beta \text{ folgt aus Armstrongaxiomen genau dann wenn } \beta \in \alpha^+.$$

Die Menge α^+ kann aus einer Menge F von FDs und einer Menge von Attributen α wie folgt bestimmt werden:

$$X^0 := \alpha$$

$$X^{i+1} := X^i \cup \gamma \text{ falls } \beta \rightarrow \gamma \in F \wedge \beta \subseteq X^i$$

D. h. von einer Abhängigkeit $\beta \rightarrow \gamma$, deren linke Seite schon in der Lösungsmenge enthalten ist, wird die rechte Seite hinzugefügt. Der Algorithmus wird beendet, wenn keine Veränderung mehr zu erzielen ist, d. h. wenn gilt: $X^{i+1} = X^i$.

Beispiel :

$$\begin{aligned} \text{Sei } U &= \{A, B, C, D, E, G\} \\ \text{Sei } F &= \{AB \rightarrow C, C \rightarrow A, BC \rightarrow D, ACD \rightarrow B, \\ &\quad D \rightarrow EG, BE \rightarrow C, CG \rightarrow BD, CE \rightarrow AG\} \\ \text{Sei } X &= \{B, D\} \\ X^0 &= BD \\ X^1 &= BDEG \\ X^2 &= BCDEG \\ X^3 &= ABCDEG = X^4, \text{ Abbruch.} \\ \text{Also: } (BD)^+ &= ABCDEG \end{aligned}$$

Zwei Mengen F und G von funktionalen Abhängigkeiten heißen genau dann *äquivalent* (in Zeichen $F \equiv G$), wenn ihre Hüllen gleich sind:

$$F \equiv G \Leftrightarrow F^+ = G^+$$

Zum Testen, ob $F^+ = G^+$, muß für jede Abhängigkeit $\alpha \rightarrow \beta \in F$ überprüft werden, ob gilt: $\alpha \rightarrow \beta \in G^+$, d. h. $\beta \subseteq \alpha^+$. Analog muß für die Abhängigkeiten $\gamma \rightarrow \delta \in G$ verfahren werden.

Zu einer gegebenen Menge F von FDs interessiert oft eine kleinstmögliche äquivalente Menge von FDs.

Eine Menge von funktionalen Abhängigkeiten heißt minimal \Leftrightarrow

1. Jede rechte Seite hat nur ein Attribut.
2. Weglassen einer Abhängigkeit aus F verändert F^+ .
3. Weglassen eines Attributs in der linken Seite verändert F^+ .

Konstruktion der minimalen Abhängigkeitsmenge geschieht durch Aufsplitten der rechten Seiten und durch probeweises Entfernen von Regeln bzw. von Attributen auf der linken Seite.

Beispiel :

$$\begin{array}{l} \text{Sei } U = \{A, B, C, D, E, G\} \\ \text{Sei } F = \{ \begin{array}{l} AB \rightarrow C, \quad D \rightarrow EG \\ C \rightarrow A, \quad BE \rightarrow C, \\ BC \rightarrow D, \quad CG \rightarrow BD, \\ ACD \rightarrow B, \quad CE \rightarrow AG \end{array} \} \end{array}$$

Aufsplitten der rechten Seiten liefert

$$\begin{array}{l} AB \rightarrow C \\ C \rightarrow A \\ BC \rightarrow D \\ ACD \rightarrow B \\ D \rightarrow E \\ D \rightarrow G \\ BE \rightarrow C \\ CG \rightarrow B \\ CG \rightarrow D \\ CE \rightarrow A \\ CE \rightarrow G \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Regel } CE \rightarrow A \quad \text{ist redundant wegen } C \rightarrow A \\ \quad \quad \quad CG \rightarrow B \quad \text{ist redundant wegen } CG \rightarrow D \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad C \rightarrow A \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad ACD \rightarrow B \\ \text{Regel } ACD \rightarrow B \quad \text{kann gekürzt werden zu } CD \rightarrow B, \text{ wegen } C \rightarrow A \end{array}$$

11.4 Schlechte Relationenschemata

Als Beispiel für einen schlechten Entwurf zeigen wir die Relation *ProfVorl*:

| ProfVorl | | | | | | |
|----------|----------|------|------|--------|------------------|-----|
| PersNr | Name | Rang | Raum | VorlNr | Titel | SWS |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | 5041 | Ethik | 4 |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | 5049 | Mäutik | 2 |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | 4052 | Logik | 4 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2132 | Popper | C3 | 52 | 5259 | Der Wiener Kreis | 2 |
| 2137 | Kant | C4 | 7 | 4630 | Die 3 Kritiken | 4 |

Folgende Anomalien treten auf:

- Update-Anomalie:
Angaben zu den Räumen eines Professors müssen mehrfach gehalten werden.
- Insert-Anomalie:
Ein Professor kann nur mit Vorlesung eingetragen werden (oder es entstehen NULL-Werte).
- Delete-Anomalie:
Das Entfernen der letzten Vorlesung eines Professors entfernt auch den Professor (oder es müssen NULL-Werte gesetzt werden).

11.5 Zerlegung von Relationen

Unter *Normalisierung* verstehen wir die Zerlegung eines Relationenschemas \mathcal{R} in die Relationenschemata $\mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2, \dots, \mathcal{R}_n$, die jeweils nur eine Teilmenge der Attribute von \mathcal{R} aufweisen, d. h. $\mathcal{R}_i \subseteq \mathcal{R}$. Verlangt werden hierbei

- Verlustlosigkeit:
Die in der ursprünglichen Ausprägung R des Schemas \mathcal{R} enthaltenen Informationen müssen aus den Ausprägungen R_1, \dots, R_n der neuen Schemata $\mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2, \dots, \mathcal{R}_n$ rekonstruierbar sein.
- Abhängigkeitserhaltung: Die für \mathcal{R} geltenden funktionalen Abhängigkeiten müssen auf die Schemata $\mathcal{R}_1, \dots, \mathcal{R}_n$ übertragbar sein.

Wir betrachten die Zerlegung in zwei Relationenschemata. Dafür muß gelten $\mathcal{R} = \mathcal{R}_1 \cup \mathcal{R}_2$. Für eine Ausprägung R von \mathcal{R} definieren wir die Ausprägung R_1 von \mathcal{R}_1 und R_2 von \mathcal{R}_2 wie folgt:

$$R_1 := \Pi_{\mathcal{R}_1}(R)$$

$$R_2 := \Pi_{\mathcal{R}_2}(R)$$

Eine Zerlegung von \mathcal{R} in \mathcal{R}_1 und \mathcal{R}_2 heißt *verlustlos*, falls für jede gültige Ausprägung R von \mathcal{R} gilt:

$$R = R_1 \bowtie R_2$$

Es folgt eine Relation *Biertrinker*, die in zwei Tabellen zerlegt wurde. Der aus den Zerlegungen gebildete natürliche Verbund weicht vom Original ab. Die zusätzlichen Tupel (kursiv gesetzt) verursachen einen Informationsverlust.

| Biertrinker | | |
|-------------|---------|------------|
| Kneipe | Gast | Bier |
| Stiefel | Wacker | Pils |
| Stiefel | Sorglos | Hefeweizen |
| Zwiebel | Wacker | Hefeweizen |

| Besucht | |
|---------|---------|
| Kneipe | Gast |
| Stiefel | Wacker |
| Stiefel | Sorglos |
| Zwiebel | Wacker |

| Trinkt | |
|---------|------------|
| Gast | Bier |
| Wacker | Pils |
| Sorglos | Hefeweizen |
| Wacker | Hefeweizen |

| Besucht \bowtie Trinkt | | |
|--------------------------|---------------|-------------------|
| Kneipe | Gast | Pils |
| Stiefel | Wacker | Pils |
| <i>Stiefel</i> | <i>Wacker</i> | <i>Hefeweizen</i> |
| Stiefel | Sorglos | Hefeweizen |
| <i>Zwiebel</i> | <i>Wacker</i> | <i>Pils</i> |
| Zwiebel | Wacker | Hefeweizen |

Eine Zerlegung von \mathcal{R} in $\mathcal{R}_1, \dots, \mathcal{R}_n$ heißt *abhängigkeitsbewahrend* (auch genannt *hüllentreu*) falls die Menge der ursprünglichen funktionalen Abhängigkeiten äquivalent ist zur Vereinigung der funktionalen Abhängigkeiten jeweils eingeschränkt auf eine Zerlegungsrelation, d. h.

- $F_{\mathcal{R}} \equiv (F_{\mathcal{R}_1} \cup \dots \cup F_{\mathcal{R}_n})$ bzw.
- $F_{\mathcal{R}}^+ = (F_{\mathcal{R}_1} \cup \dots \cup F_{\mathcal{R}_n})^+$

Es folgt eine Relation *PLZverzeichnis*, die in zwei Tabellen zerlegt wurde. Fettgedruckt sind die jeweiligen Schlüssel.

| PLZverzeichnis | | | |
|----------------|--------------|---------------|-------|
| Ort | BLand | Straße | PLZ |
| Frankfurt | Hessen | Goethestraße | 60313 |
| Frankfurt | Hessen | Galgenstraße | 60437 |
| Frankfurt | Brandenburg | Goethestraße | 15234 |

| Straßen | |
|------------|---------------|
| PLZ | Straße |
| 15234 | Goethestraße |
| 60313 | Goethestraße |
| 60437 | Galgenstraße |

| Orte | | |
|-----------|-------------|------------|
| Ort | BLand | PLZ |
| Frankfurt | Hessen | 60313 |
| Frankfurt | Hessen | 60437 |
| Frankfurt | Brandenburg | 15234 |

Es sollen die folgenden funktionalen Abhängigkeiten gelten:

- $\{\text{PLZ}\} \rightarrow \{\text{Ort, BLand}\}$
- $\{\text{Straße, Ort, BLand}\} \rightarrow \{\text{PLZ}\}$

Die Zerlegung ist verlustlos, da PLZ das einzige gemeinsame Attribut ist und $\{\text{PLZ}\} \rightarrow \{\text{Ort, BLand}\}$ gilt.

Die funktionale Abhängigkeit $\{\text{Straße, Ort, BLand}\} \rightarrow \{\text{PLZ}\}$ ist jedoch keiner der beiden Relationen zuzuordnen, so daß diese Zerlegung nicht abhängigkeiterhaltend ist.

Folgende Auswirkung ergibt sich: Der Schlüssel von *Straßen* ist $\{\text{PLZ, Straße}\}$ und erlaubt das Hinzufügen des Tupels [15235, Goethestraße].

Der Schlüssel von *Orte* ist $\{\text{PLZ}\}$ und erlaubt das Hinzufügen des Tupels [Frankfurt, Brandenburg, 15235]. Beide Relationen sind lokal konsistent, aber nach einem Join wird die Verletzung der Bedingung $\{\text{Straße, Ort, BLand}\} \rightarrow \{\text{PLZ}\}$ entdeckt.

11.6 Erste Normalform

Ein Relationenschema \mathcal{R} ist in erster Normalform, wenn alle Attribute atomare Wertebereiche haben. Verboten sind daher zusammengesetzte oder mengenwertige Domänen.

Zum Beispiel müßte die Relation

| Eltern | | |
|--------|--------|---------------|
| Vater | Mutter | Kinder |
| Johann | Martha | {Else, Lucia} |
| Johann | Maria | {Theo, Josef} |
| Heinz | Martha | {Cleo} |

„flachgeklopft“ werden zur Relation

| Eltern | | |
|--------|--------|-------|
| Vater | Mutter | Kind |
| Johann | Martha | Else |
| Johann | Martha | Lucia |
| Johann | Maria | Theo |
| Johann | Maria | Josef |
| Heinz | Martha | Cleo |

11.7 Zweite Normalform

Ein Attribut heißt *Primärattribut*, wenn es in mindestens einem Schlüsselkandidaten vorkommt, andernfalls heißt es Nichtprimärattribut.

Ein Relationenschema \mathcal{R} ist in zweiter Normalform falls gilt:

- \mathcal{R} ist in der ersten Normalform
- Jedes Nichtprimär-Attribut $A \in \mathcal{R}$ ist voll funktional abhängig von jedem Schlüsselkandidaten.

Seien also $\kappa_1, \dots, \kappa_n$ die Schlüsselkandidaten in einer Menge F von FDs. Sei $A \in \mathcal{R} - (\kappa_1 \cup \dots \cup \kappa_n)$ ein Nichtprimärattribut. Dann muß für $1 \leq j \leq n$ gelten:

$$\kappa_j \twoheadrightarrow A \in F^+$$

Folgende Tabelle verletzt offenbar diese Bedingung:

| StudentenBelegung | | | |
|-------------------|--------|--------------|----------|
| MatrNr | VorlNr | Name | Semester |
| 26120 | 5001 | Fichte | 10 |
| 27550 | 5001 | Schopenhauer | 6 |
| 27550 | 4052 | Schopenhauer | 6 |
| 28106 | 5041 | Carnap | 3 |
| 28106 | 5052 | Carnap | 3 |
| 28106 | 5216 | Carnap | 3 |
| 28106 | 5259 | Carnap | 3 |
| ... | ... | ... | ... |

Abbildung 11.1 zeigt die funktionalen Abhängigkeiten der Relation *StudentenBelegung*. Offenbar ist diese Relation nicht in der zweiten Normalform, denn *Name* ist nicht voll funktional abhängig vom Schlüsselkandidaten $\{\text{MatrNr}, \text{VorlNr}\}$, weil der Name alleine von der Matrikelnummer abhängt.

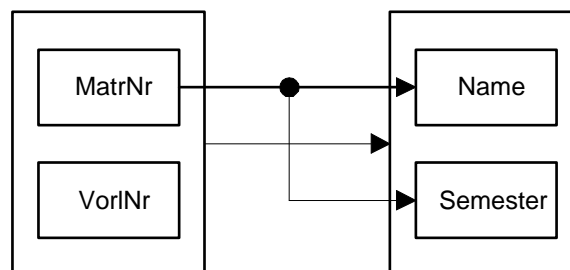


Abbildung 11.1: Graphische Darstellung der funktionalen Abhängigkeiten von StudentenBelegung

Als weiteres Beispiel betrachten wir die Relation

$$\text{Hörsaal} : \{ [\text{Vorlesung}, \text{Dozent}, \text{Termin}, \text{Raum}] \}$$

Eine mögliche Ausprägung könnte sein:

| Vorlesung | Dozent | Termin | Raum |
|------------------|----------|-----------|--------|
| Backen ohne Fett | Kant | Mo, 10:15 | 32/102 |
| Selber Atmen | Sokrates | Mo, 14:15 | 31/449 |
| Selber Atmen | Sokrates | Di, 14:15 | 31/449 |
| Schneller Beten | Sokrates | Fr, 10:15 | 31/449 |

Die Schlüsselkandidaten lauten:

- {Vorlesung, Termin}
- {Dozent, Termin}
- {Raum, Termin}

Alle Attribute kommen in mindestens einem Schlüsselkandidaten vor. Also gibt es keine Nichtprimärattribute, also ist die Relation in zweiter Normalform.

11.8 Dritte Normalform

Wir betrachten die Relation

Student : {[MatrNr, Name, Fachbereich, Dekan]}

Eine mögliche Ausprägung könnte sein:

| MatrNr | Name | Fachbereich | Dekan |
|--------|--------------|-------------|------------|
| 29555 | Feuerbach | 6 | Matthies |
| 27550 | Schopenhauer | 6 | Matthies |
| 26120 | Fichte | 4 | Kapphan |
| 25403 | Jonas | 6 | Matthies |
| 28106 | Carnap | 7 | Weingarten |

Offenbar ist *Student* in der zweiten Normalform, denn die Nichtprimärattribute *Name*, *Fachbereich* und *Dekan* hängen voll funktional vom einzigen Schlüsselkandidat *MatrNr* ab.

Allerdings bestehen unschöne Abhängigkeiten zwischen den Nichtprimärattributen, z. B. hängt *Dekan* vom *Fachbereich* ab. Dies bedeutet, daß bei einem Dekanswechsel mehrere Tupel geändert werden müssen.

Seien X, Y, Z Mengen von Attributen eines Relationenschemas \mathcal{R} mit Attributmenge U . Z heißt *transitiv abhängig* von X , falls gilt

$$\begin{aligned} X \cap Z &= \emptyset \\ \exists Y \subset U : X \cap Y &= \emptyset, Y \cap Z = \emptyset \\ X \rightarrow Y \rightarrow Z, Y &\not\rightarrow X \end{aligned}$$

Zum Beispiel ist in der Relation *Student* das Attribut *Dekan* transitiv abhängig von *MatrNr*:

$$\text{MatrNr} \not\rightarrow \text{Fachbereich} \rightarrow \text{Dekan}$$

Ein Relationenschema \mathcal{R} ist in dritter Normalform falls gilt

- \mathcal{R} ist in zweiter Normalform
- Jedes Nichtprimärattribut ist nicht-transitiv abhängig von jedem Schlüsselkandidaten.

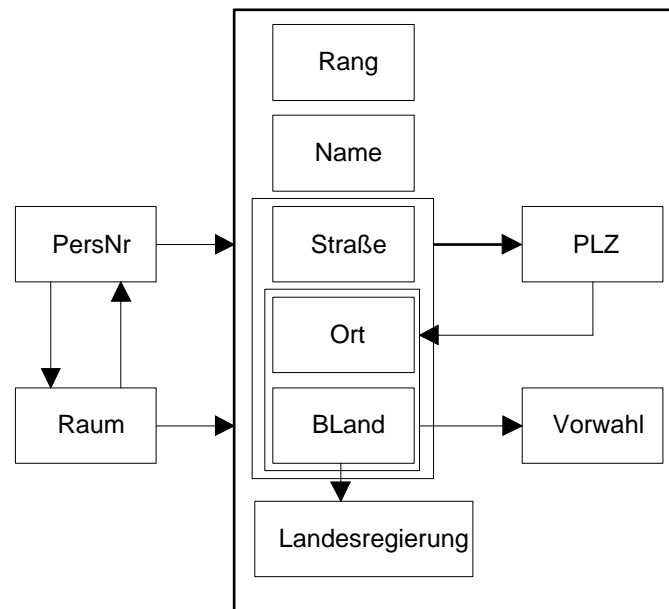


Abbildung 11.2: Graphische Darstellung der funktionalen Abhängigkeiten von ProfessorenAdr

Als Beispiel betrachten wir die bereits bekannte Relation

ProfessorenAdr : {[PersNr, Name, Rang, Raum, Ort, Straße
PLZ, Vorwahl, BLand, Landesregierung]}

Abbildung 11.2 zeigt die funktionalen Abhängigkeiten in der graphischen Darstellung. Offenbar ist die Relation nicht in der dritten Normalform, da das Nichtprimärattribut *Vorwahl* transitiv abhängig vom Schlüsselkandidaten *PersNr* ist:

$$PersNr \xrightarrow{t} \{Ort, BLand\} \rightarrow Vorwahl$$

11.9 Boyce-Codd Normalform

Die Boyce-Codd Normalform (BCNF) stellt nochmals eine Verschärfung dar. Ein Relationenschema \mathcal{R} mit funktionalen Abhängigkeiten F ist in BCNF, falls für jede funktionale Abhängigkeit $\alpha \rightarrow \beta$ mindestens eine der folgenden beiden Bedingungen gilt:

- $\beta \subseteq \alpha$, d.h. die Abhängigkeit ist trivial oder
- α ist ein Superschlüssel von \mathcal{R}

Betrachten wir die folgende Relation *Städte*:

Städte: {[Ort, BLand, Ministerpräsident, EW]}

| Städte | | | |
|-----------|-------------|-------------------|---------|
| Ort | BLand | Ministerpräsident | EW |
| Frankfurt | Hessen | Koch | 660.000 |
| Frankfurt | Brandenburg | Platzek | 70.000 |
| Bonn | NRW | Steinbrück | 300.000 |
| Lotte | NRW | Steinbrück | 14.000 |
| ... | ... | ... | ... |

Offenbar gibt es die folgenden funktionalen Abhängigkeiten

$$\begin{aligned}
 fd_1 & : \{\text{Ort, Bland}\} \rightarrow \{\text{EW}\} \\
 fd_2 & : \{\text{BLand}\} \rightarrow \{\text{Ministerpräsident}\} \\
 fd_3 & : \{\text{Ministerpräsident}\} \rightarrow \{\text{Bland}\}
 \end{aligned}$$

Daraus ergeben sich die folgenden beiden Schlüsselkandidaten

- $\kappa_1 = \{\text{Ort, Bland}\}$
- $\kappa_2 = \{\text{Ort, Ministerpräsident}\}$

Städte ist in dritter Normalform, denn das einzige Nichtprimärattribut *EW* ist nicht-transitiv abhängig von beiden Schlüsselkandidaten.

Städte ist jedoch nicht in Boyce-Codd Normalform, da die linken Seiten der funktionalen Abhängigkeiten fd_2 und fd_3 keine Superschlüssel sind.

Obacht: Um Relationen in dritter Normalform oder Boyce-Codd Normalform zu erhalten, ist häufig eine starke Aufsplittung erforderlich. Dies führt natürlich zu erhöhtem Aufwand bei Queries, da ggf. mehrere Verbundoperationen erforderlich werden.

Kapitel 12

Transaktionsverwaltung

12.1 Begriffe

Unter einer *Transaktion* versteht man die Bündelung mehrerer Datenbankoperationen zu einer Einheit. Verwendet werden Transaktionen im Zusammenhang mit

- **Mehrbenutzersynchronisation** (Koordinierung von mehreren Benutzerprozessen),
- **Recovery** (Behebung von Fehlersituationen).

Die Folge der Operationen (lesen, ändern, einfügen, löschen) soll die Datenbank von einem konsistenten Zustand in einen anderen konsistenten Zustand überführen.

Als Beispiel betrachten wir die Überweisung von 50,- Euro von Konto A nach Konto B:

```
read(A, a);  
a := a - 50;  
write(A, a);  
read(B, b);  
b := b + 50;  
write(B, b);
```

Offenbar sollen entweder alle oder keine Befehle der Transaktion ausgeführt werden.

12.2 Operationen auf Transaktionsebene

Zur Steuerung der Transaktionsverwaltung sind folgende Operationen notwendig:

- **begin of transaction (BOT):** Markiert den Anfang einer Transaktion.
- **commit:** Markiert das Ende einer Transaktion. Alle Änderungen seit dem letzten BOT werden festgeschrieben.

- **abort:** Markiert den Abbruch einer Transaktion. Die Datenbasis wird in den Zustand vor Beginn der Transaktion zurückgeführt.
- **define savepoint:** Markiert einen zusätzlichen Sicherungspunkt.
- **backup transaction:** Setzt die Datenbasis auf den jüngsten Sicherungspunkt zurück.

12.3 Abschluß einer Transaktion

Der erfolgreiche Abschluß einer Transaktion erfolgt durch eine Sequenz der Form

$$BOT \ op_1; \ op_2; \ \dots; \ op_n; \ commit$$

Der erfolglose Abschluß einer Transaktion erfolgt entweder durch eine Sequenz der Form

$$BOT \ op_1; \ op_2; \ \dots; \ op_j; \ abort$$

oder durch das Auftreten eines Fehlers

$$BOT \ op_1; \ op_2; \ \dots; \ op_k; \ < \text{Fehler} >$$

In diesen Fällen muß der Transaktionsverwalter auf den Anfang der Transaktion zurücksetzen.

12.4 Eigenschaften von Transaktionen

Die Eigenschaften des Transaktionskonzepts werden unter der Abkürzung *ACID* zusammengefaßt:

- **Atomicity:** Eine Transaktion stellt eine nicht weiter zerlegbare Einheit dar mit dem Prinzip *alles-oder-nichts*.
- **Consistency:** Nach Abschluß der Transaktion liegt wieder ein konsistenter Zustand vor, während der Transaktion sind Inkonsistenzen erlaubt.
- **Isolation:** Nebenläufig ausgeführte Transaktionen dürfen sich nicht beeinflussen, d. h. jede Transaktion hat den Effekt, den sie verursacht hätte, als wäre sie allein im System.
- **Durability:** Die Wirkung einer erfolgreich abgeschlossenen Transaktion bleibt dauerhaft in der Datenbank (auch nach einem späteren Systemfehler).

12.5 Transaktionsverwaltung in SQL

In SQL-92 werden Transaktionen implizit begonnen mit Ausführung der ersten Anweisung. Eine Transaktion wird abgeschlossen durch

- **commit work:** Alle Änderungen sollen festgeschrieben werden (ggf. nicht möglich wegen Konsistenzverletzungen).

- **rollback work:** Alle Änderungen sollen zurückgesetzt werden (ist immer möglich).

Innerhalb einer Transaktion sind Inkonsistenzen erlaubt. Im folgenden Beispiel fehlt vorübergehend der Professoreintrag zur Vorlesung:

```
insert into Vorlesungen
values (5275, 'Kernphysik', 3, 2141);
insert into Professoren
values (2141, 'Meitner', 'C4', 205);
commit work;
```

12.6 Zustandsübergänge einer Transaktion

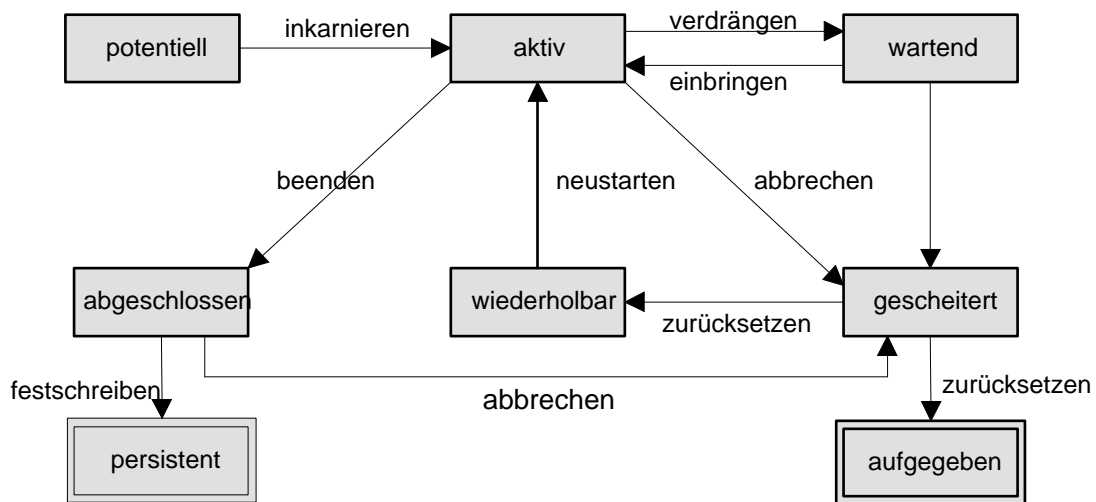


Abbildung 12.1: Zustandsübergangsdiagramm für Transaktionen

Abbildung 12.1 zeigt die möglichen Übergänge zwischen den Zuständen:

- **potentiell:** Die Transaktion ist codiert und wartet auf ihren Einsatz.
- **aktiv:** Die Transaktion arbeitet.
- **wartend:** Die Transaktion wurde vorübergehend angehalten
- **abgeschlossen:** Die Transaktion wurde durch einen commit-Befehl beendet.
- **persistent:** Die Wirkung einer abgeschlossenen Transaktion wird dauerhaft gemacht.
- **gescheitert:** Die Transaktion ist wegen eines Systemfehlers oder durch einen abort-Befehl abgebrochen worden.
- **wiederholbar:** Die Transaktion wird zur erneuten Ausführung vorgesehen.
- **aufgegeben:** Die Transaktion wird als nicht durchführbar eingestuft.

12.7 Transaktionsverwaltung beim SQL-Server 2000

Listing 12.1 zeigt ein Beispiel für den Einsatz einer Transaktion. Durch das explizite Kommando `begin transaction` sind nach dem `insert` solange andere Transaktionen blockiert, bis durch das explizite `commit work` die Transaktion abgeschlossen wird.

```
begin transaction
insert into professoren
values(55555,'Erika','C4',333,1950-12-24)
select * from professoren where name='Erika'
commit work
```

Listing 12.1: Beispiel für Commit

Listing 12.2 zeigt ein Beispiel für die Möglichkeit, die Auswirkungen einer Transaktion zurückzunehmen. Der zweite `select`-Befehl wird den Studenten mit Namen Fichte nicht auflisten. Andere Transaktionen sind blockiert. Nach dem `Rollback`-Befehl taucht der Student Fichte wieder auf.

```
begin transaction
select * from studenten
delete from studenten where name='Fichte'
select * from studenten
rollback transaction
select * from studenten
```

Listing 12.2: Beispiel für Rollback

Kapitel 13

Recovery

Aufgabe der Recovery-Komponente des Datenbanksystems ist es, nach einem Fehler den jüngsten konsistenten Datenbankzustand wiederherzustellen.

13.1 Fehlerklassen

Wir unterscheiden drei Fehlerklassen:

1. lokaler Fehler in einer noch nicht festgeschriebenen Transaktion,
2. Fehler mit Hauptspeicherverlust,
3. Fehler mit Hintergrundspeicherverlust.

13.1.1 Lokaler Fehler einer Transaktion

Typische Fehler in dieser Fehlerklasse sind

- Fehler im Anwendungsprogramm,
- expliziter Abbruch (**abort**) der Transaktion durch den Benutzer,
- systemgesteuerter Abbruch einer Transaktion, um beispielsweise eine Verklemmung (Deadlock) zu beheben.

Diese Fehler werden behoben, indem alle Änderungen an der Datenbasis, die von dieser noch aktiven Transaktion verursacht wurden, rückgängig gemacht werden (*lokales Undo*). Dieser Vorgang tritt recht häufig auf und sollte in wenigen Millisekunden abgewickelt sein.

13.1.2 Fehler mit Hauptspeicherverlust

Ein Datenbankverwaltungssystem manipuliert Daten innerhalb eines *Datenbankpuffers*, dessen Seiten zuvor aus dem Hintergrundspeicher *eingelagert* worden sind und nach gewisser Zeit (durch Ver-

drängung) wieder *ausgelagert* werden müssen. Dies bedeutet, daß die im Puffer durchgeführten Änderungen erst mit dem Zurückschreiben in die materialisierte Datenbasis permanent werden. Abbildung 13.1 zeigt eine Seite P_A , in die das von A nach A' geänderte Item bereits zurückgeschrieben wurde, während die Seite P_C noch das alte, jetzt nicht mehr aktuelle Datum C enthält.

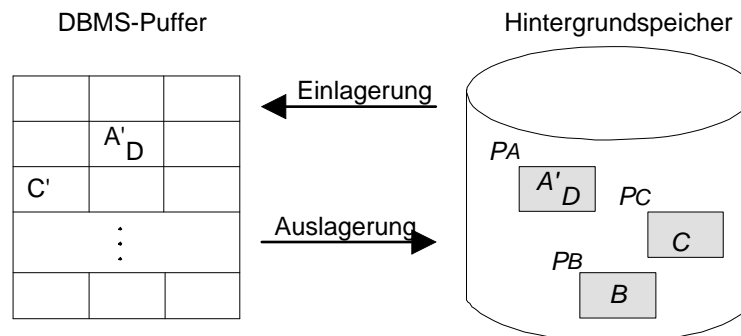


Abbildung 13.1: Schematische Darstellung der zweistufigen Speicherhierarchie

Bei einem Verlust des Hauptspeicherinhalts verlangt das Transaktionsparadigma, daß

- alle durch nicht abgeschlossene Transaktionen schon in die materialisierte Datenbasis eingebrachten Änderungen rückgängig gemacht werden (*globales undo*) und
- alle noch nicht in die materialisierte Datenbasis eingebrachten Änderungen durch abgeschlossene Transaktionen nachvollzogen werden (*globales redo*).

Fehler dieser Art treten im Intervall von Tagen auf und sollten mit Hilfe einer Log-Datei in wenigen Minuten behoben sein.

13.1.3 Fehler mit Hintergrundspeicherverlust

Fehler mit Hintergrundspeicherverlust treten z.B in folgenden Situationen auf:

- *head crash*, der die Platte mit der materialisierten Datenbank zerstört,
- Feuer/Erdbeben, wodurch die Platte zerstört wird,
- Fehler im Systemprogramm (z. B. im Plattentreiber).

Solche Situationen treten sehr selten auf (etwa im Zeitraum von Monaten oder Jahren). Die Restaurierung der Datenbasis geschieht dann mit Hilfe einer (hoffentlich unversehrten) Archiv-Kopie der materialisierten Datenbasis und mit einem Log-Archiv mit allen seit Anlegen der Datenbasis-Archivkopie vollzogenen Änderungen.

13.2 Die Speicherhierarchie

13.2.1 Ersetzen von Pufferseiten

Eine Transaktion referiert Daten, die über mehrere Seiten verteilt sind. Für die Dauer eines Zugriffs wird die jeweilige Seite im Puffer *fixiert*, wodurch ein Auslagern verhindert wird. Werden Daten auf einer fixierten Seite geändert, so wird die Seite als *dirty* markiert. Nach Abschluß der Operation wird der *FIX*-Vermerk wieder gelöscht und die Seite ist wieder für eine Ersetzung freigegeben.

Es gibt zwei Strategien in Bezug auf das Ersetzen von Seiten:

- \neg *steal* : Die Ersetzung von Seiten, die von einer noch aktiven Transaktion modifiziert wurden, ist ausgeschlossen.
- *steal* : Jede nicht fixierte Seite darf ausgelagert werden.

Bei der \neg *steal*-Strategie werden niemals Änderungen einer noch nicht abgeschlossenen Transaktion in die materialisierte Datenbasis übertragen. Bei einem *rollback* einer noch aktiven Transaktion braucht man sich also um den Zustand des Hintergrundspeichers nicht zu kümmern, da die Transaktion vor dem **commit** keine Spuren hinterlassen hat. Bei der *steal*-Strategie müssen nach einem *rollback* die bereits in die materialisierte Datenbasis eingebrachten Änderungen durch ein *Undo* rückgängig gemacht werden.

13.2.2 Zurückschreiben von Pufferseiten

Es gibt zwei Strategien in Bezug auf die Wahl des Zeitpunkts zum Zurückschreiben von modifizierten Seiten:

- *force*: Beim **commit** einer Transaktion werden alle von ihr modifizierten Seiten in die materialisierte Datenbasis zurückkopiert.
- \neg *force*: Modifizierte Seiten werden nicht unmittelbar nach einem **commit**, sondern ggf. auch später, in die materialisierte Datenbasis zurückkopiert.

Bei der \neg *force*-Strategie müssen daher weitere Protokoll-Einträge in der Log-Datei notiert werden, um im Falle eines Fehlers die noch nicht in die materialisierte Datenbasis propagierten Änderungen nachvollziehen zu können. Tabelle 13.1 zeigt die vier Kombinationsmöglichkeiten.

| | force | \neg force |
|--------------|--|---|
| \neg steal | <ul style="list-style-type: none"> • kein Redo • kein Undo | <ul style="list-style-type: none"> • Redo • kein Undo |
| steal | <ul style="list-style-type: none"> • kein Redo • Undo | <ul style="list-style-type: none"> • Redo • Undo |

Tabelle 13.1: Kombinationsmöglichkeiten beim Einbringen von Änderungen

Auf den ersten Blick scheint die Kombination *force* und \neg *steal* verlockend. Allerdings ist das sofortige Ersetzen von Seiten nach einem **commit** sehr unwirtschaftlich, wenn solche Seiten sehr intensiv auch von anderen, noch aktiven Transaktionen benutzt werden (*hot spots*).

13.2.3 Einbringstrategie

Es gibt zwei Strategien zur Organisation des Zurückschreibens:

- *update-in-place*: Jeder eingelagerten Seite im Datenbankpuffer entspricht eine Seite im Hintergrundspeicher, auf die sie kopiert wird im Falle einer Modifikation.
- Twin-Block-Verfahren: Jeder eingelagerten Seite P im Datenbankpuffer werden zwei Seiten P^0 und P^1 im Hintergrundspeicher zugeordnet, die den letzten bzw. vorletzten Zustand dieser Seite in der materialisierten Datenbasis darstellen. Das Zurückschreiben erfolgt jeweils auf den vorletzten Stand, sodaß bei einem Fehler während des Zurückschreibens der letzte Stand noch verfügbar ist.

13.3 Protokollierung der Änderungsoperationen

Wir gehen im weiteren von folgender Systemkonfiguration aus:

- *steal* : Nicht fixierte Seiten können jederzeit ersetzt werden.
- *-force* : Geänderte Seiten werden kontinuierlich zurückgeschrieben.
- *update-in-place* : Jede Seite hat genau einen Heimatplatz auf der Platte.
- *Kleine Sperrgranulate* : Verschiedene Transaktionen manipulieren verschiedene Records auf derselben Seite. Also kann eine Seite im Datenbankpuffer sowohl Änderungen einer abgeschlossenen Transaktion als auch Änderungen einer noch nicht abgeschlossenen Transaktion enthalten.

13.3.1 Rücksetzbare Historien

Wie im vorigen Kapitel geschildert wurde, überwacht der Scheduler die Serialisierbarkeit von Transaktionen. Um auch Recovery-Maßnahmen durchführen zu können, verlangen wir jetzt zusätzlich die Verwendung von *rücksetzbaren Historien*, die auf den Schreib- und Leseabhängigkeiten basieren.

Wir sagen, daß in einer Historie H die Transaktion T_i von der Transaktion T_j liest, wenn folgendes gilt:

- T_j schreibt ein Datum A , das T_i nachfolgend liest.
- T_j wird nicht vor dem Lesevorgang von T_i zurückgesetzt.
- Alle anderen zwischenzeitlichen Schreibvorgänge auf A durch andere Transaktionen werden vor dem Lesen durch T_i zurückgesetzt.

Eine Historie heißt *rücksetzbar*, falls immer die schreibende Transaktion T_j vor der lesenden Transaktion T_i ihr **commit** ausführt. Anders gesagt: Eine Transaktion darf erst dann ihr **commit** ausführen, wenn alle Transaktionen, von denen sie gelesen hat, beendet sind. Wäre diese Bedingung nicht erfüllt, könnte man die schreibende Transaktion nicht zurücksetzen, da die lesende Transaktion dann mit einem offiziell nie existenten Wert für A ihre Berechnung **committed** hätte.

13.3.2 Struktur der Log-Einträge

Für jede Änderungsoperation einer Transaktion wird folgende Protokollinformationen benötigt:

- Die *Redo*-Information gibt an, wie die Änderung nachvollzogen werden kann.
- Die *Undo*-Information gibt an, wie die Änderung rückgängig gemacht werden kann.
- Die *LSN (Log Sequence Number)* ist eine eindeutige Kennung des Log-Eintrags und wird monoton aufsteigend vergeben.
- Die *Transaktionskennung TA* der ausführenden Transaktion.
- Die *PageID* liefert die Kennung der Seite, auf der die Änderung vollzogen wurde.
- Die *PrevLSN* liefert einen Verweis auf den vorhergehenden Log-Eintrag der jeweiligen Transaktion (wird nur aus Effizienzgründen benötigt).

13.3.3 Beispiel einer Log-Datei

Tabelle 13.2 zeigt die verzahnte Ausführung zweier Transaktionen und das zugehörige Log-File. Zum Beispiel besagt der Eintrag mit der *LSN #3* folgendes:

- Der Log-Eintrag bezieht sich auf Transaktion T_1 und Seite P_A .
- Für ein *Redo* muß A um 50 erniedrigt werden.
- Für ein *Undo* muß A um 50 erhöht werden.
- Der vorhergehende Log-Eintrag hat die *LSN #1*.

| Schritt | T_1 | T_2 | Log |
|---------|-------------------|--------------------|--|
| | | | [LSN, TA, PageID, Redo, Undo, PrevLSN] |
| 1. | BOT | | [#1, T_1 , BOT , 0] |
| 2. | $r(A, a_1)$ | | |
| 3. | | BOT | [#2, T_2 , BOT , 0] |
| 4. | | $r(C, c_2)$ | |
| 5. | $a_1 := a_1 - 50$ | | |
| 6. | $w(A, a_1)$ | | [#3, T_1 , P_A , A-=50, A+=50, #1] |
| 7. | | $c_2 := c_2 + 100$ | |
| 8. | | $w(C, c_2)$ | [#4, T_2 , P_C , C+=100, C-=100, #2] |
| 9. | $r(B, b_1)$ | | |
| 10. | $b_1 := b_1 + 50$ | | |
| 11. | $w(B, b_1)$ | | [#5, T_1 , P_B , B+=50, B-=50, #3] |
| 12. | commit | | [#6, T_1 , commit , #5] |
| 13. | | $r(A, a_2)$ | |
| 14. | | $a_2 := a_2 - 100$ | |
| 15. | | $w(A, a_2)$ | [#7, T_2 , P_A , A-=100, A+=100, #4] |
| 16. | | commit | [#8, T_2 , commit , #7] |

Tabelle 13.2: Verzahnte Ausführung zweier Transaktionen und Log-Datei

13.3.4 Logische versus physische Protokollierung

In dem Beispiel aus Tabelle 13.2 wurden die *Redo*- und die *Undo*-Informationen logisch protokolliert, d.h. durch Angabe der Operation. Eine andere Möglichkeit besteht in der physischen Protokollierung, bei der statt der *Undo*-Operation das sogenannte *Before-Image* und für die *Redo*-Operation das sogenannte *After-Image* gespeichert wird.

Bei der logischen Protokollierung wird

- das *Before-Image* durch Ausführung des *Undo*-Codes aus dem *After-Image* generiert,
- das *After-Image* durch Ausführung des *Redo*-Codes aus dem *Before-Image* generiert.

Um zu erkennen, ob das *Before-Image* oder *After-Image* in der materialisierten Datenbasis enthalten ist, dient die *LSN*. Beim Anlegen eines Log-Eintrages wird die neu generierte *LSN* in einen reservierten Bereich der Seite geschrieben und dann später mit dieser Seite in die Datenbank zurückkopiert. Daraus läßt sich erkennen, ob für einen bestimmten Log-Eintrag das *Before-Image* oder das *After-Image* in der Seite steht:

- Wenn die *LSN* der Seite einen kleineren Wert als die *LSN* des Log-Eintrags enthält, handelt es sich um das *Before-Image*.
- Ist die *LSN* der Seite größer oder gleich der *LSN* des Log-Eintrags, dann wurde bereits das *After-Image* auf den Hintergrundspeicher propagiert.

13.3.5 Schreiben der Log-Information

Bevor eine Änderungsoperation ausgeführt wird, muß der zugehörige Log-Eintrag angelegt werden. Die Log-Einträge werden im *Log-Puffer* im Hauptspeicher zwischengelagert. Abbildung 13.2 zeigt das Wechselspiel zwischen den beteiligten Sicherungskomponenten.

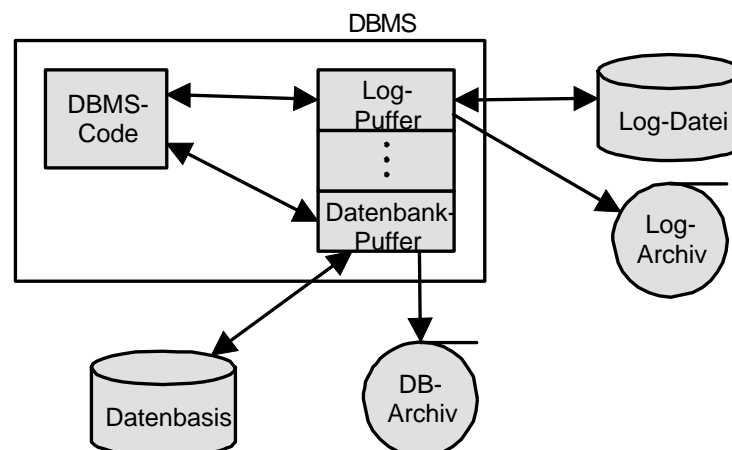


Abbildung 13.2: Speicherhierarchie zur Datensicherung

In modernen Datenbanksystemen ist der Log-Puffer als Ringpuffer organisiert. An einem Ende wird kontinuierlich geschrieben und am anderen Ende kommen laufend neue Einträge hinzu (Abbildung

13.3). Die Log-Einträge werden gleichzeitig auf das temporäre Log (Platte) und auf das Log-Archiv (Magnetband) geschrieben.

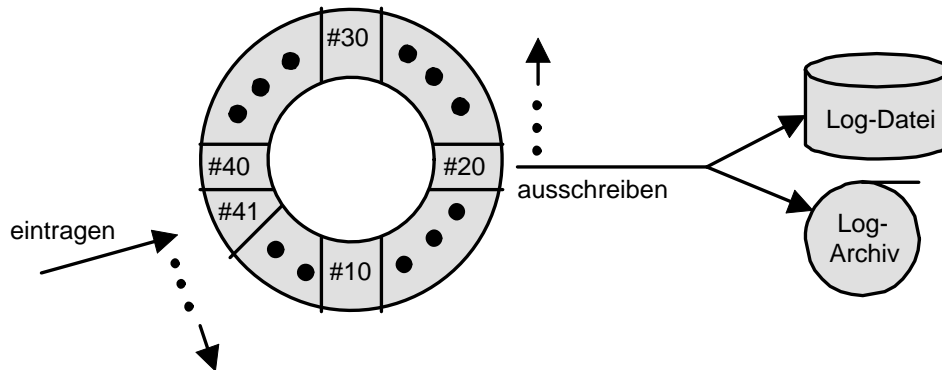


Abbildung 13.3: Log-Ringpuffer

13.3.6 WAL-Prinzip

Beim Schreiben der Log-Information gilt das WAL-Prinzip (Write Ahead Log):

- Bevor eine Transaktion festgeschrieben (**committed**) wird, müssen alle zu ihr gehörenden Log-Einträge geschrieben werden. Dies ist erforderlich, um eine erfolgreich abgeschlossene Transaktion nach einem Fehler nachvollziehen zu können (*redo*).
- Bevor eine modifizierte Seite ausgelagert werden darf, müssen alle Log-Einträge, die zu dieser Seite gehören, in die Log-Datei geschrieben werden. Dies ist erforderlich, um im Fehlerfall die Änderungen nicht abgeschlossener Transaktionen aus den modifizierten Seiten der materialisierten Datenbasis entfernen zu können (*undo*).

13.4 Wiederanlauf nach einem Fehler

Abbildung 13.4 zeigt die beiden Transaktionstypen, die nach einem Fehler mit Verlust des Hauptspeicherinhalts zu behandeln sind:

- Transaktion T_1 ist ein *Winner* und verlangt ein *Redo*.
- Transaktion T_2 ist ein *Loser* und verlangt ein *Undo*.

Der Wiederanlauf geschieht in drei Phasen (Abbildung 13.5):

1. *Analyse*: Die Log-Datei wird von Anfang bis Ende analysiert, um die *Winner* (kann **commit** vorweisen) und die *Loser* (kann kein **commit** vorweisen) zu ermitteln.
2. *Redo*: Es werden alle protokollierten Änderungen (von Winner und Loser) in der Reihenfolge ihrer Ausführung in die Datenbasis eingebracht, sofern sich nicht bereits das Afterimage des

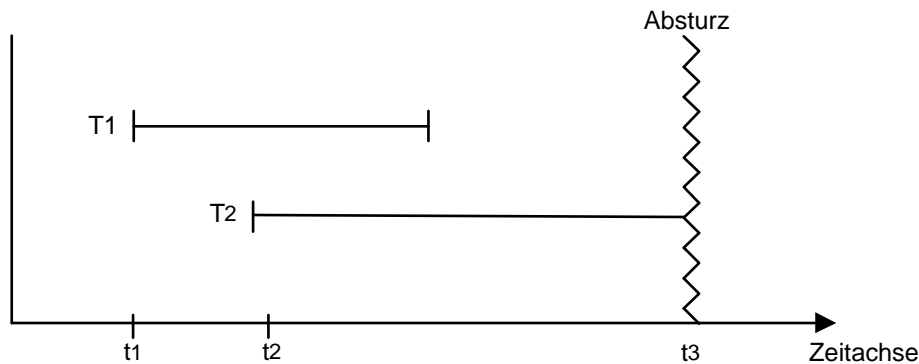


Abbildung 13.4: Zwei Transaktionstypen bei Systemabsturz

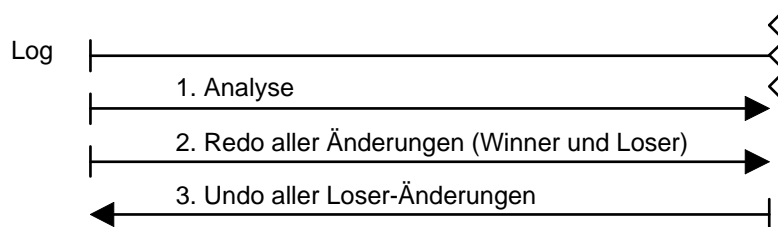


Abbildung 13.5: Wiederanlauf in drei Phasen

Protokolleintrags in der materialisierten Datenbasis befindet. Dies ist dann der Fall, wenn die *LSN* der betreffenden Seite gleich oder größer ist als die *LSN* des Protokolleintrags.

3. Undo: Die Log-Datei wird in umgekehrter Richtung, d.h. von hinten nach vorne, durchlaufen. Dabei werden die Einträge von *Winner*-Transaktionen übergangen. Für jeden Eintrag einer *Loser*-Transaktion wird die *Undo*-Operation durchgeführt.

Spezielle Vorkehrungen müssen getroffen werden, um auch Fehler beim Wiederanlauf kompensieren zu können. Es wird nämlich verlangt, daß die *Redo*- und *Undo*-Phasen *idempotent* sind, d.h. sie müssen auch nach mehrmaliger Ausführung (hintereinander) immer wieder dasselbe Ergebnis liefern:

$$\begin{aligned} \text{undo}(\text{undo}(\dots(\text{undo}(a))\dots)) &= \text{undo}(a) \\ \text{redo}(\text{redo}(\dots(\text{redo}(a))\dots)) &= \text{redo}(a) \end{aligned}$$

Für die *Redo*-Phase wird dies erreicht, indem jeweils die zum Log-Eintrag gehörende Log-Sequenznummer in den reservierten Bereich der Seite geschrieben und beim Zurückschreiben persistent wird. Hierdurch kann bei einem erneuten *Redo* überprüft werden, ob sich auf der Seite bereits das *After Image* befindet oder auf dem *Before Image* noch die *Redo*-Operation angewendet werden muss.

Während der *Redo*-Phase wird für jede durchgeführte *Undo*-Operation ein *Compensation Log Record* an die Log-Datei angehängt mit eigener *LSN*, so daß bei einem erneuten Absturz in der nachfolgenden erneuten *Redo*-Phase diese *Undo*-Schritte unter Beachtung ihrer *LSN*-Einträge wiederholt werden können.

13.5 Sicherungspunkte

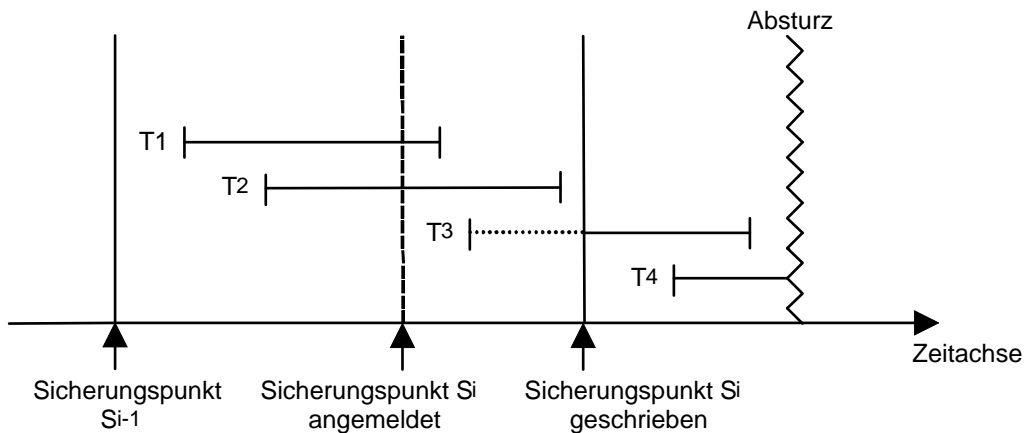


Abbildung 13.6: Transaktionsausführung relativ zu einem Sicherungspunkt

Mit zunehmender Betriebszeit des Datenbanksystems wird die zu verarbeitende Log-Datei immer umfangreicher. Durch einen *Sicherungspunkt* wird eine Position im Log vermerkt, über den man beim Wiederanlauf nicht hinausgehen muß.

Abbildung 13.6 zeigt den dynamischen Verlauf. Nach Anmeldung des neuen Sicherungspunktes S_i wird die noch aktive Transaktion T_2 zu Ende geführt und der Beginn der Transaktion T_3 verzögert. Nun werden alle modifizierten Seiten auf den Hintergrundspeicher ausgeschrieben und ein transaktionskonsistenter Zustand ist mit dem Sicherungspunkt S_i erreicht. Danach kann man mit der Log-Datei wieder von vorne beginnen.

13.6 Verlust der materialisierten Datenbasis

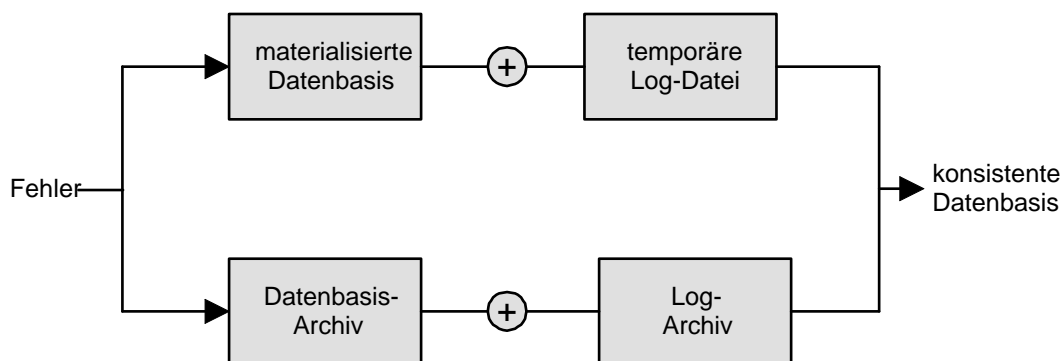


Abbildung 13.7: Zwei Recovery-Arten

Bei Zerstörung der materialisierten Datenbasis oder der Log-Datei kann man aus der Archiv-Kopie und dem Log-Archiv den jüngsten, konsistenten Zustand wiederherstellen.

Abbildung 13.7 faßt die zwei möglichen Recoveryarten nach einem Systemabsturz zusammen:

- Der obere (schnellere) Weg wird bei intaktem Hintergrundspeicher beschriftet.
- Der untere (langsamere) Weg wird bei zerstörtem Hintergrundspeicher beschriftet.

13.7 Datensicherung beim SQL-Server 2000

```
EXEC sp_addumpdevice      -- fuehre ein Sicherungsmedium ein
    'disk',               -- als Datei
    'unidump',           -- logischer Name
    'c:\dump\unidump.dat' -- physikalischer Speicherort

backup database uni to unidump -- sichere Datenbank
```

Sicherung der Datenbank

```
restore database uni      -- restauriere Datenbank
from unidump              -- vom Datenbankarchiv
```

Wiederherstellen der Datenbank

```
EXEC sp_addumpdevice      -- fuehre ein Sicherungsmedium ein
    'disk',               -- als Datei
    'unilog',            -- logischer Name
    'c:\dump\unilog.dat' -- physikalischer Speicherort

backup log uni to unilog  -- sichere Log-File
```

Sicherung des Log-Files

```
restore log uni          -- restauriere Logfile
from unilog              -- vom Log-Archiv
```

Wiederherstellen des Log-Files

Kapitel 14

Mehrbenutzersynchronisation

14.1 Multiprogramming

Unter *Multiprogramming* versteht man die nebenläufige, verzahnte Ausführung mehrerer Programme. Abbildung 14.1 zeigt exemplarisch die dadurch erreichte bessere CPU-Auslastung.

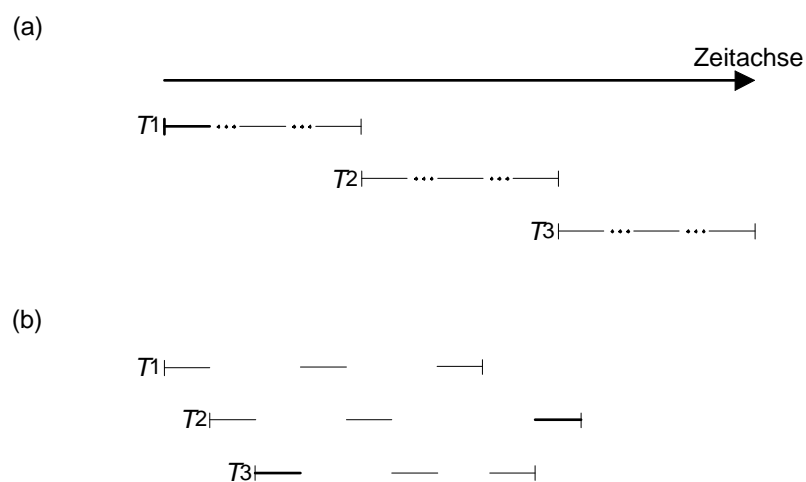


Abbildung 14.1: Einbenutzerbetrieb (a) versus Mehrbenutzerbetrieb (b)

14.2 Fehler bei unkontrolliertem Mehrbenutzerbetrieb

14.2.1 Lost Update

Transaktion T_1 transferiert 300,- Euro von Konto A nach Konto B,
Transaktion T_2 schreibt Konto A die 3 % Zinseinkünfte gut.

Den Ablauf zeigt Tabelle 13.1. Die im Schritt 5 von Transaktion T_2 gutgeschriebenen Zinsen gehen verloren, da sie in Schritt 6 von Transaktion T_1 wieder überschrieben werden.

| Schritt | T_1 | T_2 |
|---------|--------------------|---------------------|
| 1. | read(A, a_1) | |
| 2. | $a_1 := a_1 - 300$ | |
| 3. | | read(A, a_2) |
| 4. | | $a_2 := a_2 * 1.03$ |
| 5. | | write(A, a_2) |
| 6. | write(A, a_1) | |
| 7. | read(B, b_1) | |
| 8. | $b_1 := b_1 + 300$ | |
| 9. | write(B, b_1) | |

Tabelle 13.1: Beispiel für Lost Update

14.2.2 Dirty Read

Transaktion T_2 schreibt die Zinsen gut anhand eines Betrages, der nicht in einem konsistenten Zustand der Datenbasis vorkommt, da Transaktion T_1 später durch ein **abort** zurückgesetzt wird. Den Ablauf zeigt Tabelle 13.2.

| Schritt | T_1 | T_2 |
|---------|--------------------|---------------------|
| 1. | read(A, a_1) | |
| 2. | $a_1 := a_1 - 300$ | |
| 3. | write(A, a_1) | |
| 4. | | read(A, a_2) |
| 5. | | $a_2 := a_2 * 1.03$ |
| 6. | | write(A, a_2) |
| 7. | read(B, b_1) | |
| 8. | ... | |
| 9. | abort | |

Tabelle 13.2: Beispiel für Dirty Read

14.2.3 Phantomproblem

Während der Abarbeitung der Transaktion T_2 fügt Transaktion T_1 ein Datum ein, welches T_2 liest. Dadurch berechnet Transaktion T_2 zwei unterschiedliche Werte. Den Ablauf zeigt Tabelle 13.3.

| T_1 | T_2 |
|--|--|
| | select sum(KontoStand) from Konten; |
| insert into Konten values ($C, 1000, \dots$); | select sum(KontoStand) from Konten; |

Tabelle 13.3: Beispiel für das Phantomproblem

14.3 Serialisierbarkeit

Eine *Historie*, auch genannt *Schedule*, für eine Menge von Transaktionen ist eine Festlegung für die Reihenfolge sämtlicher relevanter Datenbankoperationen. Ein Schedule heißt *seriell*, wenn alle Schritte einer Transaktion unmittelbar hintereinander ablaufen. Wir unterscheiden nur noch zwischen *read*- und *write*-Operationen.

Zum Beispiel transferiere T_1 einen bestimmten Betrag von A nach B und T_2 transferiere einen Betrag von C nach A. Eine mögliche Historie zeigt Tabelle 13.4.

| Schritt | T_1 | T_2 |
|---------|---------------|---------------|
| 1. | BOT | |
| 2. | read(A) | |
| 3. | | BOT |
| 4. | | read(C) |
| 5. | write(A) | |
| 6. | | write(C) |
| 7. | read(B) | |
| 8. | write(B) | |
| 9. | commit | |
| 10. | | read(A) |
| 11. | | write(A) |
| 12. | | commit |

Tabelle 13.4: Serialisierbare Historie

Offenbar wird derselbe Effekt verursacht, als wenn zunächst T_1 und dann T_2 ausgeführt worden wäre, wie Tabelle 13.5 demonstriert.

| Schritt | T_1 | T_2 |
|---------|---------------|---------------|
| 1. | BOT | |
| 2. | read(A) | |
| 3. | write(A) | |
| 4. | read(B) | |
| 5. | write(B) | |
| 6. | commit | |
| 7. | | BOT |
| 8. | | read(C) |
| 9. | | write(C) |
| 10. | | read(A) |
| 11. | | write(A) |
| 12. | | commit |

Tabelle 13.5: Serielle Historie

Wir nennen deshalb das (verzahnte) Schedule *serialisierbar*.

Tabelle 13.6 zeigt ein Schedule der Transaktionen T_1 und T_3 , welches nicht serialisierbar ist.

| Schritt | T_1 | T_3 |
|---------|---------------|---------------|
| 1. | BOT | |
| 2. | read(A) | |
| 3. | write(A) | |
| 4. | | BOT |
| 5. | | read(A) |
| 6. | | write(A) |
| 7. | | read(B) |
| 8. | | write(B) |
| 9. | | commit |
| 10. | read(B) | |
| 11. | write(B) | |
| 12. | commit | |

Tabelle 13.6: Nicht-serialisierbares Schedule

Der Grund liegt darin, daß bzgl. Datenobjekt A die Transaktion T_1 vor T_3 kommt, bzgl. Datenobjekt B die Transaktion T_3 vor T_1 kommt. Dies ist nicht äquivalent zu einer der beiden möglichen seriellen Ausführungen T_1T_3 oder T_3T_1 .

Im Einzelfall kann die konkrete Anwendungssemantik zu einem äquivalenten seriellen Schedule führen, wie Tabelle 13.7 zeigt.

| Schritt | T_1 | T_3 |
|---------|-------------------|--------------------|
| 1. | BOT | |
| 2. | read(A, a_1) | |
| 3. | $a_1 := a_1 - 50$ | |
| 4. | write(A, a_1) | |
| 5. | | BOT |
| 6. | | read(A, a_2) |
| 7. | | $a_2 := a_2 - 100$ |
| 8. | | write(A, a_2) |
| 9. | | read(B, b_2) |
| 10. | | $b_2 := b_2 + 100$ |
| 11. | | write(B, b_2) |
| 12. | | commit |
| 13. | read(B, b_1) | |
| 14. | $b_1 := b_1 + 50$ | |
| 15. | write(B, b_1) | |
| 16. | commit | |

Tabelle 13.7: Zwei verzahnte Überweisungen

In beiden Fällen wird Konto A mit 150,- Euro belastet und Konto B werden 150,- Euro gutgeschrieben.

Unter einer anderen Semantik würde T_1 einen Betrag von 50,- Euro von A nach B überweisen und Transaktion T_2 würde beiden Konten jeweils 3 % Zinsen gutschreiben. Tabelle 13.8 zeigt den Ablauf.

| Schritt | T_1 | T_3 |
|---------|-------------------|---------------------|
| 1. | BOT | |
| 2. | read(A, a_1) | |
| 3. | $a_1 := a_1 - 50$ | |
| 4. | write(A, a_1) | |
| 5. | | BOT |
| 6. | | read(A, a_2) |
| 7. | | $a_2 := a_2 * 1.03$ |
| 8. | | write(A, a_2) |
| 9. | | read(B, b_2) |
| 10. | | $b_2 := b_2 * 1.03$ |
| 11. | | write(B, b_2) |
| 12. | | commit |
| 13. | read(B, b_1) | |
| 14. | $b_1 := b_1 + 50$ | |
| 15. | write(B, b_1) | |
| 16. | commit | |

Tabelle 13.8: Überweisung verzahnt mit Zinsgutschrift

Offenbar entspricht diese Reihenfolge keiner möglichen seriellen Abarbeitung T_1T_3 oder T_3T_1 , denn es fehlen in jedem Falle Zinsen in Höhe von 3 % von 50,- Euro = 1,50 Euro.

14.4 Theorie der Serialisierbarkeit

Eine *Transaktion* T_i besteht aus folgenden elementaren Operationen:

- $r_i(A)$ zum Lesen von Datenobjekt A,
- $w_i(A)$ zum Schreiben von Datenobjekt A,
- a_i zur Durchführung eines **abort**,
- c_i zur Durchführung eines **commit**.

Eine Transaktion kann nur eine der beiden Operationen **abort** oder **commit** durchführen; diese müssen jeweils am Ende der Transaktion stehen. Implizit wird ein **BOT** vor der ersten Operation angenommen. Wir nehmen für die Transaktion eine feste Reihenfolge der Elementaroperationen an.

Eine *Historie*, auch genannt *Schedule*, ist eine Festlegung der Reihenfolge für sämtliche beteiligten Einzeloperationen.

Gegeben Transaktionen T_i und T_j , beide mit Zugriff auf Datum A. Folgende vier Fälle sind möglich:

- $r_i(A)$ und $r_j(A)$: kein Konflikt, da Reihenfolge unerheblich
- $r_i(A)$ und $w_j(A)$: Konflikt, da Reihenfolge entscheidend
- $w_i(A)$ und $r_j(A)$: Konflikt, da Reihenfolge entscheidend
- $w_i(A)$ und $w_j(A)$: Konflikt, da Reihenfolge entscheidend

Von besonderem Interesse sind die *Konfliktoperationen*.

Zwei Historien H_1 und H_2 über der gleichen Menge von Transaktionen sind äquivalent (in Zeichen $H_1 \equiv H_2$), wenn sie die Konfliktoperationen der nicht abgebrochenen Transaktionen in derselben Reihenfolge ausführen. D. h., für die durch H_1 und H_2 induzierten Ordnungen auf den Elementaroperationen $<_{H_1}$ bzw. $<_{H_2}$ wird verlangt: Wenn p_i und q_j Konfliktoperationen sind mit $p_i <_{H_1} q_j$, dann muß auch $p_i <_{H_2} q_j$ gelten. Die Anordnung der nicht in Konflikt stehenden Operationen ist irrelevant.

14.5 Algorithmus zum Testen auf Serialisierbarkeit:

Input: Eine Historie H für Transaktionen T_1, \dots, T_k .

Output: entweder: „nein, ist nicht serialisierbar“ oder „ja, ist serialisierbar“ + serielles Schedule

Idee: Bilde gerichteten Graph G, dessen Knoten den Transaktionen entsprechen. Für zwei Konfliktoperationen p_i, q_j aus der Historie H mit $p_i <_H q_j$ fügen wir die Kante $T_i \rightarrow T_j$ in den Graph ein.

Es gilt das **Serialisierbarkeitstheorem:**

Eine Historie H ist genau dann serialisierbar, wenn der zugehörige Serialisierbarkeitsgraph azyklisch ist. Im Falle der Kreisfreiheit läßt sich die äquivalente serielle Historie aus der topologischen Sortierung des Serialisierbarkeitsgraphen bestimmen.

Als Beispiel-Input für diesen Algorithmus verwenden wir die in Tabelle 13.9 gezeigte Historie über den Transaktionen T_1, T_2, T_3 mit insgesamt 14 Operationen.

| Schritt | T_1 | T_2 | T_3 |
|---------|----------|----------|----------|
| 1. | $r_1(A)$ | | |
| 2. | | $r_2(B)$ | |
| 3. | | $r_2(C)$ | |
| 4. | | $w_2(B)$ | |
| 5. | $r_1(B)$ | | |
| 6. | $w_1(A)$ | | |
| 7. | | $r_2(A)$ | |
| 8. | | $w_2(C)$ | |
| 9. | | $w_2(A)$ | |
| 10. | | | $r_3(A)$ |
| 11. | | | $r_3(C)$ |
| 12. | $w_1(B)$ | | |
| 13. | | | $w_3(C)$ |
| 14. | | | $w_3(A)$ |

Tabelle 13.9: Historie H mit drei Transaktionen

Folgende Konfliktoperationen existieren für Historie H:

$$w_2(B) < r_1(B),$$

$$w_1(A) < r_2(A),$$

$$w_2(C) < r_3(C),$$

$$w_2(A) < r_3(A).$$

Daraus ergeben sich die Kanten

$$T_2 \rightarrow T_1,$$

$$T_1 \rightarrow T_2,$$

$$T_2 \rightarrow T_3,$$

$$T_2 \rightarrow T_3.$$

Den resultierenden Graph zeigt Abbildung 14.2

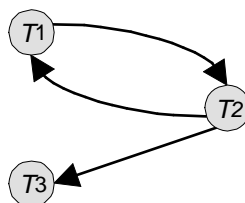


Abbildung 14.2: Der zu Historie H konstruierte Serialisierbarkeitsgraph

Da der konstruierte Graph einen Kreis besitzt, ist die Historie nicht serialisierbar.

14.6 Sperrbasierte Synchronisation

Bei der sperrbasierten Synchronisation wird während des laufenden Betriebs sichergestellt, daß die resultierende Historie serialisierbar bleibt. Dies geschieht durch die Vergabe einer *Sperre* (englisch: *lock*).

Je nach Operation (**read** oder **write**) unterscheiden wir zwei Sperrmodi:

- **S** (shared, read lock, Lesesperre):
Wenn Transaktion T_i eine S-Sperre für Datum A besitzt, kann T_i **read**(A) ausführen. Mehrere Transaktionen können gleichzeitig eine S-Sperre auf dem selben Objekt A besitzen.
- **X** (exclusive, write lock, Schreibsperre):
Ein **write**(A) darf nur die eine Transaktion ausführen, die eine X-Sperre auf A besitzt.

Tabelle 13.10 zeigt die Kompatibilitätsmatrix für die Situationen NL (no lock), S (read lock) und X (write lock).

| | NL | S | X |
|---|----|---|---|
| S | ✓ | ✓ | - |
| X | ✓ | - | - |

Tabelle 13.10: Kompatibilitätsmatrix

Folgendes Zwei-Phasen-Sperrprotokoll (*two phase locking*, *2PL*) garantiert die Serialisierbarkeit:

1. Jedes Objekt muß vor der Benutzung gesperrt werden.
2. Eine Transaktion fordert eine Sperre, die sie schon besitzt, nicht erneut an.
3. Eine Transaktion respektiert vorhandene Sperren gemäß der Verträglichkeitsmatrix und wird ggf. in eine Warteschlange eingereiht.
4. Jede Transaktion durchläuft eine *Wachstumsphase* (nur Sperren anfordern) und dann eine *Schrumpfungsphase* (nur Sperren freigeben).
5. Bei Transaktionsende muß eine Transaktion alle ihre Sperren zurückgeben.

Abbildung 14.3 visualisiert den Verlauf des 2PL-Protokolls. Tabelle 13.11 zeigt eine Verzahnung zweier Transaktionen nach dem 2PL-Protokoll.

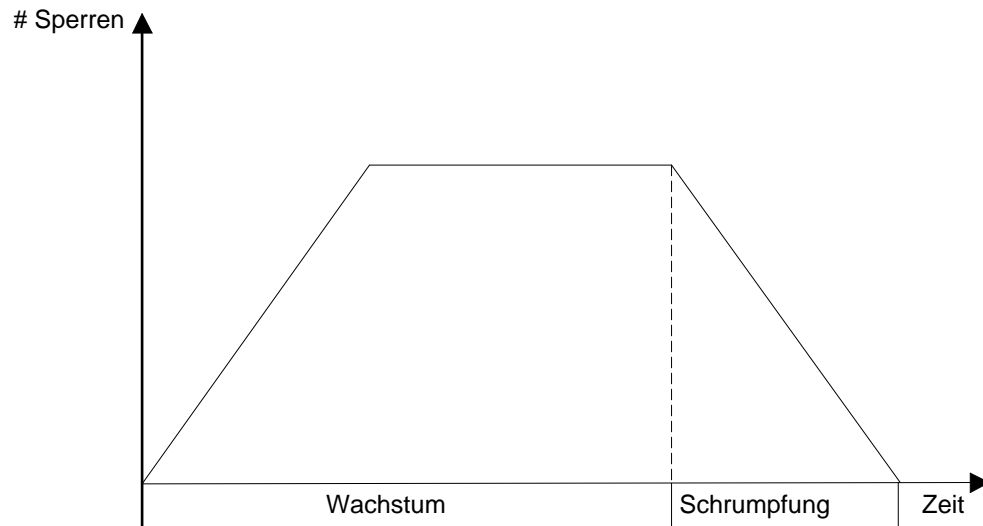


Abbildung 14.3: 2-Phasen-Sperrprotokoll

| Schritt | T_1 | T_2 | Bemerkung |
|---------|-------------------|-------------------|------------------|
| 1. | BOT | | |
| 2. | lockX(A) | | |
| 3. | read(A) | | |
| 4. | write(A) | | |
| 5. | | BOT | |
| 6. | | lockS(A) | T_2 muß warten |
| 7. | lockX(B) | | |
| 8. | read(B) | | |
| 9. | unlockX(A) | | T_2 wecken |
| 10. | | read(A) | |
| 11. | | lockS(B) | T_2 muß warten |
| 12. | write(B) | | |
| 13. | unlockX(B) | | T_2 wecken |
| 14. | | read(B) | |
| 15. | commit | | |
| 16. | | unlockS(A) | |
| 17. | | unlockS(B) | |
| 18. | | commit | |

Tabelle 13.11: Beispiel für 2PL-Protokoll

14.7 Verklemmungen (Deadlocks)

Ein schwerwiegendes Problem bei sperrbasierten Synchronisationsmethoden ist das Auftreten von Verklemmungen (englisch: deadlocks). Tabelle 13.12 zeigt ein Beispiel.

| Schritt | T_1 | T_2 | Bemerkung |
|---------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| 1. | BOT | | |
| 2. | lockX(A) | | |
| 3. | | BOT | |
| 4. | | lockS(B) | |
| 5. | | read(B) | |
| 6. | read(A) | | |
| 7. | write(A) | | |
| 8. | lockX(B) | | T_1 muß warten auf T_2 |
| 9. | | lockS(A) | T_2 muß warten auf T_1 |
| 10. | ... | ... | \Rightarrow <i>Deadlock</i> |

Tabelle 13.12: Ein verklemmter Schedule

Eine Methode zur Erkennung von Deadlocks ist die *Time – out*–Strategie. Falls eine Transaktion innerhalb eines Zeitmaßes (z. B. 1 Sekunde) keinerlei Fortschritt erzielt, wird sie zurückgesetzt. Allerdings ist die Wahl des richtigen Zeitmaßes problematisch.

Eine präzise, aber auch teurere - Methode zum Erkennen von Verklemmungen basiert auf dem sogenannten *Wartegraphen*. Seine Knoten entsprechen den Transaktionen. Eine Kante existiert von T_i nach T_j , wenn T_i auf die Freigabe einer Sperre von T_j wartet. Abbildung 14.4 zeigt ein Beispiel.

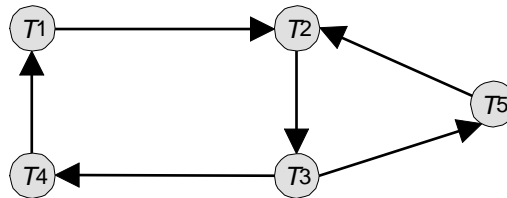


Abbildung 14.4: Wartegraph mit zwei Zyklen

Es gilt der Satz: Die Transaktionen befinden sich in einem Deadlock genau dann, wenn der Wartegraph einen Zyklus aufweist.

Eine Verklemmung wird durch das Zurücksetzen einer Transaktion aufgelöst:

- Minimierung des Rücksetzaufwandes: Wähle jüngste beteiligte Transaktion.
- Maximierung der freigegebenen Ressourcen: Wähle Transaktion mit den meisten Sperren.
- Vermeidung von Verhungern (engl. Starvation): Wähle nicht diejenige Transaktion, die schon oft zurückgesetzt wurde.
- Mehrfache Zyklen: Wähle Transaktion, die an mehreren Zyklen beteiligt ist.

14.8 Hierarchische Sperrgranulate

Bisher wurden alle Sperren auf derselben *Granularität* erworben. Mögliche Sperrgranulate sind:

- Datensatz $\hat{=}$ Tupel
- Seite $\hat{=}$ Block im Hintergrundspeicher
- Segment $\hat{=}$ Zusammenfassung von Seiten
- Datenbasis $\hat{=}$ gesamter Datenbestand

Abbildung 14.5 zeigt die hierarchische Anordnung der möglichen Sperrgranulate.

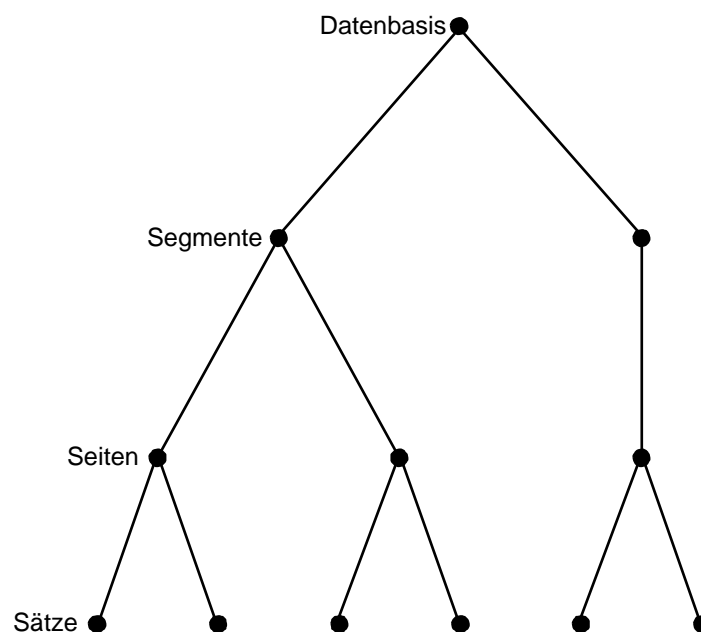


Abbildung 14.5: Hierarchie der Sperrgranulate

Eine Vermischung von Sperrgranulaten hätte folgende Auswirkung. Bei Anforderung einer Sperre für eine Speichereinheit, z.B. ein Segment, müssen alle darunterliegenden Seiten und Sätze auf eventuelle Sperren überprüft werden. Dies bedeutet einen immensen Suchaufwand. Auf der anderen Seite hätte die Beschränkung auf nur eine Sperrgranularität folgende Nachteile:

- Bei zu kleiner Granularität werden Transaktionen mit hohem Datenzugriff stark belastet.
- Bei zu großer Granularität wird der Parallelitätsgrad unnötig eingeschränkt.

Die Lösung des Problems besteht im *multiple granularity locking (MGL)*. Hierbei werden zusätzliche *Intentionssperren* verwendet, welche die Absicht einer weiter unten in der Hierarchie gesetzten Sperre anzeigen. Tabelle 13.13 zeigt die Kompatibilitätsmatrix. Die Sperrmodi sind:

- **NL**: keine Sperrung (no lock);

- **S**: Sperrung durch Leser,
- **X**: Sperrung durch Schreiber,
- **IS**: Lesesperre (S) weiter unten beabsichtigt,
- **IX**: Schreibsperre (X) weiter unten beabsichtigt.

| | <i>NL</i> | <i>S</i> | <i>X</i> | <i>IS</i> | <i>IX</i> |
|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
| <i>S</i> | ✓ | ✓ | - | ✓ | - |
| <i>X</i> | ✓ | - | - | - | - |
| <i>IS</i> | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| <i>IX</i> | ✓ | - | - | ✓ | ✓ |

Tabelle 13.13: Kompatibilitätsmatrix beim Multiple-Granularity-Locking

Die Sperrung eines Datenobjekts muß so durchgeführt werden, daß erst geeignete Sperren in allen übergeordneten Knoten in der Hierarchie erworben werden:

1. Bevor ein Knoten mit *S* oder *IS* gesperrt wird, müssen alle Vorgänger vom Sperrer im *IX*- oder *IS*-Modus gehalten werden.
2. Bevor ein Knoten mit *X* oder *IX* gesperrt wird, müssen alle Vorgänger vom Sperrer im *IX*-Modus gehalten werden.
3. Die Sperren werden von unten nach oben freigegeben.

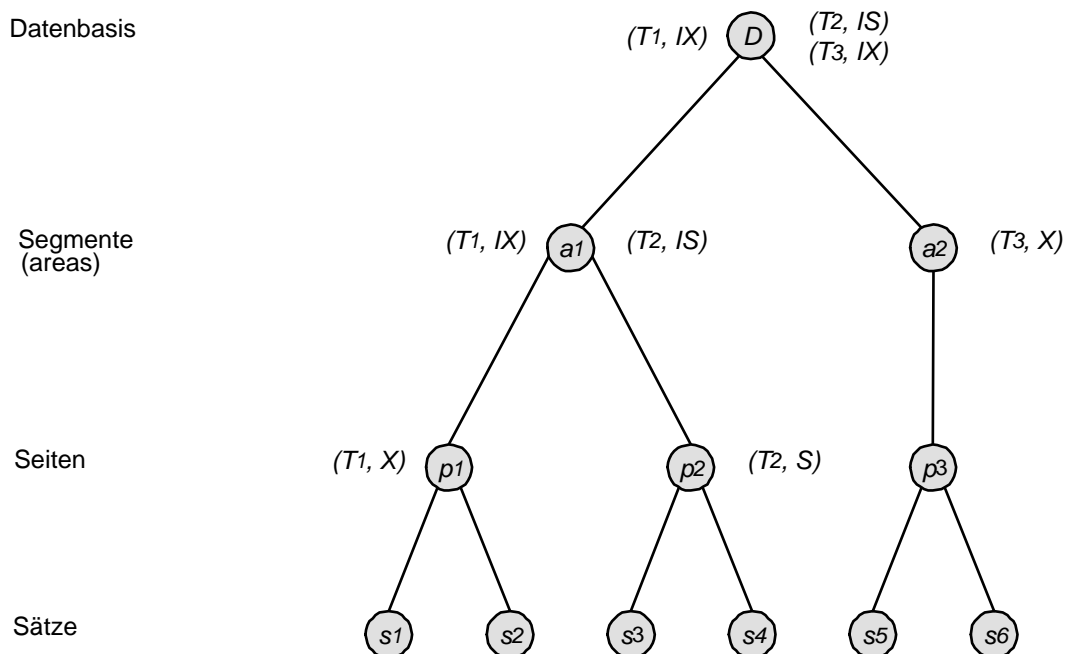


Abbildung 14.6: Datenbasis-Hierarchie mit Sperren

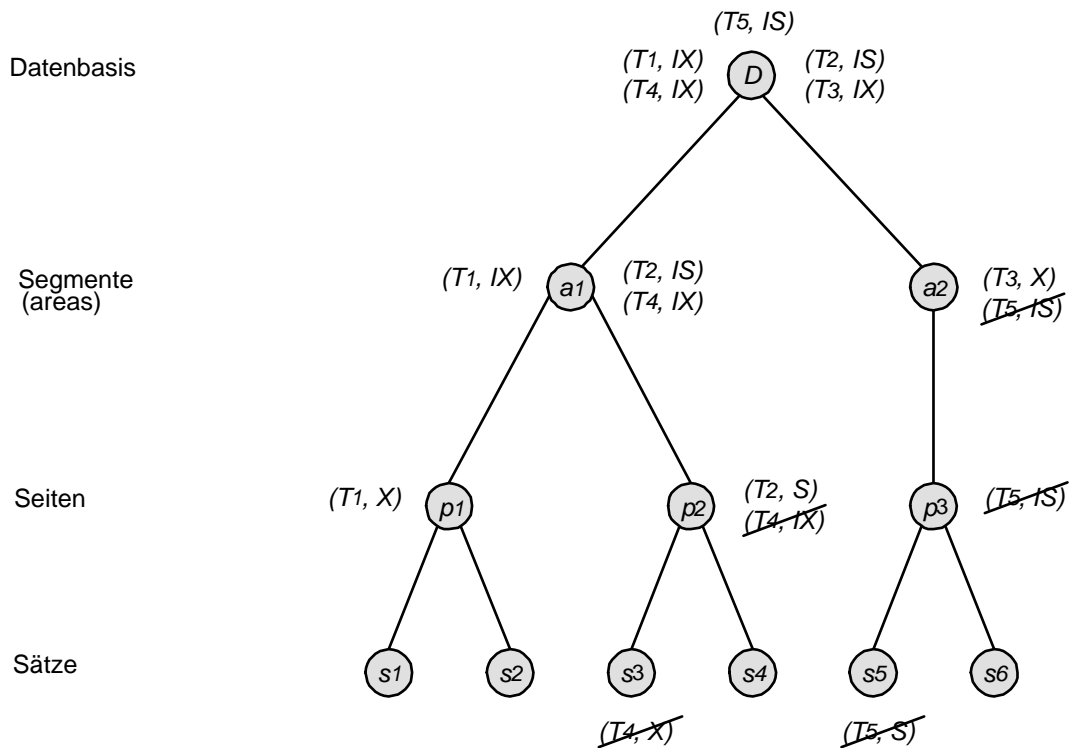


Abbildung 14.7: Datenbasis-Hierarchie mit zwei blockierten Transaktionen

Abbildung 14.6 zeigt eine Datenbasis-Hierarchie, in der drei Transaktionen erfolgreich Sperren erworben haben:

- T_1 will die Seite p_1 zum Schreiben sperren und erwirbt zunächst IX -Sperren auf der Datenbasis D und auf Segment a_1 .
- T_2 will die Seite p_2 zum Lesen sperren und erwirbt zunächst IS -Sperren auf der Datenbasis D und auf Segment a_1 .
- T_3 will das Segment a_2 zum Schreiben sperren und erwirbt zunächst eine IX -Sperre auf der Datenbasis D .

Nun fordern zwei weitere Transaktionen T_4 (Schreiber) und T_5 (Leser) Sperren an:

- T_4 will Satz s_3 exklusiv sperren. Auf dem Weg dorthin erhält T_4 die erforderlichen IX -Sperren für D und a_1 , jedoch kann die IX -Sperre für p_2 nicht gewährt werden.
- T_5 will Satz s_5 zum Lesen sperren. Auf dem Weg dorthin erhält T_5 die erforderliche IS -Sperren nur für D , jedoch können die IS -Sperren für a_2 und p_3 zunächst nicht gewährt werden.

Abbildung 14.7 zeigt die Situation nach dem gerade beschriebenen Zustand. Die noch ausstehenden Sperren sind durch eine Durchstreichung gekennzeichnet. Die Transaktionen T_4 und T_5 sind blockiert, aber nicht verklemt und müssen auf die Freigabe der Sperren (T_2, S) und $T_3, X)$ warten.

14.9 Zeitstempelverfahren

Jede Transaktion erhält beim Eintritt ins System einen eindeutigen Zeitstempel durch die System-Uhr (bei 1 tic pro Millisekunde \Rightarrow 32 Bits reichen für 49 Tage). Das entstehende Schedule gilt als korrekt, falls seine Wirkung dem seriellen Schedule gemäß Eintrittszeiten entspricht.

Jede Einzelaktion drückt einem Item seinen Zeitstempel auf. D.h. jedes Item hat einen

- Lesestempel \equiv höchster Zeitstempel, verabreicht durch eine Leseoperation
- Schreibstempel \equiv höchster Zeitstempel, verabreicht durch eine Schreiboperation

Die gesetzten Marken sollen Verbotenes verhindern:

1. Transaktion mit Zeitstempel t darf kein Item lesen mit Schreibstempel $t_w > t$ (denn der alte Item-Wert ist weg).
2. Transaktion mit Zeitstempel t darf kein Item schreiben mit Lesestempel $t_r > t$ (denn der neue Wert kommt zu spät).

Bei Eintreten von Fall 1 und 2 muß die Transaktion zurückgesetzt werden.

Bei den beiden anderen Fällen brauchen die Transaktionen nicht zurückgesetzt zu werden:

3. Zwei Transaktionen können dasselbe Item zu beliebigen Zeitpunkten lesen.
4. Wenn Transaktion mit Zeitstempel t ein Item beschreiben will mit Schreibstempel $t_w > t$, so wird der Schreibbefehl ignoriert.

Also folgt als Regel für Einzelaktion X mit Zeitstempel t bei Zugriff auf Item mit Lesestempel t_r und Schreibstempel t_w :

```

if (X = read) and (t  $\geq$  tw)
  führe X aus und setze tr := max{tr, t}
if (X = write) and (t  $\geq$  tr) and (t  $\geq$  tw) then
  führe X aus und setze tw := t
if (X = write) and (tr  $\leq$  t < tw) then tue nichts
else {(X = read and t < tw) or (X = write and t < tr)}
  setze Transaktion zurück

```

Tabelle 13.14 und 13.15 zeigen zwei Beispiele für die Synchronisation von Transaktionen mit dem Zeitstempelverfahren.

| | T_1 | T_2 | |
|-----|-------------------------|--------------------------|--|
| | Stempel 150 | 160 | Item a hat $t_r = t_w = 0$ |
| 1.) | read(a) $t_r := 150$ | | |
| 2.) | | read(a) $t_r := 160$ | |
| 3.) | $a := a - 1$ | | |
| 4.) | | $a := a - 1$ | |
| 5.) | | write(a) $t_w := 160$ | ok, da $160 \geq t_r = 160$ und $160 \geq t_w = 0$ |
| 6.) | write(a) | | T_1 wird zurückgesetzt, da $150 < t_r = 160$ |

Tabelle 13.14: Beispiel für Zeitstempelverfahren

In Tabelle 13.14 wird in Schritt 6 die Transaktion T_1 zurückgesetzt, da ihr Zeitstempel kleiner ist als der Lesestempel des zu überschreibenden Items a ($150 < t_r = 160$). In Tabelle 13.15 wird in Schritt 6 die Transaktion T_2 zurückgesetzt, da ihr Zeitstempel kleiner ist als der Lesestempel von Item c ($150 < t_r(c) = 175$). In Schritt 7 wird der Schreibbefehl von Transaktion T_3 ignoriert, da der Zeitstempel von T_3 kleiner ist als der Schreibstempel des zu beschreibenden Items a ($175 < t_w(a) = 200$).

| | T_1 | T_2 | T_3 | a | b | c |
|-----|----------|---------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 200 | 150 | 175 | $t_r = 0$ $t_w = 0$ | $t_r = 0$ $t_w = 0$ | $t_r = 0$ $t_w = 0$ |
| 1.) | read(b) | | | | $t_r = 200$ | |
| 2.) | | read(a) | | $t_r = 150$ | | |
| 3.) | | | read(c) | | | $t_r = 175$ |
| 4.) | write(b) | | | | $t_w = 200$ | |
| 5.) | write(a) | | | $t_w = 200$ | | |
| 6.) | | write(c) Abbruch | | | | |
| 7.) | | | write(a) ignoriert | | | |

Tabelle 13.15: Beispiel für Zeitstempelverfahren

Kapitel 15

Sicherheit

In diesem Kapitel geht es um den Schutz gegen absichtliche Beschädigung oder Enthüllung von sensiblen Daten. Abbildung 15.1 zeigt die hierarchische Kapselung verschiedenster Maßnahmen.

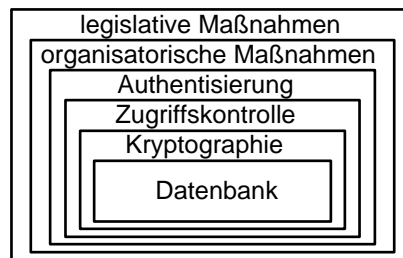


Abbildung 15.1: Ebenen des Datenschutzes

15.1 Legislative Maßnahmen

Im *Gesetz zum Schutz vor Mißbrauch personenbezogener Daten bei der Datenverarbeitung* wurde 1978 festgelegt, welche Daten in welchem Umfang schutzbedürftig sind.

15.2 Organisatorische Maßnahmen

Darunter fallen Maßnahmen, um den persönlichen Zugang zum Computer zu regeln:

- bauliche Maßnahmen
- Pförtner
- Ausweiskontrolle
- Diebstahlsicherung
- Alarmanlage

15.3 Authentisierung

Darunter fallen Maßnahmen zur Überprüfung der Identität eines Benutzers:

- Magnetkarte
- Stimmanalyse/Fingerabdruck
- Paßwort: w ohne Echo eintippen, System überprüft, ob $f(w)$ eingetragen ist, f^{-1} aus f nicht rekonstruierbar
- dynamisches Paßwort: vereinbare Algorithmus, der aus Zufallsstring gewisse Buchstaben herausucht

Paßwortverfahren sollten mit Überwachungsmaßnahmen kombiniert werden (Ort, Zeit, Fehleingabe notieren)

15.4 Zugriffskontrolle

Verschiedene Benutzer haben verschiedene Rechte bzgl. derselben Datenbank. Tabelle 14.1 zeigt eine Berechtigungsmatrix (wertunabhängig):

| Benutzer | Ang-Nr | Gehalt | Leistung |
|--------------------|--------|--------|----------|
| A (Manager) | R | R | RW |
| B (Personalchef) | RW | RW | R |
| C (Lohnbüro) | R | R | — |

Tabelle 14.1: Berechtigungsmatrix

Bei einer wertabhängigen Einschränkung wird der Zugriff von der aktuellen Ausprägung abhängig gemacht:

Zugriff (A , Gehalt): R : Gehalt < 10.000
 W : Gehalt < 5.000

Dies ist natürlich kostspieliger, da erst nach Lesen der Daten entschieden werden kann, ob der Benutzer die Daten lesen darf. Ggf. werden dazu Tabellen benötigt, die für die eigentliche Anfrage nicht verlangt waren. Beispiel: Zugriff verboten auf Gehälter der Mitarbeiter an Projekt 007.

Eine Möglichkeit zur Realisierung von Zugriffskontrollen besteht durch die Verwendung von Sichten:

```
define view v(angnr, gehalt) as
select angnr, gehalt from angest
where gehalt < 3000
```


Eine andere Realisierung von Zugriffskontrollen besteht durch eine Abfragemodifikation.

- **Beispiel:**

Die Abfrageeinschränkung

```
deny (name, gehalt) where gehalt > 3000
```

liefert zusammen mit der Benutzer-Query

```
select gehalt from angest where name = 'Schmidt'
```

die generierte Query

```
select gehalt from angest
where name = 'Schmidt' and not gehalt > 3000
```

In statistischen Datenbanken dürfen Durchschnittswerte und Summen geliefert werden, aber keine Aussagen zu einzelnen Tupeln. Dies ist sehr schwer einzuhalten, selbst wenn die Anzahl der referierten Datensätze groß ist.

- **Beispiel:**

Es habe Manager X als einziger eine bestimmte Eigenschaft, z. B. habe er das höchste Gehalt. Dann läßt sich mit folgenden beiden Queries das Gehalt von Manager X errechnen, obwohl beide Queries alle bzw. fast alle Tupel umfassen:

```
select sum (gehalt) from angest;
select sum (gehalt) from angest
where gehalt < (select max(gehalt) from angest);
```

In SQL-92 können Zugriffsrechte dynamisch verteilt werden, d. h. der Eigentümer einer Relation kann anderen Benutzern Rechte erteilen und entziehen.

Die vereinfachte Syntax lautet:

```
grant { select | insert | delete | update | references | all }
on <relation> to <user> [with grant option]
```

Hierbei bedeuten

| | |
|--------------------|--|
| select: | darf Tupel lesen |
| insert: | darf Tupel einfügen |
| delete: | darf Tupel löschen |
| update: | darf Tupel ändern |
| references: | darf Fremdschlüssel anlegen |
| all : | select + insert + delete + update + references |
| with grant option: | <user> darf die ihm erteilten Rechte weitergeben |

- **Beispiel:**

A: grant read, insert on angest to B with grant option

B: grant read on angest to C with grant option

B: grant insert on angest to C

Das Recht, einen Fremdschlüssel anlegen zu dürfen, hat weitreichende Folgen: Zum einen kann das Entfernen von Tupeln in der referenzierten Tabelle verhindert werden. Zum anderen kann durch das probeweise Einfügen von Fremdschlüsseln getestet werden, ob die (ansonsten lesegeschützte) referenzierte Tabelle gewisse Schlüsselwerte aufweist:

```
create table Agententest(Kennung character(3) references Agenten);
```

Jeder Benutzer, der ein Recht vergeben hat, kann dieses mit einer *Revoke*-Anweisung wieder zurücknehmen:

```
revoke { select | insert | delete | update | references | all }
on <relation> from <user>
```

- **Beispiel:**

B: revoke all on angest from *C*

Es sollen dadurch dem Benutzer *C* alle Rechte entzogen werden, die er von *B* erhalten hat, aber nicht solche, die er von anderen Benutzern erhalten hat. Außerdem erlöschen die von *C* weitergegebenen Rechte.

Der Entzug eines Grant *G* soll sich so auswirken, als ob *G* niemals gegeben worden wäre!

- **Beispiel:**

A: grant read, insert, update on angest to *D*

B: grant read, update on angest to *D* with grant option

D: grant read, update on angest to *E*

A: revoke insert, update on angest from *D*

Hierdurch verliert *D* sein insert-Recht, darf aber sein update-Recht behalten, weil es auch noch von *B* verliehen worden war. *E* verliert keine Rechte.

Folgt nun der Befehl *B*: revoke update on angest from *D*

so muss *D* sein Update-Recht abgeben und als Konsequenz daraus muss auch *E* sein Update-Recht abgeben.

15.5 Auditing

Auditing bezeichnet die Möglichkeit, über Operationen von Benutzern Buch zu führen. Einige (selbsterklärende) Kommandos in SQL-92:

```
audit delete any table;
noaudit delete any table;
audit update on erika.professoren whenever not successful;
```

Der resultierende *Audit-Trail* wird in diversen Systemtabellen gehalten und kann von dort durch spezielle Views gesichtet werden.

15.6 Kryptographie

Da die meisten Datenbanken in einer verteilten Umgebung (Client/Server) betrieben werden, ist die Gefahr des Abhörens von Kommunikationskanälen sehr hoch. Zur Authentisierung von Benutzern und zur Sicherung gegen den Zugriff auf sensible Daten werden daher *kryptographische Methoden* eingesetzt.

Der prinzipielle Ablauf ist in Abbildung 15.2 skizziert: Der Klartext x dient als Eingabe für ein Verschlüsselungsverfahren *encode*, welches über einen Schlüssel e parametrisiert ist. Das heißt, das grundsätzliche Verfahren der Verschlüsselung ist allen Beteiligten bekannt, mit Hilfe des Schlüssels e kann der Vorgang jeweils individuell beeinflusst werden. Auf der Gegenseite wird mit dem Verfahren *decode* und seinem Schlüssel d der Vorgang umgekehrt und somit der Klartext rekonstruiert.

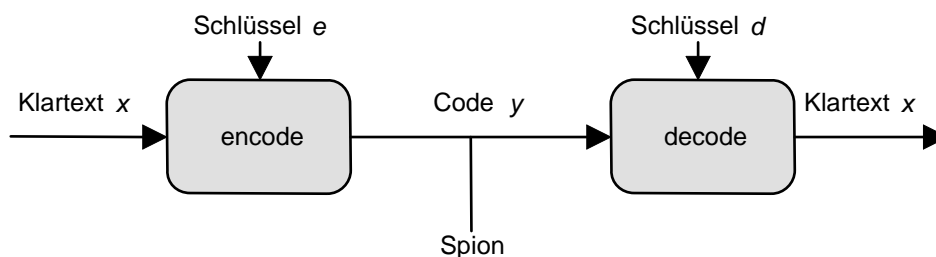


Abbildung 15.2: Ablauf beim Übertragen einer Nachricht

Zum Beispiel kann eine Exclusive-OR-Verknüpfung des Klartextes mit dem Schlüssel verwendet werden, um die Chiffre zu berechnen. Derselbe Schlüssel erlaubt dann die Rekonstruktion des Klartextes.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Klartext} & 010111001 & \\
 \text{Schlüssel} & 111010011 & \\
 \hline
 \text{Chiffre} & 101101010 & = \text{Klartext} \oplus \text{Schlüssel} \\
 \text{Schlüssel} & 111010011 & \\
 \hline
 \text{Klartext} & 010111001 & = \text{Chiffre} \oplus \text{Schlüssel}
 \end{array}$$

Diese Technik funktioniert so lange gut, wie es gelingt, die zum Bearbeiten einer Nachricht verwendeten Schlüssel e und d auf einem sicheren Kanal zu übertragen, z. B. durch einen Kurier. Ein Spion, der ohne Kenntnis der Schlüssel die Leitung anzapft, ist dann nicht in der Lage, den beobachteten Code zu entschlüsseln (immer vorausgesetzt, der Raum der möglichen Schlüssel wurde zur Abwehr eines vollständigen Durchsuchens groß genug gewählt). Im Zeitalter der globalen Vernetzung besteht natürlich der Wunsch, auch die beiden Schlüsselpaare e und d per Leitung auszutauschen. Nun aber laufen wir Gefahr, daß der Spion von ihnen Kenntnis erhält und damit den Code knackt.

Dieses (auf den ersten Blick) unlösbare Problem wurde durch die Einführung von *Public Key Systems* behoben.

15.6.1 Public Key Systems

Gesucht sind zwei Funktionen $enc, dec : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$ mit folgender Eigenschaft:

1. $dec(enc(x)) = x$
2. effizient zu berechnen
3. aus der Kenntnis von enc läßt sich dec nicht effizient bestimmen

Unter Verwendung dieser Funktionen könnte die Kommunikation zwischen den Partner Alice und Bob wie folgt verlaufen:

1. Alice möchte Bob eine Nachricht schicken.
2. Bob veröffentlicht sein enc_B .
3. Alice bildet $y := enc_B(x)$ und schickt es an Bob.
4. Bob bildet $x := dec_B(y)$.

15.6.2 Das RSA-Verfahren

Im Jahre 1978 schlugen Rivest, Shamir, Adleman folgendes Verfahren vor:

- geheim: Wähle zwei große Primzahlen p, q (je 500 Bits)
 öffentlich: Berechne $n := p \cdot q$
 geheim: Wähle d teilerfremd zu $\varphi(n) = (p - 1) \cdot (q - 1)$
 öffentlich: Bestimme d^{-1} , d.h. e mit $e \cdot d \equiv 1 \pmod{\varphi(n)}$
 öffentlich: $enc(x) := x^e \pmod{n}$
 geheim: $dec(y) := y^d \pmod{n}$

• **Beispiel:**

$$\begin{aligned}
 p &= 11, q = 13, d = 23 \Rightarrow \\
 n &= 143, e = 47 \\
 enc(x) &:= x^{47} \pmod{143} \\
 dec(y) &:= y^{23} \pmod{143}
 \end{aligned}$$

15.6.3 Korrektheit des RSA-Verfahrens

Die Korrektheit stützt sich auf den **Satz von Fermat/Euler**:

$$x \text{ rel. prim zu } n \Rightarrow x^{\varphi(n)} \equiv 1 \pmod{n}$$

15.6.4 Effizienz des RSA-Verfahrens

Die Effizienz stützt sich auf folgende Überlegungen:

a) **Potenzieren mod n**

Nicht e -mal mit x malnehmen, denn Aufwand wäre $O(2^{500})$, sondern:

$$x^e := \begin{cases} (x^{e/2})^2 & \text{falls } e \text{ gerade} \\ (x^{\lfloor e/2 \rfloor})^2 \cdot x & \text{falls } e \text{ ungerade} \end{cases}$$

Aufwand: $O(\log e)$, d.h. proportional zur Anzahl der Dezimalstellen.

b) **Bestimme $e := d^{-1}$**

Algorithmus von Euklid zur Bestimmung des ggt :

$$ggt(a, b) := \begin{cases} a & \text{falls } b = 0 \\ ggt(b, a \bmod b) & \text{sonst} \end{cases}$$

Bestimme $ggt(\varphi(n), d)$ und stelle den auftretenden Rest als Linearkombination von $\varphi(n)$ und d dar.

Beispiel:

$$\begin{aligned} 120 &= \varphi(n) \\ 19 &= d \\ 120 \bmod 19 &= 6 = \varphi(n) - 6 \cdot d \\ 19 \bmod 6 &= 1 = d - 3 \cdot (\varphi(n) - 6d) = 19d - 3 \cdot \varphi(n) \\ &\Rightarrow e = 19 \end{aligned}$$

c) **Konstruktion einer großen Primzahl**

Wähle 500 Bit lange ungerade Zahl x .

Teste, ob x , $x + 2$, $x + 4$, $x + 6$, ... Primzahl ist.

Sei $\Pi(x)$ die Anzahl der Primzahlen unterhalb von x . Es gilt:

$$\Pi(x) \approx \frac{x}{\ln x} \Rightarrow \text{Dichte} \approx \frac{1}{\ln x} \Rightarrow \text{mittlerer Abstand} \approx \ln x$$

Also zeigt sich Erfolg beim Testen ungerader Zahlen der Größe $n = 2^{500}$ nach etwa $\frac{\ln 2^{500}}{4} = 86$ Versuchen.

Komplexitätsklassen für die Erkennung von Primzahlen:

$$\begin{aligned} \text{Prim} &\stackrel{?}{\in} \mathbb{P} \\ \text{Prim} &\in \text{NP} \\ \overline{\text{Prim}} &\in \text{NP} \\ \overline{\text{Prim}} &\in \text{RP} \end{aligned}$$

$L \in \mathbb{RP} : \iff$ es gibt Algorithmus A , der angesetzt auf die Frage, ob $x \in L$, nach polynomialer Zeit mit ja oder nein anhält und folgende Gewähr für die Antwort gilt:

$$\begin{aligned} x \notin L &\Rightarrow \text{Antwort: nein} \\ x \in L &\Rightarrow \text{Antwort: } \underbrace{\text{ja}}_{>1-\varepsilon} \text{ oder } \underbrace{\text{nein}}_{\leq \varepsilon} \end{aligned}$$

Antwort: ja $\Rightarrow x$ ist zusammengesetzt.

Antwort: nein $\Rightarrow x$ ist höchstwahrscheinlich prim.

Bei 50 Versuchen \Rightarrow Fehler $\leq \varepsilon^{50}$.

Satz von Rabin:

Sei $n = 2^k \cdot q + 1$ eine Primzahl, $x < n$

- 1) $x^q \equiv 1 \pmod n$ oder
- 2) $x^{q \cdot 2^i} \equiv -1 \pmod n$ für ein $i \in \{0, \dots, k-1\}$

Beispiel:

Sei $n = 97 = 2^5 \cdot 3 + 1$, sei $x = 2$.

| | | | | | | | |
|--------------------|-----|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
| Folge der Potenzen | x | x^3 | x^6 | x^{12} | x^{24} | x^{48} | x^{96} |
| Folge der Reste | 2 | 8 | 64 | 22 | -1 | 1 | 1 |

Definition eines Zeugen:

Sei $n = 2^k \cdot q + 1$.

Eine Zahl $x < n$ heißt Zeuge für die Zusammengesetztheit von n

- 1) $\text{ggT}(x, n) \neq 1$ oder
- 2) $x^q \not\equiv 1 \pmod n$ und $x^{q \cdot 2^i} \not\equiv -1$ für alle $i \in \{0, \dots, k-1\}$

Satz von Rabin:

Ist n zusammengesetzt, so gibt es mindestens $\frac{3}{4}n$ Zeugen.

```
function prob-prim (n: integer): boolean
z:=0;
repeat
  z=z+1;
  wuerfel x;
until (x ist Zeuge fuer n) OR (z=50);
return (z=50)
```

Fehler: $(\frac{1}{4})^{50} \sim 10^{-30}$

15.6.5 Sicherheit des RSA-Verfahrens

Der Code kann nur durch das Faktorisieren von n geknackt werden.
Schnellstes Verfahren zum Faktorisieren von n benötigt

$$n \sqrt{\frac{\ln \ln(n)}{\ln(n)}} \text{ Schritte.}$$

Für $n = 2^{1000} \Rightarrow \ln(n) = 690, \ln \ln(n) = 6.5$

Es ergeben sich $\approx \sqrt[10]{n}$ Schritte $\approx 10^{30}$ Schritte $\approx 10^{21}$ sec (bei 10^9 Schritte pro sec) $\approx 10^{13}$ Jahre.

15.6.6 Implementation des RSA-Verfahrens

The screenshot shows a Java applet interface for RSA encryption and decryption. It consists of several input fields, buttons, and text areas.

- Input fields:**
 - Vorschlag p: 100000
 - Vorschlag q: 200000
 - Primzahl p: 100003
 - Primzahl q: 200003
 - n := p * q: 20000900009
 - teilerfremdes d: 200009
 - zu d inverses e: 7428788573
- Buttons:** Primzahl p, Primzahl q, n := p * q, teilerfremdes d, zu d inverses e, codieren, decodieren, ASCII, Klartext, Reset.
- Text areas:**
 - Klartext: Dies ist eine Nachricht!
 - ASCII: 68 105 101 115 32 105 115 116 32 101 105 110 101 32 78 97 99 104 114 105 99 104 116 32 33
 - codieren: 13526375189 7177866002 3020752803 10796584818 54022978 7625343398 7291290658
 - decodieren: 68 105 101 115 32 105 115 116 32 101 105 110 101 32 78 97 99 104 114 105 99 104 116 32 33 32 32 32

Abbildung 15.3: Java-Applet mit RSA-Algorithmus

Kapitel 16

Objektorientierte Datenbanken

Relationale Datenbanksysteme sind derzeit in administrativen Anwendungsbereichen marktbeherrschend, da sich die sehr einfache Strukturierung der Daten in flachen Tabellen als recht benutzerfreundlich erwiesen hat. Unzulänglichkeiten traten jedoch zutage bei komplexeren, ingenieurwissenschaftlichen Anwendungen, z.B. in den Bereichen CAD, Architektur und Multimedia.

Daraus ergaben sich zwei unterschiedliche Ansätze der Weiterentwicklung:

- Der *evolutionäre* Ansatz: Das relationale Modell wird um komplexe Typen erweitert zum sogenannten *geschachtelten* relationalen Modell.
- Der *revolutionäre* Ansatz: In Analogie zur Objektorientierten Programmierung wird in einem Objekttyp die *strukturelle* Information zusammen mit der *verhaltensmäßigen* Information integriert.

16.1 Schwächen relationaler Systeme

Die Relation

Buch : {[ISBN, Verlag, Titel, Autor, Version, Stichwort]}

erfordert bei 2 Autoren, 5 Versionen, 6 Stichworten für jedes Buch $2 \times 5 \times 6 = 60$ Einträge.

Eine Aufsplittung auf mehrere Tabellen ergibt

Buch : {[ISBN, Titel, Verlag]}
Autor : {[ISBN, Name, Vorname]}
Version : {[ISBN, Auflage, Jahr]}
Stichwort : {[ISBN, Stichwort]}

Nun sind die Informationen zu einem Buch auf vier Tabellen verteilt. Beim Einfügen eines neuen Buches muß mehrmals dieselbe ISBN eingegeben werden. Die referentielle Integrität muß selbst überwacht werden. Eine Query der Form “*Liste Bücher mit den Autoren Meier und Schmidt*“ ist nur sehr umständlich zu formulieren.

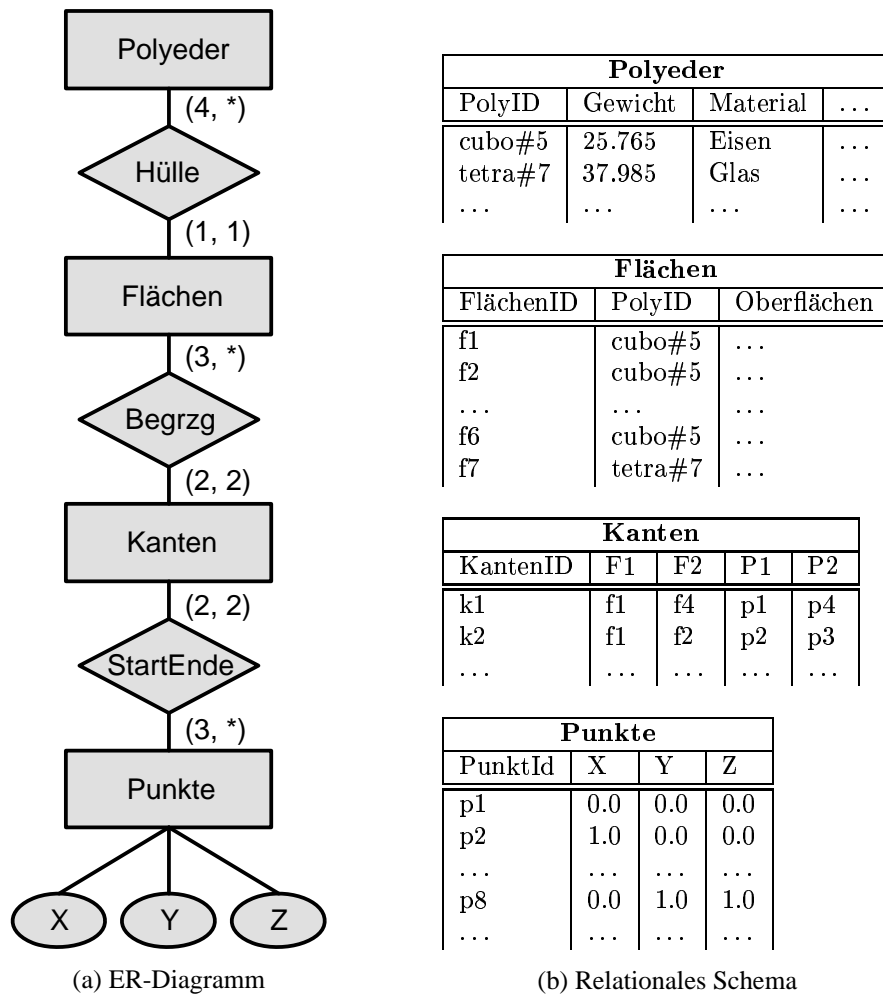


Abbildung 16.1: Modellierung von Polyedern

Abbildung 16.1a zeigt die Modellierung von Polyedern nach dem Begrenzungsflächenmodell, d. h. ein Polyeder wird beschrieben durch seine begrenzenden Flächen, diese wiederum durch ihre beteiligten Kanten und diese wiederum durch ihre beiden Eckpunkte. Abbildung 16.1b zeigt eine mögliche Umsetzung in ein relationales Schema, wobei die Beziehungen *Hülle*, *Begrzg* und *StartEnde* aufgrund der Kardinalitäten in die Entity-Typen integriert wurden.

Die relationale Modellierung hat etliche Schwachpunkte:

- **Segmentierung:** Ein Anwendungsobjekt wird über mehrere Relationen verteilt, die immer wieder durch einen Verbund zusammengefügt werden müssen.
- **Künstliche Schlüsselattribute:** Zur Identifikation von Tupeln müssen vom Benutzer relationenweit eindeutige Schlüssel vergeben werden.

- **Fehlendes Verhalten:** Das anwendungsspezifische Verhalten von Objekten, z.B. die Rotation eines Polyeders, findet im relationalen Schema keine Berücksichtigung.
- **Externe Programmierschnittstelle:** Die Manipulation von Objekten erfordert eine Programmierschnittstelle in Form einer Einbettung der (mengenorientierten) Datenbanksprache in eine (satzorientierte) Programmiersprache.

16.2 Vorteile der objektorientierten Modellierung

In einem objektorientierten Datenbanksystem werden *Verhaltens-* und *Struktur-*Beschreibungen in einem Objekt-Typ integriert. Das anwendungsspezifische Verhalten wird integraler Bestandteil der Datenbank. Dadurch können die umständlichen Transformationen zwischen Datenbank und Programmiersprache vermieden werden. Vielmehr sind die den Objekten zugeordneten Operationen direkt ausführbar, ohne detailliertes Kenntnis der strukturellen Repräsentation der Objekte. Dies wird durch das *Geheimnisprinzip* (engl.: *information hiding*) unterstützt, wonach an der Schnittstelle des Objekttyps eine Kollektion von Operatoren angeboten wird, für deren Ausführung man lediglich die *Signatur* (Aufrufstruktur) kennen muß.

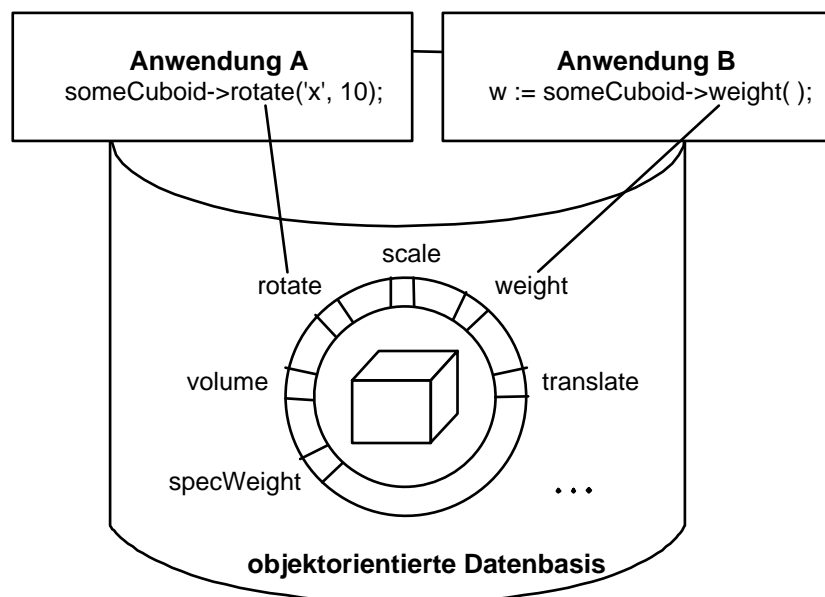


Abbildung 16.2: Visualisierung der Vorteile der objektorientierten Datenmodellierung

Abbildung 16.2 visualisiert den objektorientierten Ansatz bei der Datenmodellierung. Ein Quader wird zusammen mit einer Reihe von Datenfeldern und Operatoren zur Verfügung gestellt. Unter Verwendung dieser Schnittstelle rotiert Anwendung A einen Quader und bestimmt Anwendung B das Gewicht.

16.3 Der ODMG-Standard

Im Gegensatz zum relationalen Modell ist die Standardisierung bei objektorientierten Datenbanksystemen noch nicht so weit fortgeschritten. Ein (de-facto) Standard wurde von der *Object Database Management Group* entworfen. Das ODMG-Modell umfaßt das objektorientierte Datenbanksystem und eine einheitliche Anbindung an bestehende Programmiersprachen. Bisher wurden Schnittstellen für C++ und Smalltalk vorgesehen. Außerdem wurde eine an SQL angelehnte deklarative Abfragesprache namens *OQL* (Object Query Language) entworfen.

16.4 Eigenschaften von Objekten

Im relationalen Modell werden Entitäten durch Tupel dargestellt, die aus atomaren *Literalen* bestehen.

Im objektorientierten Modell hat ein Objekt drei Bestandteile:

- **Identität:** Jedes Objekt hat eine systemweit eindeutige Objektidentität, die sich während seiner Lebenszeit nicht verändert.
- **Typ:** Der Objekttyp, auch *Klasse* genannt, legt die Struktur und das Verhalten des Objekts fest. Individuelle Objekte werden durch die *Instanzierung* eines Objekttyps erzeugt und heißen *Instanzen*. Die Menge aller Objekte (Instanzen) eines Typs wird als (Typ-)*Extension* (eng. *extent*) bezeichnet.
- **Wert bzw. Zustand:** Ein Objekt hat zu jedem Zeitpunkt seiner Lebenszeit einen bestimmten Zustand, auch Wert genannt, der sich aus der momentanen Ausprägung seiner Attribute ergibt.

Abbildung 16.3 zeigt einige Objekte aus der Universitätswelt. Dabei wird zum Beispiel der Identifikator id_1 als Wert des Attributs *gelesenVon* in der Vorlesung mit dem Titel *Grundzüge* verwendet, um auf die Person mit dem Namen *Kant* zu verweisen. Wertebereiche bestehen nicht nur aus atomaren Literalen, sondern auch aus Mengen. Zum Beispiel liest *Kant* zwei Vorlesungen, identifiziert durch id_2 und id_3 .

Im relationalen Modell wurden Tupel anhand der Werte der Schlüsselattribute identifiziert (*identity through content*). Dieser Ansatz hat verschiedene Nachteile:

- Objekte mit gleichem Wert müssen nicht unbedingt identisch sein. Zum Beispiel könnte es zwei Studenten mit Namen "Willy Wacker" im 3. Semester geben.
- Aus diesem Grund müssen künstliche Schlüsselattribute ohne Anwendungsemantik (siehe Polyedermodellierung) eingeführt werden.
- Schlüssel dürfen während der Lebenszeit eines Objekts nicht verändert werden, da ansonsten alle Bezugnahmen auf das Objekt ungültig werden.

In Programmiersprachen wie Pascal oder C verwendet man Zeiger, um Objekte zu referenzieren. Dies ist für kurzlebige (transiente) Hauptspeicherobjekte akzeptabel, allerdings nicht für persistente Objekte.

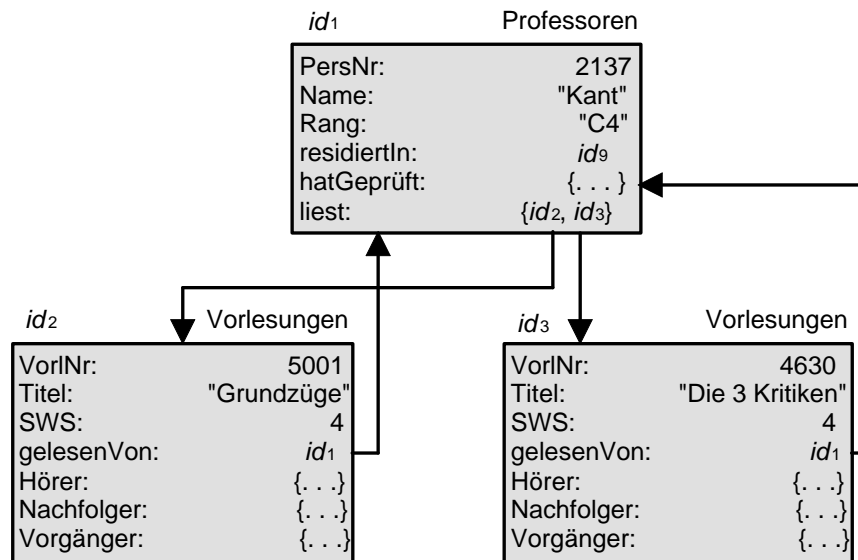


Abbildung 16.3: Einige Objekte aus der Universitätswelt

Objektorientierte Datenbanksysteme verwenden daher zustands- und speicherungsart-unabhängige *Objektidentifikatoren* (OIDs). Ein OID wird vom Datenbanksystem systemweit eindeutig generiert, sobald ein neues Objekt erzeugt wird. Der OID bleibt dem Anwender verborgen, er ist unveränderlich und unabhängig vom momentanen Objekt-Zustand. Die momentane physikalische Adresse ergibt sich aus dem Inhalt einer Tabelle, die mit dem OID referiert wird.

Die Objekttyp-Definition enthält folgende Bestandteile:

- die Strukturbeschreibung der Instanzen, bestehend aus Attributen und Beziehungen zu anderen Objekten,
- die Verhaltensbeschreibung der Instanzen, bestehend aus einer Menge von Operationen,
- die Typeigenschaften, z.B. Generalisierungs- und Spezialisierungsbeziehungen.

16.5 Definition von Attributen

Die Definition des Objekttyps *Professoren* könnte wie folgt aussehen:

```
class Professoren {
    attribute long   PersNr;
    attribute string Name;
    attribute string Rang;
};
```

Attribute können strukturiert werden mit Hilfe des Tupelkonstruktors `struct{...}`:

```
class Person {
  attribute string Name;
  attribute struct Datum {
    short Tag;
    short Monat;
    short Jahr;
  } GebDatum;
};
```

16.6 Definition von Beziehungen

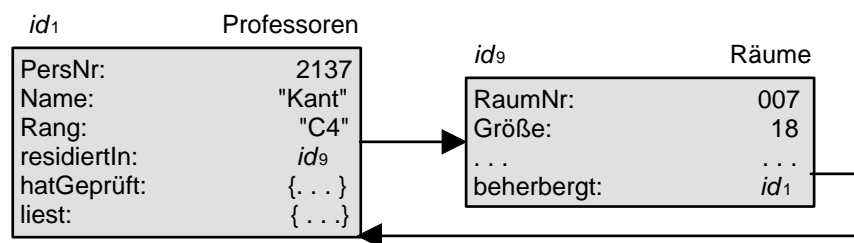


Abbildung 16.4: Ausprägung einer 1:1-Beziehung

Eine 1 : 1-Beziehung wird symmetrisch in beiden beteiligten Objekt-Typen modelliert:

```
class Professoren {
  attribute long PersNr;
  ...
  relationship Raeume residiertIn;
};

class Raeume {
  attribute long RaumNr;
  attribute short Groesse;
  ...
  relationship Professoren beherbergt;
};
```

Abbildung 16.4 zeigt eine mögliche Ausprägung der Beziehungen *residiertIn* und *beherbergt*.

Allerdings wird durch die gegebene Klassenspezifikation weder die Symmetrie noch die 1:1-Einschränkung garantiert. Abbildung 16.5 zeigt einen inkonsistenten Zustand des Beziehungspaares *residiertIn* und *beherbergt*.

Um Inkonsistenzen dieser Art zu vermeiden, wurde im ODMG-Objektmodell das **inverse**-Konstrukt integriert:

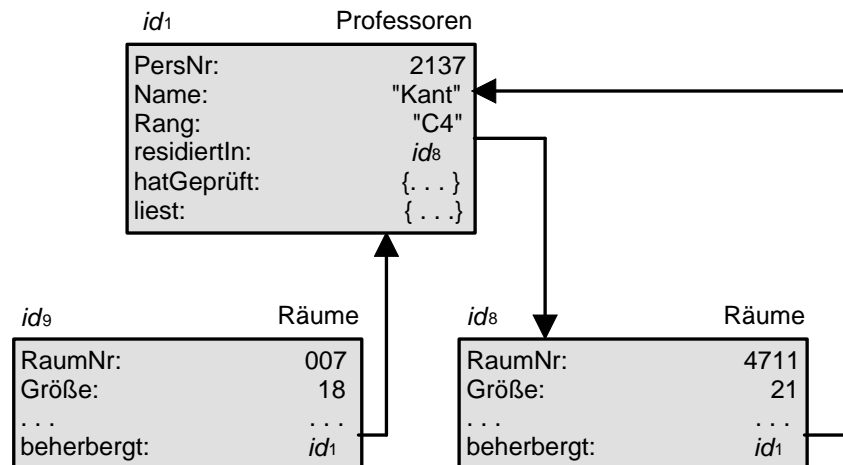


Abbildung 16.5: Inkonsistenter Zustand einer Beziehung

```

class Professoren {
    attribute long  PersNr;
    ...
    relationship Raeume residiertIn inverse Raeume::beherbergt;
};

class Raeume {
    attribute long  RaumNr;
    attribute short Groesse;
    ...
    relationship Professoren beherbergt inverse Professoren::residiertIn;
};

```

Damit wird sichergestellt, daß immer gilt:

$$p = r.beherbergt \Leftrightarrow r = p.residiertIn$$

Binäre $1:N$ - Beziehungen werden modelliert mit Hilfe des Mengenkonstruktors **set**, der im nächsten Beispiel einem Professor eine Menge von Referenzen auf *Vorlesungen*-Objekte zuordnet:

```

class Professoren {
    ...
    relationship set (Vorlesungen) liest inverse Vorlesungen::gelesenVon;
};

class Vorlesungen {
    ...
    relationship Professoren gelesenVon inverse Professoren::liest;
};

```

Man beachte, daß im relationalen Modell die Einführung eines Attributs *liest* im Entity-Typ *Professoren* die Verletzung der 3. Normalform verursacht hätte.

Binäre $N:M$ - Beziehungen werden unter Verwendung von zwei **set**-Konstruktoren modelliert:

```
class Studenten {
    ...
    relationship set (Vorlesungen) hoert inverse Vorlesungen::Hoerer;
};

class Vorlesungen {
    ...
    relationship set (Studenten) Hoerer inverse Studenten::hoert;
};
```

Durch die **inverse**-Spezifikation wird sichergestellt, daß gilt:

$$s \in v.Hoerer \Leftrightarrow v \in s.hoert$$

Analog lassen sich rekursive $N : M$ - Beziehungen beschreiben:

```
class Vorlesungen {
    ...
    relationship set (Vorlesungen) Vorgaenger inverse Vorlesungen::Nachfolger;
    relationship set (Vorlesungen) Nachfolger inverse Vorlesungen::Vorgaenger;
};
```

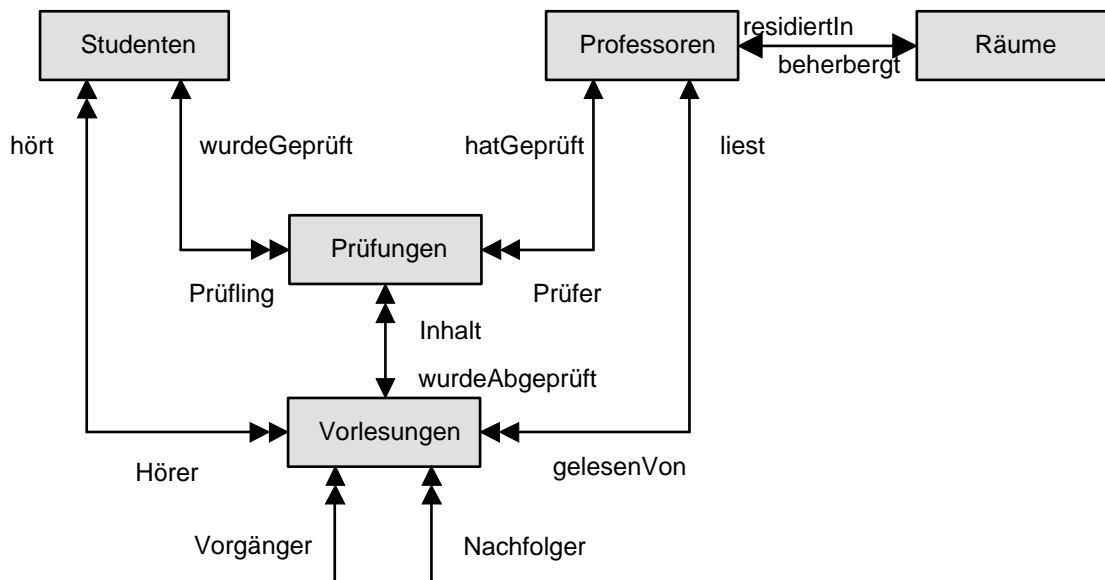


Abbildung 16.6: Modellierungen von Beziehungen im Objektmodell

Ternäre oder $n \geq 3$ stellige Beziehungen benötigen einen eigenständigen Objekttyp, der die Beziehung repräsentiert. Zum Beispiel wird die ternäre Beziehung

pruefen : { [MatrNr, VorlNr, PersNr, Note] }

zwischen den *Studenten*, *Vorlesungen* und *Professoren* wie folgt modelliert:

```

class Pruefungen {
  attribute    float      Note;
  relationship Professoren Pruefer    inverse Professoren::hatgeprueft;
  relationship Studenten  Pruefling  inverse Studenten::wurdegeprueft;
  relationship Vorlesungen Inhalt    inverse Vorlesungen::wurdeAbgeprueft;
};

class Professoren {
  attribute    long        PersNr;
  attribute    string      Name;
  attribute    string      Rang;
  relationship Raeume      residiertIn inverse Raeume::beherbergt;
  relationship set<Vorlesungen> liest      inverse Vorlesungen::gelesenVon;
  relationship set<Pruefungen> hatgeprueft inverse Pruefungen::Pruefer;
};

class Vorlesungen {
  attribute    long        VorlNr;
  attribute    string      Titel;
  attribute    short       SWS;
  relationship Professoren  gelesenVon inverse Professoren::liest;
  relationship set<Studenten> Hoerer      inverse Studenten::hoert;
  relationship set<Vorlesungen> Nachfolger inverse Vorlesungen::Vorgaenger;
  relationship set<Vorlesungen> Vorgaenger inverse Vorlesungen::Nachfolger;
  relationship set<Pruefungen> wurdeAbgeprueft inverse Pruefungen::Inhalt;
};

class Studenten {
  attribute    long        MatrNr;
  attribute    string      Name;
  attribute    short       Semester;
  relationship set<Pruefungen> wurdeGepueft inverse Pruefungen::Pruefling;
  relationship set<Vorlesungen> hoert      inverse Vorlesungen::Hoerer;
};

```

Abbildung 16.6 visualisiert die bislang eingeführten Beziehungen. Die Anzahl der Pfeilspitzen gibt die Wertigkeit der Beziehung an:

- | | |
|--|--|
| <p>↔ bezeichnet eine 1 : 1-Beziehung</p> <p>↔↔ bezeichnet eine N : 1-Beziehung</p> | <p>↔↔↔ bezeichnet eine 1 : N-Beziehung</p> <p>↔↔↔↔ bezeichnet eine N : M-Beziehung</p> |
|--|--|

16.7 Extensionen und Schlüssel

Eine *Extension* ist die Menge aller Instanzen eines Objekt-Typs incl. seiner spezialisierten Untertypen (siehe später). Sie kann verwendet werden für Anfragen der Art “*Suche alle Objekte eines Typs, die eine bestimmte Bedingung erfüllen*“. Man kann zu einem Objekttyp auch *Schlüssel* definieren, deren Eindeutigkeit innerhalb der Extension gewährleistet wird. Diese Schlüsselinformation wird jedoch nur als Integritätsbedingung verwendet und nicht zur Referenzierung von Objekten:

```
class Studenten (extent AlleStudenten key MatrNr) {
  attribute    long           MatrNr;
  attribute    string        Name;
  attribute    short         Semester;
  relationship set(Vorlesungen) hoert           inverse Vorlesungen::Hoerer;
  relationship set(Pruefungen) wurdeGeprueft inverse Pruefungen::Pruefiling;
};
```

16.8 Modellierung des Verhaltens

Der Zugriff auf den Objektzustand und die Manipulation des Zustands geschieht über eine *Schnittstelle*. Die Schnittstellenoperationen können

- ein Objekt erzeugen (instanzieren) und initialisieren mit Hilfe eines *Konstruktors*,
- freigegebene Teile des Zustands erfragen mit Hilfe eines *Observers*,
- konsistenzhaltende Operationen auf einem Objekt ausführen mit Hilfe eines *Mutators*,
- das Objekt zerstören mit Hilfe eines *Destruktors*.

Die Aufrufstruktur der Operation, genannt *Signatur*, legt folgendes fest:

- Name der Operation,
- Anzahl und Typ der Parameter,
- Typ des Rückgabewerts, falls vorhanden, sonst **void**,
- ggf. die durch die Operation ausgelöste *Ausnahme* (engl. *exception*).

Beispiel:

```
class Professoren {
  exception hatNochNichtGeprueft { };
  exception schonHoechsteStufe   { };
  ...
  float wieHartAlsPruefer() raises (hatNochNichtgeprueft);
  void befoerdert() raises (schonHoechsteStufe);
};
```

Hierdurch wird der Objekttyp *Professoren* um zwei Signaturen erweitert:

- Der Observer *wieHartalsPruefer* liefert die Durchschnittsnote und stößt die Ausnahmebehandlung *hatNochNichtGepueft* an, wenn keine Prüfungen vorliegen.
- Der Mutator *befoerdert* erhöht den Rang um eine Stufe und stößt die Ausnahmebehandlung *schonHoechsteStufe* an, wenn bereits die Gehaltsstufe C4 vorliegt.

Man bezeichnet den Objekttyp, auf dem die Operationen definiert wurden, als *Empfängertyp* (engl. *receiver type*) und das Objekt, auf dem die Operation aufgerufen wird, als *Empfängerobjekt*.

Die Aufrufstruktur hängt von der Sprachanbindung ab. Innerhalb von C++ würde befördert aufgerufen als

```
meinLieblingsProf->befoerdert();
```

In der deklarativen Anfragesprache OQL (siehe Abschnitt 16.13) ist der Aufruf wahlweise mit Pfeil (->) oder mit einem Punkt (.) durchzuführen:

```
select p.wieHartAlsPruefer()
from p in AlleProfessoren
where p.Name = "Kant";
```

16.9 Vererbung

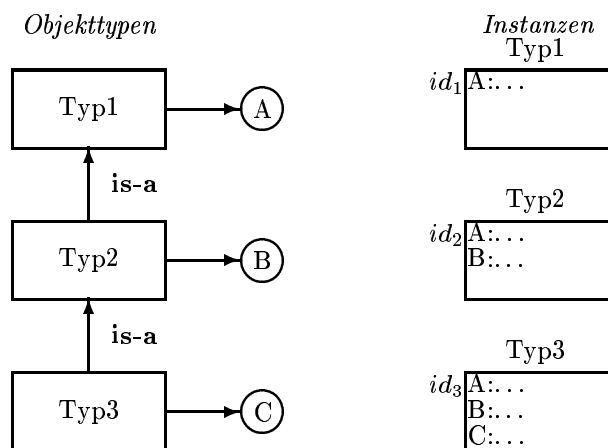


Abbildung 16.7: Schematische Darstellung einer abstrakten Typhierarchie

Das in Kapitel 2 eingeführte Konzept der Generalisierung bzw. Spezialisierung lässt sich bei objektorientierten Datenbanksystemen mit Hilfe der *Vererbung* lösen. Hierbei erbt der Untertyp nicht nur die Struktur, sondern auch das Verhalten des Obertyps. Außerdem sind Instanzen des Untertyps überall dort einsetzbar (*substituierbar*), wo Instanzen des Obertyps erforderlich sind.

Abbildung 16.7 zeigt eine Typhierarchie, bei der die Untertypen *Typ2* und *Typ3* jeweils ein weiteres Attribut, nämlich *B* bzw. *C* aufweisen. Operationen sind hier gänzlich außer Acht gelassen. Instanzen des Typs *Typ3* gehören auch zur Extension von Typ *Typ2* und von Typ *Typ1*.

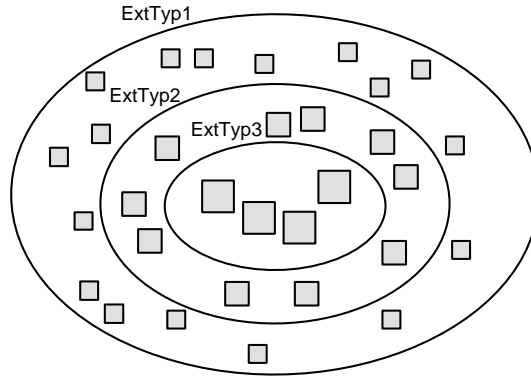


Abbildung 16.8: Darstellung der Subtypisierung

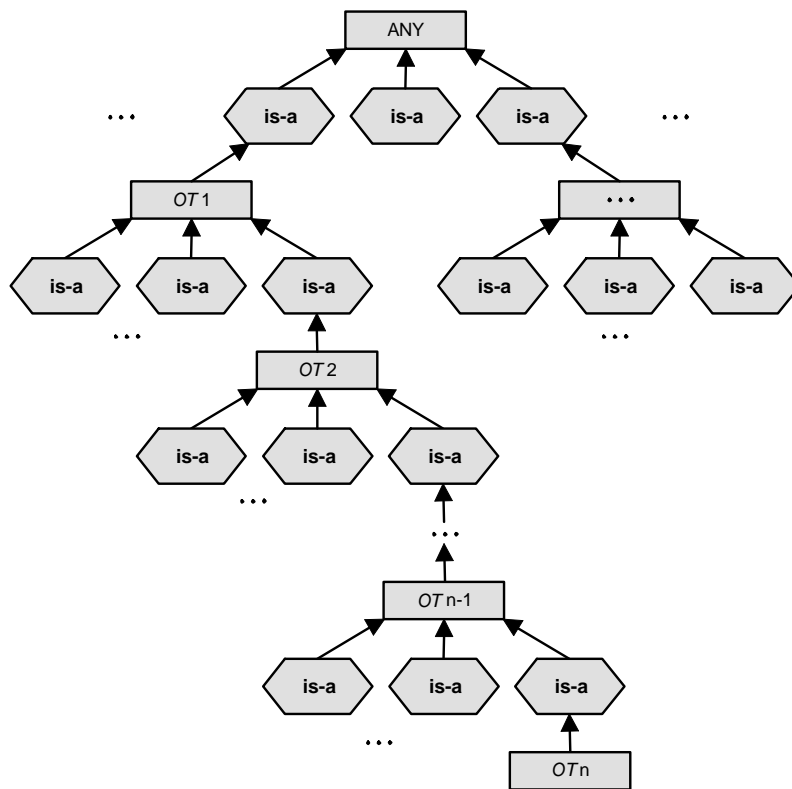


Abbildung 16.9: Abstrakte Typhierarchie bei einfacher Vererbung

Abbildung 16.8 zeigt die geschachtelte Anordnung der drei Extensionen der Typen *Typ1*, *Typ2* und *Typ3*. Durch die unterschiedliche Kästchengröße soll angedeutet werden, daß Untertyp-Instanzen mehr Eigenschaften haben und daher mehr wissen als die direkten Instanzen eines Obertyps.

Man unterscheidet zwei unterschiedliche Arten der Vererbung:

- *Einfachvererbung (single inheritance)*:
Jeder Objekttyp hat höchstens einen direkten Obertyp.
- *Mehrfachvererbung (multiple inheritance)*:
Jeder Objekttyp kann mehrere direkte Obertypen haben.

Abbildung 16.9 zeigt eine abstrakte Typhierarchie mit Einfachvererbung. Der Vorteil der Einfachvererbung gegenüber der Mehrfachvererbung besteht darin, daß es für jeden Typ einen eindeutigen Pfad zur Wurzel der Typhierarchie (hier: ANY) gibt. Ein derartiger Super-Obertyp findet sich in vielen Objektmodellen, manchmal wird er *object* genannt, in der ODMG C++-Einbindung heißt er *d_Object*.

16.10 Beispiel einer Typhierarchie

Wir betrachten eine Typhierarchie aus dem Universitätsbereich. *Angestellte* werden spezialisiert zu *Professoren* und *Assistenten*:

```
class Angestellte (extent AlleAngestellte) {
    attribute long PersNr;
    attribute string Name;
    attribute date GebDatum;
    short Alter();
    long Gehalt();
};

class Assistenten extends Angestellte (extent AlleAssistenten) {
    attribute string Fachgebiet;
};

class Professoren extends Angestellte (extent AlleProfessoren) {
    attribute string Rang;
    relationship Raeume          residiertIn inverse Raeume::beherbergt;
    relationship set(Vorlesungen) liest      inverse Vorlesungen::gelesenVon;
    relationship set(Pruefungen) hatgeprueft inverse Pruefungen::Pruefer;
};
```

Abbildung 16.10 zeigt die drei Objekttypen *Angestellte*, *Professoren* und *Assistenten*, wobei die ererbten Eigenschaften in den gepunkteten Ovalen angegeben ist.

Abbildung 16.11 zeigt schematisch die aus der Ober-/Untertyp-Beziehung resultierende Inklusion der Extensionen *AlleProfessoren* und *AlleAssistenten* in der Extension *AlleAngestellte*.

16.11 Verfeinerung und spätes Binden

Genau wie Attribute werden auch Operationen vom Obertyp an alle Untertypen vererbt. Zum Beispiel steht der bei *Angestellte* definierte Observer *Gehalt()* auch bei den Objekttypen *Professoren* und

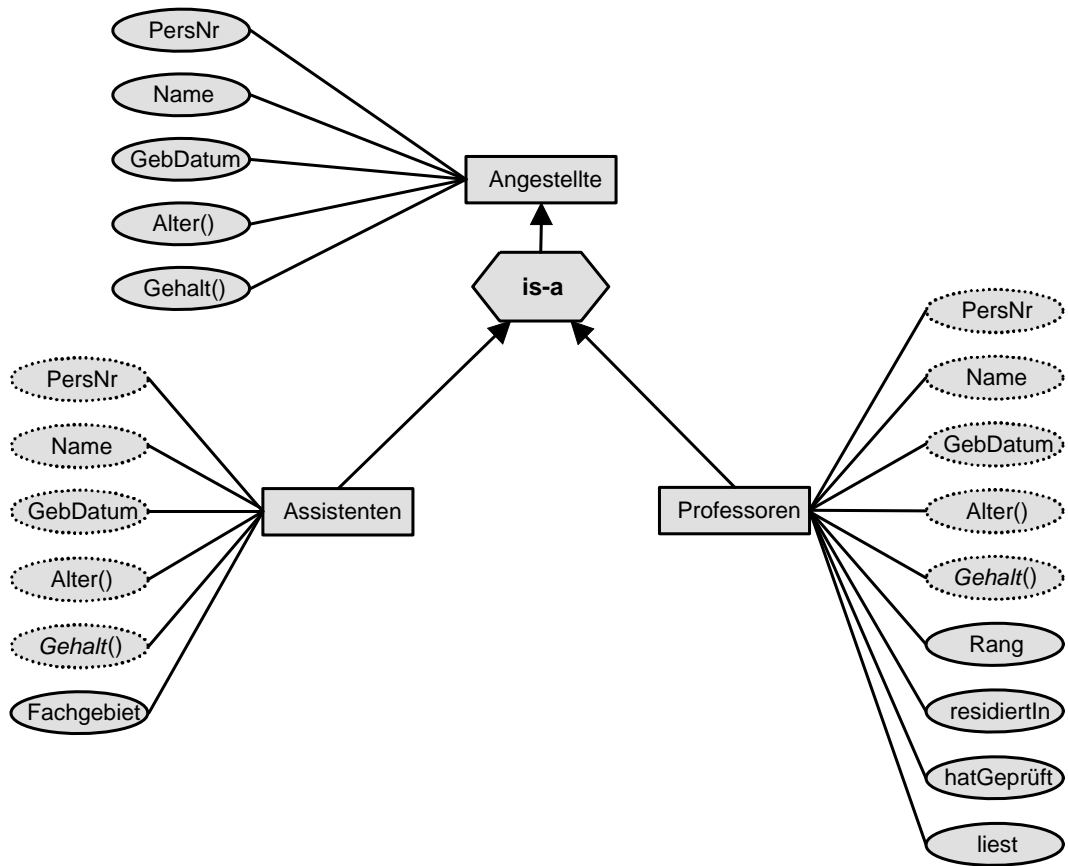


Abbildung 16.10: Vererbung von Eigenschaften

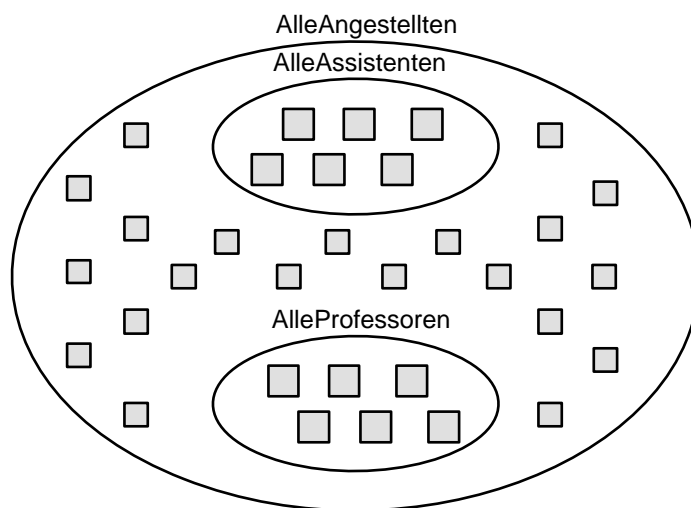


Abbildung 16.11: Visualisierung der Extensionen

Assistenten zur Verfügung.

Wir hätten auch eine *Verfeinerung* bzw. *Spezialisierung* (engl. *Refinement*) vornehmen können. Das Gehalt würde danach für jeden Objekttyp unterschiedlich berechnet:

- Angestellte erhalten $2000 + (\text{Alter}() - 21) * 100$ Euro,
- Assistenten erhalten $2500 + (\text{Alter}() - 21) * 125$ Euro,
- Professoren erhalten $3000 + (\text{Alter}() - 21) * 150$ Euro.

In Abbildung 16.10 ist dies durch den kursiven Schrifttyp der geerbten *Gehalt*-Eigenschaft gekennzeichnet.

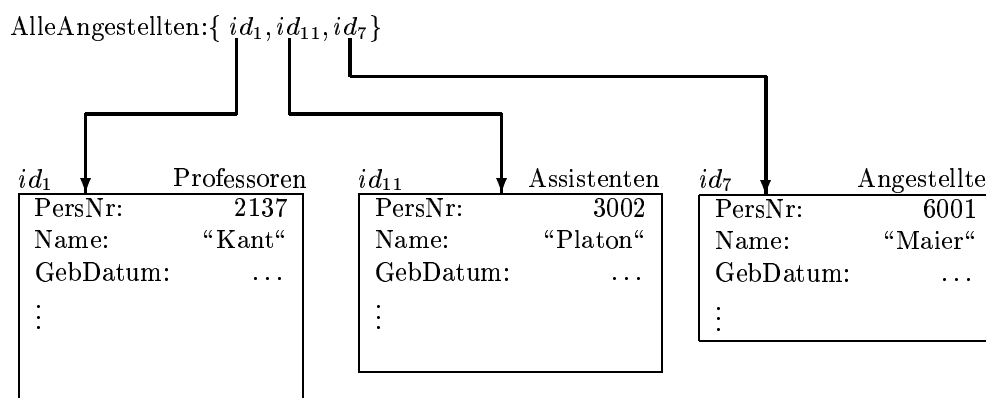


Abbildung 16.12: Die Extension *AlleAngestellten* mit drei Objekten

Abbildung 16.12 zeigt die Extension *AlleAngestellten* mit drei Elementen:

- Objekt *id₁* ist eine direkte *Professoren*-Instanz,
- Objekt *id₁₁* ist eine direkte *Assistenten*-Instanz,
- Objekt *id₇* ist eine direkte *Angestellte*-Instanz.

Es werde nun die folgende Query abgesetzt:

```
select sum(a.Gehalt())
from a in AlleAngestellten;
```

Offensichtlich kann erst zur Laufzeit die jeweils spezialisierteste Version von *Gehalt* ermittelt werden. Diesen Vorgang bezeichnet man als *spätes Binden* (engl. *late binding*).

16.12 Mehrfachvererbung

Bei der Mehrfachvererbung erbt ein Objekttyp die Eigenschaften von mehreren Obertypen. Abbildung 16.13 zeigt ein Beispiel dafür. Der Objekttyp *Hiwi* erbt

- von *Angestellte* die Attribute *PersNr*, *Name* und *GebDatum* sowie die Operationen *Gehalt()* und *Alter()*,
- von *Studenten* die Attribute *MatrNr*, *Name*, *Semester*, *hört* und *wurdeGeprüft*.

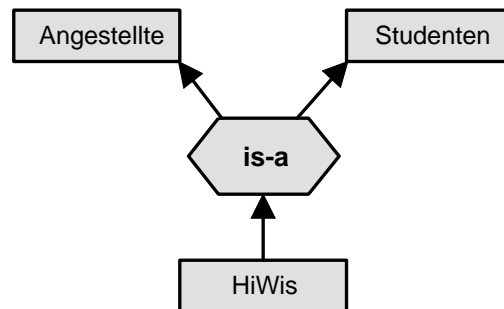


Abbildung 16.13: Beispiel für Mehrfachvererbung

Die Syntax könnte lauten:

```
class HiWis extends Studenten, Angestellte (extent AlleHiWis) {
    attribute short Arbeitsstunden;
    ...
};
```

Nun wird allerdings das Attribut *Name* sowohl von *Angestellte* als auch von *Studenten* geerbt. Um solchen Mehrdeutigkeiten und den damit verbundenen Implementationsproblemen aus dem Weg zu gehen, wurde in der Version 2.0 von ODL das Schnittstellen-Konzept (engl *interface*) eingeführt, das es in ähnlicher Form auch in der Programmiersprache *Java* gibt.

Eine **interface**-Definition ist eine abstrakte Definition der Methoden, die alle Klassen besitzen müssen, die diese Schnittstelle implementieren. Eine Klasse im ODBG-Modell kann mehrere Schnittstellen implementieren, darf aber nur höchstens von einer Klasse mit **extends** abgeleitet werden

Also würde man für die Angestellten lediglich die Schnittstelle *AngestellteIF* festlegen. Die Klasse *HiWis* implementiert diese Schnittstelle und erbt den Zustand und die Methoden der Klasse *Studenten*. Die Liste der Schnittstellen, die eine Klasse implementiert, wird in der Klassendefinition nach dem Klassennamen und der möglichen **extends**-Anweisung hinter einem Doppelpunkt angegeben. Zusätzlich muß der nicht mitgeerbte, aber benötigte Teil des Zustandes der ursprünglichen *Angestellten*-Klasse nachgereicht werden.


```

interface AngestellteIF {
    short Alter();
    long Gehalt();
};

class Angestellte : AngestellteIF (extent AlleAngestellte) {
    attribute long PersNr;
    attribute string Name;
    attribute date GebDatum;
};

class Hiwis extends Studenten : AngestellteIF (extent AlleHiwis) {
    attribute long PersNr;
    attribute date GebDatum;
    attribute short Arbeitsstunden;
};

```

Man beachte, daß die *HiWis* nun nicht in der Extension *AlleAngestellten* enthalten sind. Dazu müßte man diese Extension der Schnittstelle *AngestellteIF* zuordnen, was aber nach ODMG-Standard nicht möglich ist. Konflikte bei gleichbenannten Methoden werden im ODBG-Modell dadurch vermieden, daß Ableitungen, bei denen solche Konflikte auftreten würden, verboten sind.

16.13 Die Anfragesprache OQL

OQL (Object Query Language) ist eine an SQL angelehnte Abfragesprache. Im Gegensatz zu SQL existiert kein Update-Befehl. Veränderungen an der Datenbank können nur über die Mutatoren der Objekte durchgeführt werden.

Liste alle C4-Professoren (als Objekte):

```

select p
from p in AlleProfessoren
where p.Rang = "C4";

```

Liste Name und Rang aller C4-Professoren (als Werte):

```

select p.Name, p.Rang
from p in AlleProfessoren
where p.Rang = "C4";

```

Liste Name und Rang aller C4-Professoren (als Tupel):

```

select struct (n: p.Name, r: p.Rang)
from p in AlleProfessoren
where p.Rang = "C4";

```

Liste alle Angestellte mit einem Gehalt über 100.000 Euro:

```
select a.Name
from a in AlleAngestellte
where a.Gehalt() > 100.000;
```

Liste Name und Lehrbelastung aller Professoren:

```
select struct (n: p.Name, a: sum(select v.SWS from v in p.liest))
from p in AlleProfessoren;
```

Gruppieren alle Vorlesungen nach der Semesterstundenzahl:

```
select *
from v in AlleVorlesungen
group by kurz: v.SWS <= 2, mittel: v.SWS = 3, lang: v.SWS >= 4;
```

Das Ergebnis sind drei Tupel vom Typ

```
struct (kurz: boolean, mittel: boolean, lang: boolean,
       partition : bag(struct(v: Vorlesungen)))
```

mit dem mengenwertigen Attribut *partition*, welche die in die jeweilige Partition fallenden Vorlesungen enthält. Die booleschen Werte markieren, um welche Partition es sich handelt.

Liste die Namen der Studenten, die bei Sokrates Vorlesungen hören:

```
select s.Name
from s in AlleStudenten, v in s.hoert
where v.gelesenVon.Name = "Sokrates"
```

Die im relationalen Modell erforderlichen Joins wurden hier mit Hilfe von Pfadausdrücken realisiert. Abbildung 16.14 zeigt die graphische Darstellung des Pfadausdrucks von *Studenten* über *Vorlesungen* zu *Professoren*.

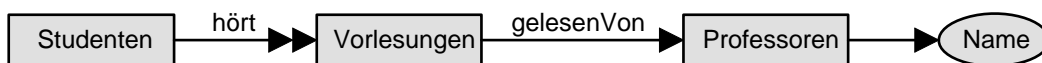


Abbildung 16.14: Graphische Darstellung eines Pfadausdrucks

Der Ausdruck *s.hoert* ergibt die Menge von Vorlesungen des Studenten *s*. Pfadausdrücke können beliebige Länge haben, dürfen aber keine mengenwertigen Eigenschaften verwenden. Verboten ist daher eine Formulierung der Form

```
s.hoert.gelesenVon.Name
```

da *hoert* mengenwertig ist. Stattdessen wurde in der *from*-Klausel die Variable *v* eingeführt, die jeweils an die Menge *s.hoert* gebunden wird.

Die Erzeugung von Objekten geschieht mit Hilfe des Objektkonstruktors:

```
Vorlesungen (vorlNr: 4711, Titel: "Selber Atmen", SWS: 4,  
gelesenVon : ( select p  
                from p in AlleProfessoren  
                where p.Name = "Sokrates"));
```

16.14 C++-Einbettung

Zur Einbindung von objektorientierten Datenbanksystemen in eine Programmiersprache gibt es drei Ansätze:

- Entwurf einer neuen Sprache
- Erweiterung einer bestehenden Sprache
- Datenbankfähigkeit durch Typ-Bibliothek

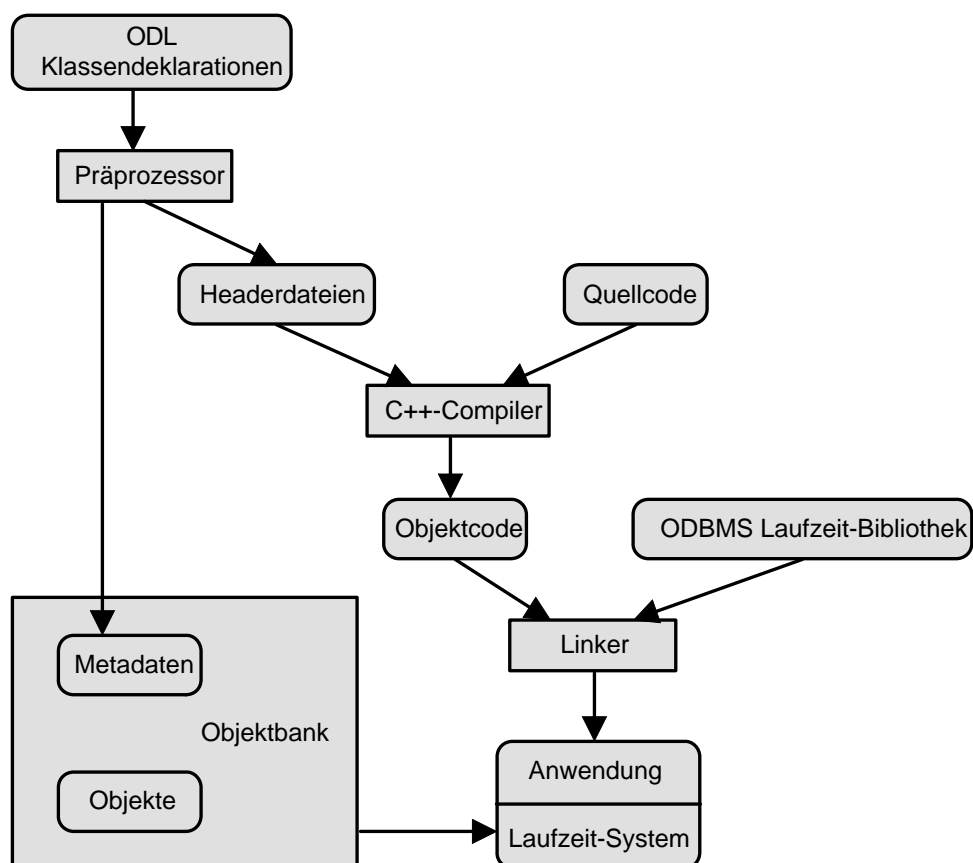


Abbildung 16.15: C++-Einbindung

Die von der ODMG gewählte Einbindung entspricht dem dritten Ansatz. Ihre Realisierung ist in Abbildung 16.15 dargestellt. Der Benutzer erstellt die Klassendeklarationen und den Quellcode der Anwendung. Die Klassendeklarationen werden mit Hilfe eines Präprozessors in die Datenbank eingetragen. Zusätzlich werden Header-Dateien in Standard-C++ erzeugt, die durch einen handelsüblichen C++-Compiler übersetzt werden können. Der Quellcode enthält die Realisierungen der den Objekttypen zugeordneten Operationen. Der übersetzte Quellcode wird mit dem Laufzeitsystem gebunden. Das Laufzeitsystem sorgt in der fertigen Anwendung für die Kommunikation mit der Datenbank.

Zur Formulierung von Beziehungen zwischen persistenten Objekten bietet die C++-Einbettung die Typen *d_Rel_Ref* und *d_Rel_Set* an:

```
const char _liest[]      = "liest";
const char _gelesenVon[] = "gelesenVon";

class Vorlesungen : public d_Object {
    d_String Titel;
    d_Short  SWS;
    ...
    d_Rel_ref <Professoren, _liest> gelesenVon;
}

class Professoren : public Angestellte {
    d_Long PersNr;
    ...
    d_Rel_Set <Vorlesungen, _gelesenVon> liest;
}
```

Es wurden hier zwei Klassen definiert. *Vorlesungen* ist direkt vom Typ *d_Object* abgeleitet, *Professoren* ist über *d_Object* und dann über *Angestellte* (nicht gezeigt) abgeleitet. Der Typ *d_object* sorgt dafür, daß von *Vorlesungen* und *Professoren* nicht nur transiente, sondern auch persistente Instanzen gebildet werden können. Die Typen *d_String*, *d_Short* und *d_Long* sind die C++-Versionen der ODL-Typen **string**, **short** und **long**.

In der Klasse *Vorlesungen* referenziert das Attribut *gelesenVon* durch *d_Rel_Ref* ein Objekt vom Typ *Professoren*. Als zweites Argument in der Winkelklammer wird die entsprechende inverse Abbildung *liest* angegeben. In der Klasse *Professoren* referenziert das Attribut *liest* durch *d_Rel_Set* eine Menge von Objekten vom Typ *Vorlesungen*. Als zweites Argument in der Winkelklammer wird die entsprechende inverse Abbildung *gelesenVon* angegeben.

Zum Erzeugen eines persistenten Objekts verwendet man den Operator **new**:

```
d_Ref <Professoren> Russel =
    new(UniDB, "Professoren") Professoren (2126, "Russel", "C4", ...);
```

Hierbei ist *Russel* eine Variable vom Typ *d_Ref* bezogen auf *Professoren*, die auf das neue Objekt verweist (im Gegensatz zu *d_Rel_Ref* ohne inverse Referenz). Als zweites Argument wird der Name des erzeugten Objekttypen als Zeichenkette angegeben.

Als Beispiel einer Anfrage wollen wir alle Schüler eines bestimmten Professors ermitteln:

```
d_Bag <Studenten> Schüler;
char * profname = ...;
d_OQL_Query anfrage ("select s
                      from s in v.Hörer,
                      v in p.liest,
                      p in AlleProfessoren
                      where p.Name = $1");
anfrage << profname;
d_oql_execute(anfrage, Schüler);
```

Zunächst wird ein Objekt vom Typ *d_OQL_Query* erzeugt mit der Anfrage als Argument in Form eines Strings. Hierbei können Platzhalter für Anfrageparameter stehen; an Stelle von \$1 wird der erste übergebene Parameter eingesetzt. Dies geschieht mit dem <<-Operator der Klasse *d_OQL_Query*. Die Anfrage wird mit der Funktion *d_oql_execute* ausgeführt und das Ergebnis in der Kollektionsvariablen vom Typ *d_Bag* (Multimenge mit Duplikaten) zurückgeliefert.

Kapitel 17

Data Warehouse

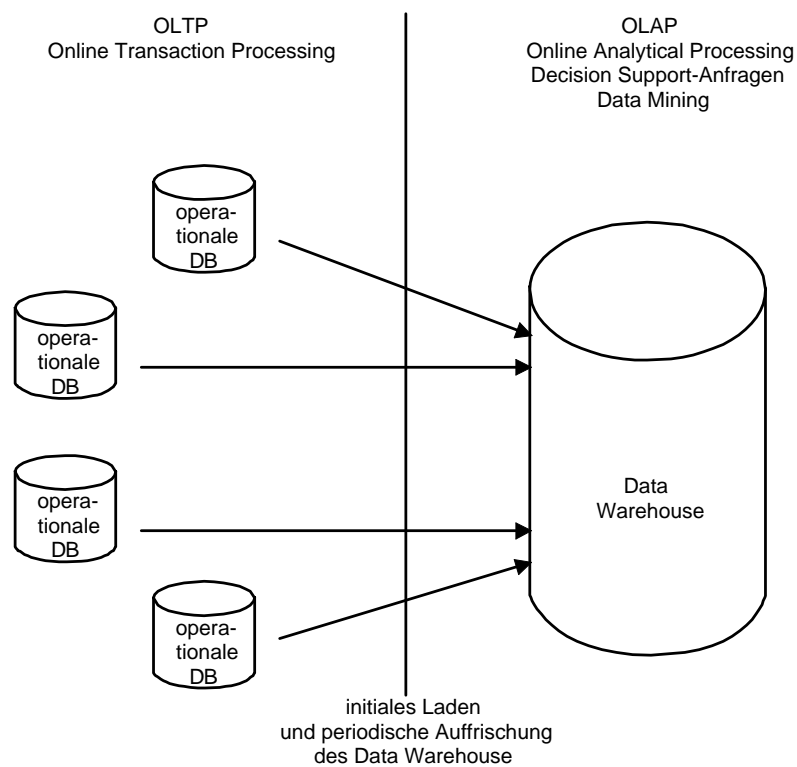


Abbildung 17.1: Zusammenspiel zwischen OLTP und OLAP

Man unterscheidet zwei Arten von Datenbankanwendungen:

- **OLTP** (*Online Transaction Processing*):

Hierunter fallen Anwendungen wie zum Beispiel das Buchen eines Flugs in einem Flugreservierungssystem oder die Verarbeitung einer Bestellung in einem Handelsunternehmen. OLTP-Anwendungen verarbeiten nur eine begrenzte Datenmenge und operieren auf dem jüngsten, aktuell gültigen Zustand der Datenbasis.

- **OLAP** (*Online Analytical Processing*):

Eine typische OLAP-Query fragt nach der Auslastung der Transatlantikflüge der letzten zwei Jahre oder nach der Auswirkung gewisser Marketingstrategien. OLAP-Anwendungen verarbeiten sehr große Datenmengen und greifen auf historische Daten zurück. Sie bilden die Grundlage für *Decision-Support-Systeme*.

OLTP- und OLAP-Anwendungen sollten nicht auf demselben Datenbestand arbeiten aus folgenden Gründen:

- OLTP-Datenbanken sind auf Änderungstransaktionen mit begrenzten Datenmengen hin optimiert.
- OLAP-Auswertungen benötigen Daten aus verschiedenen Datenbanken in konsolidierter, integrierter Form.

Daher bietet sich der Aufbau eines *Data Warehouse* an, in dem die für Decision-Support-Anwendungen notwendigen Daten in konsolidierter Form gesammelt werden. Abbildung 17.1 zeigt das Zusammenspiel zwischen operationalen Datenbanken und dem Data Warehouse. Typischerweise wird beim Transferieren der Daten aus den operationalen Datenbanken eine Verdichtung durchgeführt, da nun nicht mehr einzelne Transaktionen im Vordergrund stehen, sondern ihre Aggregation.

17.1 Datenbankentwurf für Data Warehouse

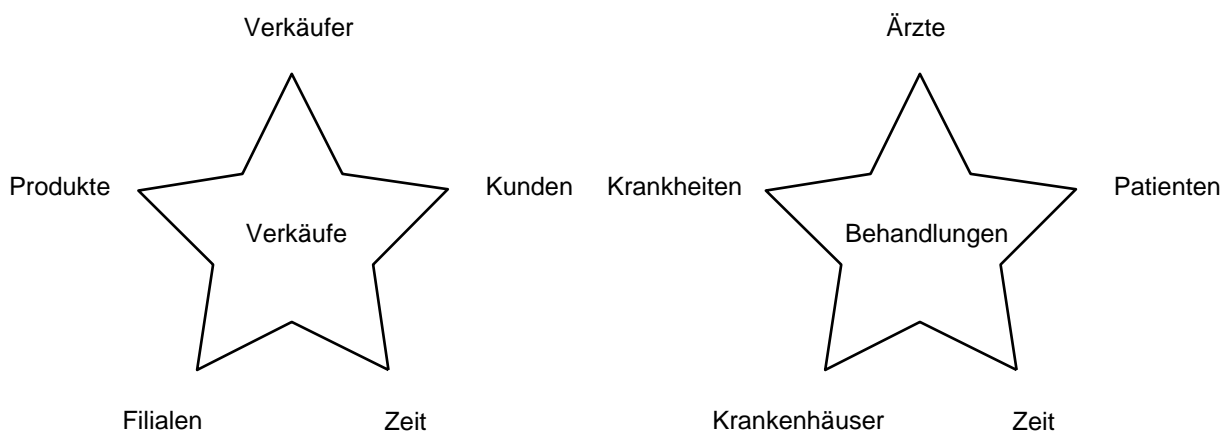


Abbildung 17.2: Sternschemata für Handelsunternehmen und Krankenversicherung

Als Datenbankschema für Data Warehouse-Anwendungen hat sich das sogenannte *Sternschema* (engl.: *star scheme*) durchgesetzt. Dieses Schema besteht aus einer *Faktentabelle* und mehreren *Dimensionstabellen*. Abbildung 17.2 zeigt die Sternschemata für zwei Beispielanwendungen in einem Handelsunternehmen und in einer Krankenversicherung.

Bei dem Handelsunternehmen können in der Faktentabelle *Verkäufe* mehrere Millionen Tupel sein, während die Dimensionstabelle *Produkte* vielleicht 10.000 Einträge und die Dimensionstabelle *Zeit*

| Verkäufe | | | | | |
|-----------|---------|---------|--------|-------|-----------|
| VerkDatum | Filiale | Produkt | Anzahl | Kunde | Verkäufer |
| 30-Jul-96 | Passau | 1347 | 1 | 4711 | 825 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

| Filialen | | | | Kunden | | | |
|-----------------|------|--------|-----|----------|--------|--------|-----|
| Filialenkennung | Land | Bezirk | ... | KundenNr | Name | wiealt | ... |
| Passau | D | Bayern | ... | 4711 | Kemper | 38 | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

| Verkäufer | | | | | |
|-------------|----------|------------|---------|--------|-----|
| VerkäuferNr | Name | Fachgebiet | Manager | wiealt | ... |
| 825 | Handyman | Elektronik | 119 | 23 | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

| Zeit | | | | | | | | |
|-----------|-----|----------|------|---------|-----|-----------|-------------|-----|
| Datum | Tag | Monat | Jahr | Quartal | KW | Wochentag | Saison | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 30-Jul-96 | 30 | Juli | 1996 | 3 | 31 | Dienstag | Hochsommer | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 23-Dec-97 | 27 | Dezember | 1997 | 4 | 52 | Dienstag | Weihnachten | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

| Produkte | | | | | |
|-----------|------------|---------------|--------------------|------------|-----|
| ProduktNr | Produkttyp | Produktgruppe | Produkthauptgruppe | Hersteller | ... |
| 1347 | Handy | Mobiltelekom | Telekom | Siemens | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Abbildung 17.3: Ausprägung des Sternschemas in einem Handelsunternehmen

vielleicht 1.000 Einträge (für die letzten drei Jahre) aufweist. Abbildung 17.3 zeigt eine mögliche Ausprägung.

Die Dimensionstabellen sind in der Regel nicht normalisiert. Zum Beispiel gelten in der Tabelle *Produkte* folgende funktionale Abhängigkeiten: $ProduktNr \rightarrow Produkttyp$, $Produkttyp \rightarrow Produktgruppe$ und $Produktgruppe \rightarrow Produkthauptgruppe$. In der *Zeit*-Dimension lassen sich alle Attribute aus dem Schlüsselattribut *Datum* ableiten. Trotzdem ist die explizite Speicherung dieser Dimension sinnvoll, da Abfragen nach Verkäufen in bestimmten Quartalen oder an bestimmten Wochentagen dadurch effizienter durchgeführt werden können.

Die Verletzung der Normalformen in den Dimensionstabellen ist bei Decision-Support-Systemen nicht so gravierend, da die Daten nur selten verändert werden und da der durch die Redundanz verursachte erhöhte Speicherbedarf bei den relativ kleinen Dimensionstabellen im Vergleich zu der großen (normalisierten) Faktentabelle nicht so sehr ins Gewicht fällt.

17.2 Star Join

Das Sternschema führt bei typischen Abfragen zu sogenannten *Star Joins*:

Welche Handys (d.h. von welchen Herstellern) haben junge Kunden in den bayrischen Filialen zu Weihnachten 1996 gekauft ?

```
select sum(v.Anzahl), p.Hersteller
from Verkäufe v, Filialen f, Produkte p, Zeit z, Kunden k
where z.Saison = 'Weihnachten' and z.Jahr = 1996 and k.wiealt < 30
and p.Produkttyp = 'Handy' and f.Bezirk = 'Bayern'
and v.VerkDatum = z.Datum and v.Produkt = p.ProduktNr
and v.Filiale = f.Filialenkennung and v.Kunde = k.KundenNr
group by Hersteller;
```

17.3 Roll-Up/Drill-Down-Anfragen

Der Verdichtungsgrad bei einer SQL-Anfrage wird durch die **group by**-Klausel gesteuert. Werden mehr Attribute in die **group by**-Klausel aufgenommen, spricht man von einem *drill down*. Werden weniger Attribute in die **group by**-Klausel aufgenommen, spricht man von einem *roll up*.

Wieviel Handys wurden von welchem Hersteller in welchem Jahr verkauft ?

```
select p.Hersteller, z.Jahr, sum(v.Anzahl)
from Verkäufe v, Produkte p, Zeit z
where v.Produkt = p.ProduktNr
and v.VerkDatum = z.Datum
and p.Produkttyp = 'Handy'
group by p.Hersteller, z.Jahr;
```

Das Ergebnis wird in der linken Tabelle von Abbildung 17.4 gezeigt. In der Tabelle rechts oben bzw. rechts unten finden sich zwei Verdichtungen.

Durch das Weglassen der Herstellerangabe aus der **group by**-Klausel (und der **select**-Klausel) entsteht ein *roll up* entlang der Dimension *p.Hersteller*:

Wieviel Handys wurden in welchem Jahr verkauft ?

```
select z.Jahr, sum(v.Anzahl)
from Verkäufe v, Produkte p, Zeit z
where v.Produkt = p.ProduktNr
and v.VerkDatum = z.Datum
and p.Produkttyp = 'Handy'
group by z.Jahr;
```

Durch das Weglassen der Zeitangabe aus der **group by**-Klausel (und der **select**-Klausel) entsteht ein *roll up* entlang der Dimension *z.Jahr*:

| Handyverkäufe nach Hersteller und Jahr | | |
|--|------|--------|
| Hersteller | Jahr | Anzahl |
| Siemens | 1994 | 2.000 |
| Siemens | 1995 | 3.000 |
| Siemens | 1996 | 3.500 |
| Motorola | 1994 | 1.000 |
| Motorola | 1995 | 1.000 |
| Motorola | 1996 | 1.500 |
| Bosch | 1994 | 500 |
| Bosch | 1995 | 1.000 |
| Bosch | 1996 | 1.500 |
| Nokia | 1994 | 1.000 |
| Nokia | 1995 | 1.500 |
| Nokia | 1996 | 2.000 |

| Handyverkäufe nach Jahr | |
|-------------------------|--------|
| Jahr | Anzahl |
| 1994 | 4.500 |
| 1995 | 6.500 |
| 1996 | 8.500 |

| Handyverkäufe nach Hersteller | |
|-------------------------------|--------|
| Hersteller | Anzahl |
| Siemens | 8.500 |
| Motorola | 3.500 |
| Bosch | 3.000 |
| Nokia | 4.500 |

Abbildung 17.4: Analyse der Handy-Verkäufe nach unterschiedlichen Dimensionen

Wieviel Handys wurden von welchem Hersteller verkauft ?

```
select p.Hersteller, sum(v.Anzahl)
from Verkäufe v, Produkte p
where v.Produkt = p.ProduktNr and v.VerkDatum = z.Datum
and p.Produkttyp = 'Handy'
group by p.Hersteller;
```

Die ultimative Verdichtung besteht im kompletten Weglassen der **group-by**-Klausel. Das Ergebnis besteht aus einem Wert, nämlich 19.500:

Wieviel Handys wurden verkauft ?

```
select sum(v.Anzahl)
from Verkäufe v, Produkte p
where v.Produkt = p.ProduktNr
and p.Produkttyp = 'Handy';
```

Durch eine sogenannte *cross tabulation* können die Ergebnisse in einem n -dimensionalen Spreadsheet zusammengefaßt werden. Abbildung 17.5 zeigt die Ergebnisse aller drei Abfragen zu Abbildung 17.4 in einem 2-dimensionalen Datenwürfel *data cube*.

17.4 Materialisierung von Aggregaten

Da es sehr zeitaufwendig ist, die Aggregation jedesmal neu zu berechnen, empfiehlt es sich, sie zu materialisieren, d.h. die vorberechneten Aggregate verschiedener Detaillierungsgrade in einer Relation

| Hersteller \ Jahr | 1994 | 1995 | 1996 | Σ |
|-------------------|-------|-------|-------|----------|
| Siemens | 2.000 | 3.000 | 3.500 | 8.500 |
| Motorola | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 3.500 |
| Bosch | 500 | 1.000 | 1.500 | 3.000 |
| Nokia | 1.000 | 1.500 | 2.000 | 4.500 |
| Σ | 4.500 | 6.500 | 8.500 | 19.500 |

Abbildung 17.5: Handy-Verkäufe nach Jahr und Hersteller

abzulegen. Es folgen einige SQL-Statements, welche die linke Tabelle von Abbildung 17.6 erzeugen. Mit dem **null**-Wert wird markiert, daß entlang dieser Dimension die Werte aggregiert wurden.

```

create table Handy2DCube (Hersteller varchar(20),
                        Jahr integer,
                        Anzahl integer);

insert into Handy2DCube
(select p.Hersteller, z.Jahr, sum(v.Anzahl)
 from Verkäufe v, Produkte p, Zeit z
 where v.Produkt = p.ProduktNr and p.Produkttyp = 'Handy'
 and v.VerkDatum = z.Datum
 group by z.Jahr, p.Hersteller)
union
(select p.Hersteller, null, sum(v.Anzahl)
 from Verkäufe v, Produkte p
 where v.Produkt = p.ProduktNr and p.Produkttyp = 'Handy'
 group by p.Hersteller)
union
(select null, z.Jahr, sum(v.Anzahl)
 from Verkäufe v, Produkte p, Zeit z
 where v.Produkt = p.ProduktNr and p.Produkttyp = 'Handy'
 and v.VerkDatum = z.Datum
 group by z.Jahr)
union
(select null, null, sum(v.Anzahl)
 from Verkäufe v, Produkte p
 where v.Produkt = p.ProduktNr and p.Produkttyp = 'Handy');

```

Offenbar ist es recht mühsam, diese Art von Anfragen zu formulieren, da bei n Dimensionen insgesamt 2^n Unteranfragen formuliert und mit **union** verbunden werden müssen. Außerdem sind solche Anfragen extrem zeitaufwendig auszuwerten, da jede Aggregation individuell berechnet wird, obwohl man viele Aggregate aus anderen (noch nicht so stark verdichteten) Aggregaten berechnen könnte.

| Handy2DCube | | | Handy3DCube | | | |
|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|-------------|--------|
| Hersteller | Jahr | Anzahl | Hersteller | Jahr | Land | Anzahl |
| Siemens | 1994 | 2.000 | Siemens | 1994 | D | 800 |
| Siemens | 1995 | 3.000 | Siemens | 1994 | A | 600 |
| Siemens | 1996 | 3.500 | Siemens | 1994 | CH | 600 |
| Motorola | 1994 | 1.000 | Siemens | 1995 | D | 1.200 |
| Motorola | 1995 | 1.000 | Siemens | 1995 | A | 800 |
| Motorola | 1996 | 1.500 | Siemens | 1995 | CH | 1.000 |
| Bosch | 1994 | 500 | Siemens | 1996 | D | 1.400 |
| Bosch | 1995 | 1.000 | ... | ... | ... | ... |
| Bosch | 1996 | 1.500 | Motorola | 1994 | D | 400 |
| Nokia | 1994 | 1.000 | Motorola | 1994 | A | 300 |
| Nokia | 1995 | 1.500 | Motorola | 1994 | CH | 300 |
| Nokia | 1996 | 2.000 | ... | ... | ... | ... |
| null | 1994 | 4.500 | Bosch | ... | ... | ... |
| null | 1995 | 6.500 | ... | ... | ... | ... |
| null | 1996 | 8.500 | null | 1994 | D | ... |
| Siemens | null | 8.500 | null | 1995 | D | ... |
| Motorola | null | 3.500 | ... | ... | ... | ... |
| Bosch | null | 3.000 | Siemens | null | null | 8.500 |
| Nokai | null | 4.500 | ... | ... | ... | ... |
| null | null | 19.500 | null | null | null | 19.500 |

Abbildung 17.6: Materialisierung von Aggregaten in einer Relation

17.5 Der Cube-Operator

Um der mühsamen Anfrageformulierung und der ineffizienten Auswertung zu begegnen, wurde vor kurzem ein neuer SQL-Operator namens **cube** vorgeschlagen. Zur Erläuterung wollen wir ein 3-dimensionales Beispiel konstruieren, indem wir auch entlang der zusätzlichen Dimension *Filiale.Land* ein *drill down* vorsehen:

```
select p.Hersteller, z.Jahr, f.Land, sum(Anzahl)
from Verkäufe v, Produkte p, Zeit z, Filialen f
where v.Produkt      = p.ProduktNr
and   p.Produkttyp  = 'Handy'
and   v.VerkDatum   = z.Datum
and   v.Filiale     = f.Filialenkennung
group by z.Jahr, p.Hersteller, f.Land with cube;
```

Die Auswertung dieser Query führt zu dem in Abbildung 17.7 gezeigten 3D-Quader; die relationale Repräsentation ist in der rechten Tabelle von Abbildung 17.6 zu sehen. Neben der einfacheren Formulierung erlaubt der Cube-Operator dem DBMS einen Ansatz zur Optimierung, indem stärker verdichtete Aggregate auf weniger starken aufbauen und indem die (sehr große) *Verkäufe*-Relation nur einmal eingelesen werden muß.

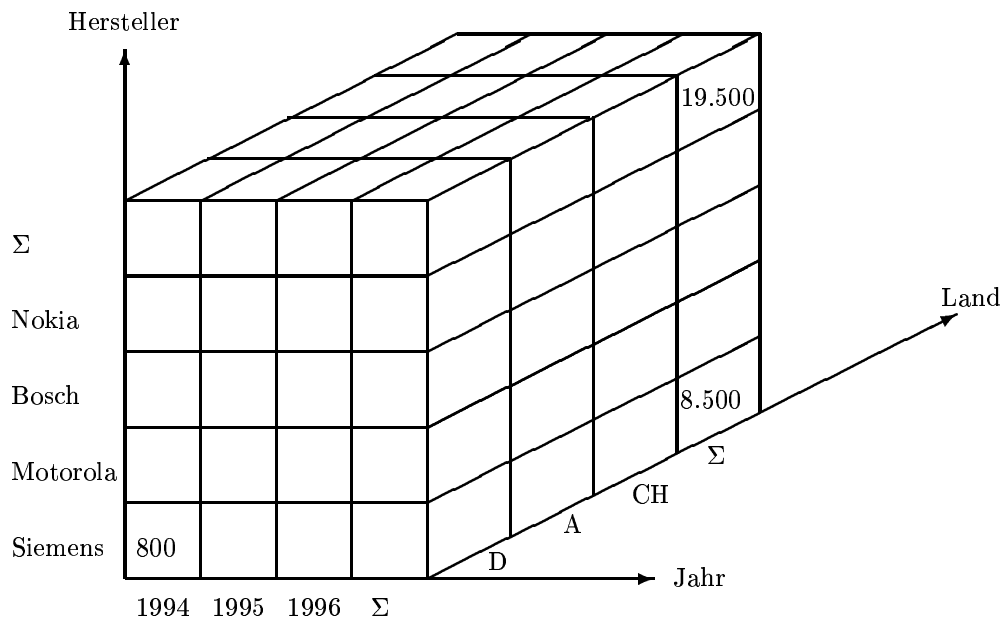


Abbildung 17.7: Würfeldarstellung der Handyverkaufszahlen nach Jahr, Hersteller und Land

17.6 Data Warehouse-Architekturen

Es gibt zwei konkurrierende Architekturen für Data Warehouse Systeme:

- **ROLAP:** Das Data Warehouse wird auf der Basis eines relationalen Datenmodells realisiert (wie in diesem Kapitel geschehen).
- **MOLAP:** Das Data Warehouse wird auf der Basis maßgeschneiderter Datenstrukturen realisiert. Das heißt, die Daten werden nicht als Tupel in Tabellen gehalten, sondern als Einträge in mehrdimensionalen Arrays. Probleme bereiten dabei dünn besetzte Dimensionen.

17.7 Data Mining

Beim *Data Mining* geht es darum, große Datenmengen nach (bisher unbekanntem) Zusammenhängen zu durchsuchen. Man unterscheidet zwei Zielsetzungen bei der Auswertung der Suche:

- Klassifikation von Objekten,
- Finden von Assoziationsregeln.

Bei der Klassifikation von Objekten (z. B.: Menschen, Aktienkursen, etc.) geht es darum, Vorhersagen über das zukünftige Verhalten auf Basis bekannter Attributwerte zu machen. Abbildung 17.8 zeigt ein Beispiel aus der Versicherungswirtschaft. Für die Risikoabschätzung könnte man beispielsweise vermuten, daß Männer zwischen 35 und 50 Jahren, die ein Coupé fahren, in eine hohe Risikogruppe gehören. Diese Klassifikation wird dann anhand einer repräsentativen Datenmenge verifiziert.

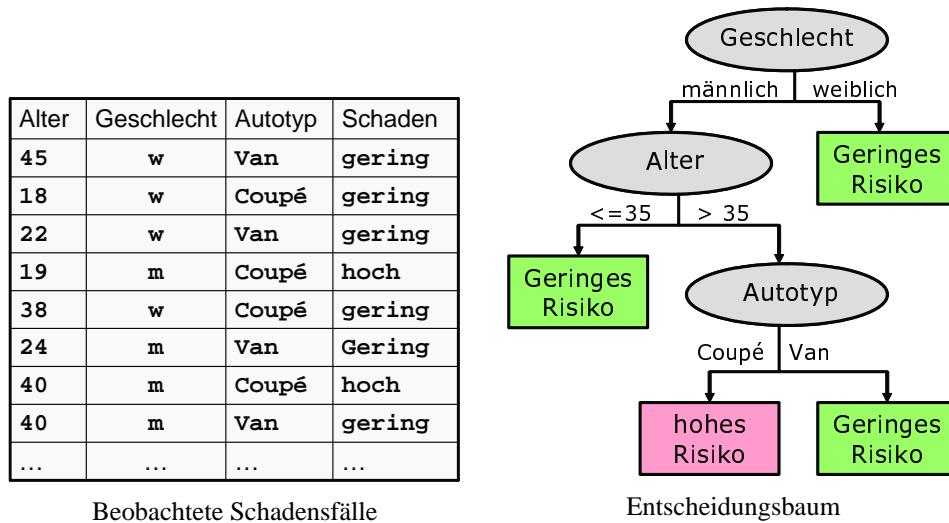


Abbildung 17.8: Klassifikation zur Risikoabschätzung bei einer KFZ-Versicherung

Die Wahl der Attribute für die Klassifikation erfolgt benutzergesteuert oder auch automatisch durch “Ausprobieren“.

Bei der Suche nach Assoziativregeln geht es darum, Zusammenhänge bestimmter Objekte durch Implikationsregeln auszudrücken, die vom Benutzer vorgeschlagen oder vom System generiert werden. Zum Beispiel könnte eine Regel beim Kaufverhalten von Kunden folgende (informelle) Struktur haben:

Wenn jemand einen PC kauft
dann kauft er auch einen Drucker.

Bei der Verifizierung solcher Regeln wird keine 100 %-ige Einhaltung erwartet. Stattdessen geht es um zwei Kenngrößen:

- **Confidence:** Dieser Wert legt fest, bei welchem Prozentsatz der Datenmenge, bei der die Voraussetzung (linke Seite) erfüllt ist, die Regel (rechte Seite) auch erfüllt ist. Eine *Confidence* von 80% sagt aus, daß vier Fünftel der Leute, die einen PC gekauft haben, auch einen Drucker dazu genommen haben.
- **Support:** Dieser Wert legt fest, wieviel Datensätze überhaupt gefunden wurden, um die Gültigkeit der Regel zu verifizieren. Bei einem Support von 1% wäre also jeder Hundertste Verkauf ein PC zusammen mit einem Drucker.

Zur Ermittlung der Assoziationsregeln verwendet man den A-Priori-Algorithmus, welcher sogenannte *frequent itemsets* berechnet, also Produktgruppen, die häufig gemeinsam gekauft wurden. Tabelle 17.1 zeigt den Verlauf des Algorithmus, der aus den beobachteten Verkäufen sukzessive alle Frequent Itemsets mit mindestens 3 Items ermittelt. Aus der TransaktionsID lässt sich zunächst ermitteln, welche Produkte gemeinsam gekauft wurden. Danach werden die Frequent Itemsets der Mächtigkeit k

| TransID | Produkt | Frequent Itemset-Kandidat | Anzahl |
|---------|---------|---------------------------|--------|
| 111 | Drucker | {Drucker} | 4 |
| 111 | Papier | {Papier} | 3 |
| 111 | PC | {PC} | 4 |
| 111 | Toner | {Toner} | 2 |
| 222 | PC | {Toner} | 3 |
| 222 | Scanner | {Drucker, Papier} | 3 |
| 333 | Drucker | {Drucker, PC} | 3 |
| 333 | Papier | {Drucker, Scanner} | |
| 333 | Toner | {Drucker, Toner} | 3 |
| 444 | Drucker | {Papier, PC} | 2 |
| 444 | PC | {Papier, Scanner} | |
| 555 | Drucker | {Papier, Toner} | 3 |
| 555 | Papier | {PC, Scanner} | |
| 555 | PC | {PC, Toner} | 2 |
| 555 | Scanner | {Scanner, Toner} | |
| 555 | Toner | {Drucker, Papier, PC} | 3 |
| | | {Drucker, Papier, Toner} | |
| | | {Drucker, PC, Toner} | |
| | | {Papier, PC, Toner} | |

Tabelle 17.1: Verkaufstransaktionen (links) und Zwischenergebnisse des A-Priori-Algorithmus (rechts)

erweitert zu Frequent Itemsets der Mächtigkeit $k + 1$. Zum Schluss bleibt die Kombination {Drucker, Papier, Toner} als einzige Dreier-Kombination übrig.

Sei F ein Frequent Itemset. Dann gilt

$$support(F) := \frac{\text{Anzahl des Vorkommens}}{\text{Gesamtzahl}}$$

Wir betrachten alle disjunkten Zerlegungen von F in L und R .

Die Regel $L \Rightarrow R$ hat dann folgende Confidence

$$confidence(L \Rightarrow R) = \frac{support(F)}{support(R)}$$

Beispiel: Die Regel {Drucker} \Rightarrow {Papier, Toner} hat

$$confidence = \frac{support(\{Drucker, Papier, Toner\})}{support(\{Drucker\})} = \frac{3/5}{4/5} = 0.75$$

Also haben 75 % der Kunden, die einen Drucker gekauft haben, auch Papier und Toner gekauft.