

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>17</b>
<b>1 Einleitung und Übersicht</b>	<b>19</b>
1.1 Motivation für den Einsatz eines DBMS	19
1.2 Datenabstraktion	21
1.3 Datenunabhängigkeit	22
1.4 Datenmodelle	23
1.5 Datenbankschema und Ausprägung	24
1.6 Einordnung der Datenmodelle	24
1.6.1 Modelle des konzeptuellen Entwurfs	24
1.6.2 Logische (Implementations-)Datenmodelle	25
1.7 Architekturübersicht eines DBMS	28
1.8 Übungen	30
1.9 Literatur	30
<b>2 Datenbankentwurf</b>	<b>31</b>
2.1 Abstraktionsebenen des Datenbankentwurfs	31
2.2 Allgemeine Entwurfsmethodik	32
2.3 Die Datenbankentwurfsschritte	33
2.4 Die Anforderungsanalyse	33
2.4.1 Informationsstrukturanforderungen	35
2.4.2 Datenverarbeitungsanforderungen	37
2.5 Grundlagen des Entity-Relationship-Modells	37
2.6 Schlüssel	39
2.7 Charakterisierung von Beziehungstypen	39
2.7.1 Funktionalitäten der Beziehungen	39
2.7.2 Funktionalitätsangaben bei $n$ -stelligen Beziehungen	41
2.7.3 Die $(min, max)$ -Notation	44
2.8 Existenzabhängige Entitytypen	48
2.9 Generalisierung	49
2.10 Aggregation	50
2.11 Kombination von Generalisierung und Aggregation	52
2.12 Konsolidierung, Sichtenintegration	53
2.13 Konzeptuelle Modellierung mit UML	59
2.13.1 UML-Klassen	59
2.13.2 Assoziationen zwischen Klassen	60
2.13.3 Aggregation in UML	61
2.13.4 Anwendungsbeispiel: Begrenzungsflächendarstellung von Polyedern in UML	62
2.13.5 Generalisierung in UML-Notation	63
2.13.6 Die Modellierung der Universität in UML	63
2.13.7 Verhaltensmodellierung in UML	64
2.13.8 Anwendungsfall-Modellierung (use cases)	64

2.13.9	Interaktionsdiagramme . . . . .	66
2.13.10	Interaktionsdiagramm zur Prüfungsdurchführung . . . . .	66
2.14	Übungen . . . . .	67
2.15	Literatur . . . . .	69
<b>3</b>	<b>Das relationale Modell</b>	<b>71</b>
3.1	Definition des relationalen Modells . . . . .	71
3.1.1	Mathematischer Formalismus . . . . .	71
3.1.2	Schema-Definition . . . . .	72
3.2	Umsetzung eines konzeptuellen Schemas in ein relationales Schema . . . . .	73
3.2.1	Relationale Darstellung von Entitytypen . . . . .	73
3.2.2	Relationale Darstellung von Beziehungen . . . . .	73
3.3	Verfeinerung des relationalen Schemas . . . . .	78
3.3.1	1:N-Beziehungen . . . . .	78
3.3.2	1:1-Beziehungen . . . . .	80
3.3.3	Vermeidung von Null-Werten . . . . .	81
3.3.4	Relationale Modellierung der Generalisierung . . . . .	82
3.3.5	Beispielausprägung der Universitäts-Datenbank . . . . .	83
3.3.6	Relationale Modellierung schwacher Entitytypen . . . . .	85
3.4	Die relationale Algebra . . . . .	85
3.4.1	Selektion . . . . .	86
3.4.2	Projektion . . . . .	87
3.4.3	Vereinigung . . . . .	87
3.4.4	Mengendifferenz . . . . .	88
3.4.5	Kartesisches Produkt (Kreuzprodukt) . . . . .	88
3.4.6	Umbenennung von Relationen und Attributen . . . . .	89
3.4.7	Definition der relationalen Algebra . . . . .	90
3.4.8	Der relationale Verbund (Join) . . . . .	90
3.4.9	Mengendurchschnitt . . . . .	95
3.4.10	Die relationale Division . . . . .	96
3.4.11	Gruppierung und Aggregation . . . . .	97
3.4.12	Operatorbaum-Darstellung . . . . .	98
3.5	Der Relationenkalkül . . . . .	98
3.5.1	Beispielanfrage im relationalen Tupelkalkül . . . . .	99
3.5.2	Quantifizierung von Tupelvariablen . . . . .	100
3.5.3	Formale Definition des Tupelkalküls . . . . .	101
3.5.4	Sichere Ausdrücke des Tupelkalküls . . . . .	102
3.5.5	Der relationale Domänenkalkül . . . . .	102
3.5.6	Beispielanfragen im Domänenkalkül . . . . .	103
3.5.7	Sichere Ausdrücke des Domänenkalküls . . . . .	104
3.6	Ausdruckskraft der Anfragesprachen . . . . .	105
3.7	Übungen . . . . .	105
3.8	Literatur . . . . .	108
<b>4</b>	<b>Relationale Anfragesprachen</b>	<b>111</b>
4.1	Geschichte . . . . .	111
4.2	Datentypen . . . . .	112
4.3	Schemadefinition . . . . .	112
4.4	Schemaveränderung . . . . .	113
4.5	Elementare Datenmanipulation: Einfügen von Tupeln . . . . .	114

4.6	Einfache SQL-Anfragen . . . . .	114
4.7	Anfragen über mehrere Relationen . . . . .	115
4.8	Aggregatfunktionen und Gruppierung . . . . .	118
4.9	Geschachtelte Anfragen . . . . .	119
4.10	Quantifizierte Anfragen in SQL . . . . .	124
4.11	Nullwerte . . . . .	126
4.12	Spezielle Sprachkonstrukte . . . . .	127
4.13	Joins in SQL-92 . . . . .	129
4.14	Rekursion . . . . .	129
4.15	Veränderungen am Datenbestand . . . . .	134
4.16	Sichten . . . . .	136
4.17	Sichten zur Modellierung von Generalisierungen . . . . .	137
4.18	Charakterisierung update-fähiger Sichten . . . . .	139
4.19	Einbettung von SQL in Wirtssprachen . . . . .	140
4.20	Anfragen in Anwendungsprogrammen . . . . .	141
4.21	JDBC: Java Database Connectivity . . . . .	144
4.21.1	Verbindungsaufbau zu einer Datenbank . . . . .	145
4.21.2	Resultset-Programmbeispiel . . . . .	147
4.21.3	Vorübersetzung von SQL-Ausdrücken . . . . .	149
4.22	SQLJ: Eine Einbettung von SQL in Java . . . . .	149
4.23	Query by Example . . . . .	152
4.24	Übungen . . . . .	154
4.25	Literatur . . . . .	158
<b>5</b>	<b>Datenintegrität</b> . . . . .	<b>159</b>
5.1	Referentielle Integrität . . . . .	160
5.2	Gewährleistung referentieller Integrität . . . . .	160
5.3	Referentielle Integrität in SQL . . . . .	161
5.4	Überprüfung statischer Integritätsbedingungen . . . . .	162
5.5	Das Universitätsschema mit Integritätsbedingungen . . . . .	164
5.6	Komplexere Integritätsbedingungen . . . . .	166
5.7	Trigger . . . . .	167
5.8	Übungen . . . . .	169
5.9	Literatur . . . . .	170
<b>6</b>	<b>Relationale Entwurfstheorie</b> . . . . .	<b>171</b>
6.1	Funktionale Abhängigkeiten . . . . .	171
6.1.1	Konventionen zur Notation . . . . .	172
6.1.2	Einhaltung einer funktionalen Abhängigkeit . . . . .	172
6.2	Schlüssel . . . . .	173
6.3	Bestimmung funktionaler Abhängigkeiten . . . . .	174
6.3.1	Kanonische Überdeckung . . . . .	177
6.4	„Schlechte“ Relationenschemata . . . . .	178
6.4.1	Die Updateanomalien . . . . .	178
6.4.2	Einfügeanomalien . . . . .	179
6.4.3	Löchanomalien . . . . .	179
6.5	Zerlegung (Dekomposition) von Relationen . . . . .	179
6.5.1	Verlustlosigkeit . . . . .	180
6.5.2	Kriterien für die Verlustlosigkeit einer Zerlegung . . . . .	182
6.5.3	Abhängigkeitsbewahrung . . . . .	183

6.6	Erste Normalform . . . . .	185
6.7	Zweite Normalform . . . . .	186
6.8	Dritte Normalform . . . . .	188
6.9	Boyce-Codd Normalform . . . . .	190
6.10	Mehrwertige Abhängigkeiten . . . . .	193
6.11	Vierte Normalform . . . . .	195
6.12	Zusammenfassung . . . . .	197
6.13	Übungen . . . . .	198
6.14	Literatur . . . . .	202
<b>7</b>	<b>Physische Datenorganisation</b>	<b>203</b>
7.1	Speichermedien . . . . .	203
7.2	Speicherhierarchie . . . . .	204
7.3	Speicherarrays: RAID . . . . .	206
7.4	Der Datenbankpuffer . . . . .	210
7.5	Abbildung von Relationen auf den Sekundärspeicher . . . . .	211
7.6	Indexstrukturen . . . . .	213
7.7	ISAM . . . . .	214
7.8	B-Bäume . . . . .	216
7.9	B <sup>+</sup> -Bäume . . . . .	220
7.10	Präfix-B <sup>+</sup> -Bäume . . . . .	222
7.11	Hashing . . . . .	222
7.12	Erweiterbares Hashing . . . . .	224
7.13	Mehrdimensionale Indexstrukturen . . . . .	226
7.14	Ballung logisch verwandter Datensätze . . . . .	231
7.15	Unterstützung eines Anwendungsverhaltens . . . . .	232
7.16	Physische Datenorganisation in SQL . . . . .	235
7.17	Übungen . . . . .	235
7.18	Literatur . . . . .	237
<b>8</b>	<b>Anfragebearbeitung</b>	<b>241</b>
8.1	Logische Optimierung . . . . .	242
8.1.1	Äquivalenzen in der relationalen Algebra . . . . .	244
8.1.2	Anwendung der Transformationsregeln . . . . .	246
8.2	Physische Optimierung . . . . .	250
8.2.1	Implementierung der Selektion . . . . .	252
8.2.2	Implementierung von binären Zuordnungsoperatoren . . . . .	252
8.2.3	Gruppierung und Duplikateliminierung . . . . .	259
8.2.4	Projektion und Vereinigung . . . . .	260
8.2.5	Zwischenspeicherung . . . . .	260
8.2.6	Sortierung von Zwischenergebnissen . . . . .	261
8.2.7	Übersetzung der logischen Algebra . . . . .	265
8.3	Kostenmodelle . . . . .	268
8.3.1	Selektivitäten . . . . .	268
8.3.2	Kostenabschätzung für die Selektion . . . . .	271
8.3.3	Kostenabschätzung für den Join . . . . .	271
8.3.4	Kostenabschätzung für die Sortierung . . . . .	272
8.4	„Tuning“ von Datenbankabfragen . . . . .	272
8.5	Kostenbasierte Optimierer . . . . .	274
8.5.1	Suchraum für die Join-Optimierung . . . . .	274

8.5.2	Dynamische Programmierung . . . . .	276
8.6	Übungen . . . . .	280
8.7	Literatur . . . . .	282
<b>9</b>	<b>Transaktionsverwaltung</b> . . . . .	<b>285</b>
9.1	Begriffsbildung . . . . .	285
9.2	Anforderungen an die Transaktionsverwaltung . . . . .	286
9.3	Operationen auf Transaktions-Ebene . . . . .	286
9.4	Abschluss einer Transaktion . . . . .	287
9.5	Eigenschaften von Transaktionen . . . . .	289
9.6	Transaktionsverwaltung in SQL . . . . .	290
9.7	Zustandsübergänge einer Transaktion . . . . .	291
9.8	Literatur . . . . .	292
<b>10</b>	<b>Fehlerbehandlung</b> . . . . .	<b>293</b>
10.1	Fehlerklassifikation . . . . .	293
10.1.1	Lokaler Fehler einer Transaktion . . . . .	293
10.1.2	Fehler mit Hauptspeicherverlust . . . . .	294
10.1.3	Fehler mit Hintergrundspeicherverlust . . . . .	295
10.2	Die Speicherhierarchie . . . . .	295
10.2.1	Ersetzung von Puffer-Seiten . . . . .	295
10.2.2	Einbringen von Änderungen einer Transaktion . . . . .	296
10.2.3	Einbringstrategie . . . . .	297
10.2.4	Hier zugrunde gelegte Systemkonfiguration . . . . .	298
10.3	Protokollierung von Änderungsoperationen . . . . .	298
10.3.1	Struktur der Log-Einträge . . . . .	299
10.3.2	Beispiel einer Log-Datei . . . . .	299
10.3.3	Logische oder physische Protokollierung . . . . .	299
10.3.4	Schreiben der Log-Information . . . . .	300
10.3.5	Das WAL-Prinzip . . . . .	302
10.4	Wiederanlauf nach einem Fehler . . . . .	302
10.4.1	Analyse des Logs . . . . .	303
10.4.2	Redo-Phase . . . . .	304
10.4.3	Undo-Phase . . . . .	304
10.5	Fehlertoleranz des Wiederanlaufs . . . . .	304
10.6	Lokales Zurücksetzen einer Transaktion . . . . .	306
10.7	Partielles Zurücksetzen einer Transaktion . . . . .	307
10.8	Sicherungspunkte . . . . .	308
10.8.1	Transaktionskonsistente Sicherungspunkte . . . . .	308
10.8.2	Aktionskonsistente Sicherungspunkte . . . . .	309
10.8.3	Unscharfe (fuzzy) Sicherungspunkte . . . . .	311
10.9	Recovery nach einem Verlust der materialisierten Datenbasis . . . . .	312
10.10	Übungen . . . . .	313
10.11	Literatur . . . . .	314
<b>11</b>	<b>Mehrbenutzersynchronisation</b> . . . . .	<b>315</b>
11.1	Fehler bei unkontrolliertem Mehrbenutzerbetrieb . . . . .	316
11.1.1	Verlorengegangene Änderungen ( <i>lost update</i> ) . . . . .	316
11.1.2	Abhängigkeit von nicht freigegebenen Änderungen . . . . .	316
11.1.3	Phantomproblem . . . . .	317

11.2	Serialisierbarkeit . . . . .	317
11.2.1	Beispiele serialisierbarer Ausführungen (Historien) . . . . .	318
11.2.2	Nicht serialisierbare Historie . . . . .	318
11.3	Theorie der Serialisierbarkeit . . . . .	321
11.3.1	Definition einer Transaktion . . . . .	321
11.3.2	Historie (Schedule) . . . . .	322
11.3.3	Äquivalenz zweier Historien . . . . .	323
11.3.4	Serialisierbare Historien . . . . .	324
11.3.5	Kriterien für Serialisierbarkeit . . . . .	324
11.4	Eigenschaften von Historien bezüglich der Recovery . . . . .	326
11.4.1	Rücksetzbare Historien . . . . .	326
11.4.2	Historien ohne kaskadierendes Rücksetzen . . . . .	326
11.4.3	Strikte Historien . . . . .	327
11.4.4	Beziehungen zwischen den Klassen von Historien . . . . .	327
11.5	Der Datenbank-Scheduler . . . . .	328
11.6	Sperrbasierte Synchronisation . . . . .	329
11.6.1	Zwei Sperrmodi . . . . .	329
11.6.2	Zwei-Phasen-Sperrprotokoll . . . . .	330
11.6.3	Kaskadierendes Rücksetzen (Schneeballeffekt) . . . . .	332
11.7	Verklemmungen (Deadlocks) . . . . .	332
11.7.1	Erkennung von Verklemmungen . . . . .	333
11.7.2	Preclaiming zur Vermeidung von Verklemmungen . . . . .	334
11.7.3	Verklemmungsvermeidung durch Zeitstempel . . . . .	335
11.8	Hierarchische Sperrgranulate . . . . .	336
11.9	Einfüge- und Löschoperationen, Phantome . . . . .	340
11.10	Zeitstempel-basierende Synchronisation . . . . .	341
11.11	Optimistische Synchronisation . . . . .	343
11.12	Klassifizierung der Verfahren . . . . .	344
11.13	Synchronisation von Indexstrukturen . . . . .	344
11.14	Mehrbenutzersynchronisation in SQL-92 . . . . .	348
11.15	Übungen . . . . .	350
11.16	Literatur . . . . .	353
<b>12</b>	<b>Sicherheitsaspekte</b>	<b>355</b>
12.1	Discretionary Access Control . . . . .	357
12.2	Zugriffskontrolle in SQL . . . . .	357
12.2.1	Identifikation und Authentisierung . . . . .	358
12.2.2	Autorisierung und Zugriffskontrolle . . . . .	358
12.2.3	Sichten . . . . .	359
12.2.4	Individuelle Sicht für eine Benutzergruppe . . . . .	360
12.2.5	k-Anonymität . . . . .	361
12.2.6	Auditing . . . . .	361
12.3	Verfeinerung des Autorisierungsmodells . . . . .	362
12.3.1	Rollenbasierte Autorisierung: Implizite Autorisierung von Subjekten . . . . .	363
12.3.2	Implizite Autorisierung von Operationen . . . . .	364
12.3.3	Implizite Autorisierung von Objekten . . . . .	364
12.3.4	Implizite Autorisierung entlang einer Typhierarchie . . . . .	365
12.4	Mandatory Access Control . . . . .	367

12.5	Multilevel-Datenbanken . . . . .	367
12.6	SQL-Injection . . . . .	370
12.6.1	Attacken . . . . .	371
12.6.2	Schutz vor SQL-Injection-Attacken . . . . .	372
12.7	Kryptographie . . . . .	374
12.7.1	Der Data Encryption Standard . . . . .	374
12.7.2	Public-Key-Kryptographie . . . . .	376
12.7.3	Public-Key-Infrastruktur (PKI) . . . . .	377
12.8	Zusammenfassung . . . . .	378
12.9	Übungen . . . . .	378
12.10	Literatur . . . . .	380
<b>13</b>	<b>Objektorientierte Datenbanken</b>	<b>381</b>
13.1	Bestandsaufnahme relationaler Datenbanksysteme . . . . .	381
13.2	Vorteile der objektorientierten Datenmodellierung . . . . .	385
13.3	Der ODMG-Standard . . . . .	386
13.4	Eigenschaften von Objekten . . . . .	387
13.4.1	Objektidentität . . . . .	388
13.4.2	Typ eines Objekts . . . . .	389
13.4.3	Wert eines Objekts . . . . .	389
13.5	Definition von Objekttypen . . . . .	390
13.5.1	Attribute . . . . .	390
13.5.2	Beziehungen . . . . .	390
13.5.3	Typeigenschaften: Extensionen und Schlüssel . . . . .	397
13.6	Modellierung des Verhaltens: Operationen . . . . .	397
13.7	Vererbung und Subtypisierung . . . . .	400
13.7.1	Terminologie . . . . .	400
13.7.2	Einfache und Mehrfachvererbung . . . . .	401
13.8	Beispiel einer Typhierarchie . . . . .	402
13.9	Verfeinerung (Spezialisierung) und spätes Binden von Operationen . . . . .	405
13.10	Mehrfachvererbung . . . . .	408
13.11	Die Anfragesprache OQL . . . . .	409
13.11.1	Einfache Anfragen . . . . .	409
13.11.2	Geschachtelte Anfragen und Partitionierung . . . . .	410
13.11.3	Pfadausdrücke . . . . .	411
13.11.4	Erzeugung von Objekten . . . . .	412
13.11.5	Operationsaufruf . . . . .	412
13.12	C++-Einbettung . . . . .	412
13.12.1	Objektidentität . . . . .	414
13.12.2	Objekterzeugung und Ballung . . . . .	415
13.12.3	Einbettung von Anfragen . . . . .	415
13.13	Übungen . . . . .	416
13.14	Literatur . . . . .	417
<b>14</b>	<b>Erweiterbare und objekt-relationale Datenbanken</b>	<b>419</b>
14.1	Übersicht über die objekt-relationalen Konzepte . . . . .	419
14.2	Large Objects (LOBs) . . . . .	420
14.3	Distinct Types: Einfache benutzerdefinierte Datentypen . . . . .	422
14.4	Table Functions . . . . .	426
14.4.1	Nutzung einer <i>Table Function</i> in Anfragen . . . . .	427

14.4.2 Implementierung einer <i>Table Function</i> . . . . .	427
14.5 Benutzerdefinierte strukturierte Objekttypen . . . . .	429
14.6 Geschachtelte Objekt-Relationen . . . . .	433
14.7 Vererbung von SQL-Objekttypen . . . . .	437
14.8 Komplexe Attribut-Typen . . . . .	440
14.9 Übungen . . . . .	441
14.10 Literatur . . . . .	442
<b>15 Deduktive Datenbanken</b> . . . . .	<b>443</b>
15.1 Terminologie . . . . .	443
15.2 Datalog . . . . .	443
15.3 Eigenschaften von Datalog-Programmen . . . . .	447
15.3.1 Rekursivität . . . . .	447
15.3.2 Sicherheit von Datalog-Regeln . . . . .	447
15.4 Auswertung von nicht-rekursiven Datalog-Programmen . . . . .	448
15.4.1 Auswertung eines Beispielprogramms . . . . .	448
15.4.2 Auswertungs-Algorithmus . . . . .	451
15.5 Auswertung rekursiver Regeln . . . . .	453
15.6 Inkrementelle (semi-naive) Auswertung rekursiver Regeln . . . . .	455
15.7 Bottom-Up oder Top-Down Auswertung . . . . .	459
15.8 Negation im Regelrumpf . . . . .	461
15.8.1 Stratifizierte Datalog-Programme . . . . .	461
15.8.2 Auswertung von Regeln mit Negation . . . . .	462
15.8.3 Ein etwas komplexeres Beispiel . . . . .	463
15.9 Ausdruckskraft von Datalog . . . . .	463
15.10 Übungen . . . . .	465
15.11 Literatur . . . . .	469
<b>16 Verteilte Datenbanken</b> . . . . .	<b>471</b>
16.1 Terminologie und Abgrenzung . . . . .	471
16.2 Entwurf verteilter Datenbanken . . . . .	473
16.3 Horizontale und vertikale Fragmentierung . . . . .	475
16.3.1 Horizontale Fragmentierung . . . . .	476
16.3.2 Abgeleitete horizontale Fragmentierung . . . . .	478
16.3.3 Vertikale Fragmentierung . . . . .	479
16.3.4 Kombinierte Fragmentierung . . . . .	481
16.3.5 Allokation für unser Beispiel . . . . .	482
16.4 Transparenz in verteilten Datenbanken . . . . .	483
16.4.1 Fragmentierungstransparenz . . . . .	483
16.4.2 Allokationstransparenz . . . . .	484
16.4.3 Lokale Schema-Transparenz . . . . .	484
16.5 Anfrageübersetzung und -optimierung in VDBMS . . . . .	485
16.5.1 Anfragebearbeitung bei horizontaler Fragmentierung . . . . .	485
16.5.2 Anfragebearbeitung bei vertikaler Fragmentierung . . . . .	487
16.6 Join-Auswertung in VDBMS . . . . .	489
16.6.1 Join-Auswertung ohne Filterung . . . . .	489
16.6.2 Join-Auswertung mit Semijoin-Filterung . . . . .	490
16.6.3 Join-Auswertung mit Bitmap-Filterung . . . . .	492
16.7 Transaktionskontrolle in VDBMS . . . . .	494
16.8 Mehrbenutzersynchronisation in VDBMS . . . . .	499



16.8.1	Serialisierbarkeit	499
16.8.2	Das Zwei-Phasen-Sperrprotokoll in VDBMS	499
16.9	Deadlocks in VDBMS	500
16.9.1	Erkennung von Deadlocks	500
16.9.2	Deadlock-Vermeidung	503
16.10	Synchronisation bei replizierten Daten	504
16.11	Peer-to-Peer-Informationssysteme	507
16.11.1	P2P-Systeme für den Datenaustausch (File-Sharing)	507
16.11.2	Verteilte Hashtabellen (Distributed Hash Tables DHTs)	509
16.11.3	Mehrdimensionaler P2P-Datenraum	513
16.12	No-SQL- und Key/Value-Datenbanksysteme	515
16.13	Übungen	516
16.14	Literatur	520
<b>17</b>	<b>Betriebliche Anwendungen: OLTP, Data Warehouse, Data Mining</b>	<b>523</b>
17.1	SAP R/3: Ein betriebswirtschaftliches Datenbankanwendungssystem	523
17.1.1	Architektur von SAP R/3	523
17.1.2	Datenmodell und Schema von SAP R/3	524
17.1.3	ABAP/4	525
17.1.4	Transaktionen in SAP R/3	528
17.2	Data Warehouse, Decision-Support, OLAP	529
17.2.1	Datenbankentwurf für das Data Warehouse	530
17.2.2	Anfragen im Sternschema: Star Join	533
17.2.3	Roll-Up/Drill-Down-Anfragen	534
17.2.4	Flexible Auswertungsmethoden	536
17.2.5	Materialisierung von Aggregaten	536
17.2.6	Der <b>cube</b> -Operator	538
17.2.7	Wiederverwendung materialisierter Aggregate	538
17.2.8	Bitmap-Indices für OLAP-Anfragen	541
17.2.9	Auswertungsalgorithmen für komplexe OLAP-Anfragen	542
17.3	Bewertung (Ranking) von Objekten	544
17.3.1	Top-k-Anfragen	545
17.3.2	Skyline-Anfragen	549
17.3.3	Data Warehouse-Architekturen	552
17.3.4	Attribut-basierte Speicherung (Column-Stores)	553
17.4	Data Mining	555
17.4.1	Klassifikation von Objekten	555
17.4.2	Assoziationsregeln	556
17.4.3	Der <b>A Priori</b> -Algorithmus	557
17.4.4	Bestimmung der Assoziationsregeln	559
17.4.5	Cluster-Bestimmung	560
17.5	Übungen	561
17.6	Literatur	562
<b>18</b>	<b>Internet-Datenbankanbindungen</b>	<b>565</b>
18.1	HTML- und HTTP-Grundlagen	565
18.1.1	HTML: Die Hypertext-Sprache des World Wide Web	565
18.1.2	Adressierung von Web-Dokumenten	566
18.1.3	Client/Server-Architektur des World Wide Web	568
18.1.4	HTTP: Das HyperText Transfer Protokoll	568

18.1.5	HTTPS . . . . .	569
18.2	Web-Datenbank-Anbindung via Servlets . . . . .	570
18.2.1	Beispiel-Servlet . . . . .	570
18.3	Java Server Pages / Active Server Pages . . . . .	576
18.3.1	JSP/HTML-Seite mit Java-Code . . . . .	577
18.3.2	HTML-Seite mit Java-Bean-Aufruf . . . . .	579
18.3.3	Die Java-Bean Komponente <i>VorlesungenBean</i> . . . . .	580
18.3.4	Sokrates' Homepage . . . . .	582
18.4	Datenbankanbindung via Java-Applets . . . . .	582
18.5	Übungen . . . . .	583
18.6	Literatur . . . . .	584
<b>19</b>	<b>XML-Datenmodellierung und Web-Services</b>	<b>587</b>
19.1	XML-Datenmodellierung . . . . .	587
19.1.1	Schema oder kein Schema . . . . .	588
19.1.2	Rekursive Schemata . . . . .	590
19.1.3	Universitätsinformation in XML-Format . . . . .	590
19.1.4	XML-Namensräume . . . . .	592
19.1.5	XML Schema: Eine Schemadefinitionssprache . . . . .	594
19.1.6	Verweise (Referenzen) in XML-Daten . . . . .	596
19.2	XQuery: Eine XML-Anfragesprache . . . . .	597
19.2.1	Pfadausdrücke . . . . .	597
19.2.2	Verkürzte XPath-Syntax . . . . .	602
19.2.3	Beispiel-Pfadausdrücke in verkürzter Syntax . . . . .	603
19.2.4	Anfragesyntax von XQuery . . . . .	604
19.2.5	Geschachtelte Anfragen . . . . .	606
19.2.6	Joins in XQuery . . . . .	606
19.2.7	Join-Prädikat im Pfadausdruck . . . . .	607
19.2.8	Das let-Konstrukt . . . . .	608
19.2.9	Dereferenzierung in FLWOR-Ausdrücken . . . . .	609
19.2.10	Das if-then-else-Konstrukt . . . . .	611
19.2.11	Rekursive Anfragen . . . . .	612
19.3	Zusammenspiel von relationalen Datenbanken und XML . . . . .	614
19.3.1	XML-Repräsentation gemäß Pre- und Postorder-Rängen . . . . .	620
19.3.2	Der neue Datentyp xml . . . . .	624
19.3.3	Änderungen der XML-Dokumente . . . . .	628
19.3.4	Publikation relationaler Daten als XML-Dokumente . . . . .	629
19.3.5	Fallstudie: XML-Unterstützung in IBM DB2 V9 . . . . .	633
19.4	Web-Services . . . . .	638
19.4.1	Erstellen und Nutzen eines Web-Services im Überblick . . . . .	640
19.4.2	Das Auffinden von Diensten . . . . .	642
19.4.3	Ein Beispiel-Web-Service . . . . .	644
19.4.4	Definition der Web-Service-Schnittstellen . . . . .	644
19.4.5	Nachrichtenformat für die Interaktion mit Web-Services . . . . .	647
19.4.6	Implementierung des Web-Services . . . . .	649
19.4.7	Aufruf des Web-Services . . . . .	650
19.5	Übungen . . . . .	652
19.6	Literatur . . . . .	655

<b>20 Neue Datenbank-Entwicklungen</b>	<b>659</b>
20.1 Datenbanken für das Semantic Web . . . . .	659
20.1.1 RDF: Resource Description Framework . . . . .	659
20.1.2 SPARQL: Die RDF Anfragesprache . . . . .	661
20.1.3 Implementierung einer RDF-Datenbank . . . . .	664
20.2 Hauptspeicher-Datenbanken für OLTP&OLAP . . . . .	668
20.2.1 Update Staging . . . . .	671
20.2.2 Heterogene Workload-Verwaltung . . . . .	672
20.2.3 Kontinuierliche Datawarehouse-Auffrischung . . . . .	673
20.2.4 Versionierung der transaktionalen Daten . . . . .	673
20.2.5 Batch-Verarbeitung . . . . .	673
20.2.6 Das Schattenspeicher-Konzept . . . . .	674
20.2.7 Berechnete Snapshots . . . . .	675
20.2.8 Reduzierte Isolationsstufen . . . . .	676
20.2.9 Snapshots des virtuellen Speichers . . . . .	676
20.2.10 Transaktionsverwaltung im Hauptspeicher-DBMS . . . . .	679
20.3 Datenströme . . . . .	681
20.4 Information Retrieval und Suchmaschinen . . . . .	688
20.4.1 TF-IDF: Dokument-Ranking basierend auf Begriffs-Häufigkeit . . . . .	689
20.4.2 Invertierte Indexierung . . . . .	690
20.4.3 Page Rank . . . . .	691
20.4.4 Der HITS Algorithmus . . . . .	694
20.5 MapReduce: Massiv parallele Datenverarbeitung . . . . .	697
20.6 Multi-Tenancy, Cloud Computing und Software as a Service . . . . .	702
20.7 Literatur . . . . .	708
<b>21 Leistungsbewertung</b>	<b>711</b>
21.1 Überblick über Datenbanksystem-Benchmarks . . . . .	711
21.2 Der TPC-C Benchmark . . . . .	711
21.3 Die TPC-H und TPC-R (früher TPC-D) Benchmarks . . . . .	714
21.4 Der OO7 Benchmark für oo-Datenbanken . . . . .	720
21.5 Hybrider OLTP&OLAP-Benchmark: TPC-CH . . . . .	721
21.6 Der TPC-W Benchmark . . . . .	723
21.7 Neue TPC-Benchmarks . . . . .	726
21.7.1 TPC-E: Der neue OLTP-Benchmark . . . . .	726
21.7.2 TPC-App: der neue Webservice-Benchmark . . . . .	727
21.7.3 TPC-DS: der neue Decision Support Benchmark . . . . .	729
21.8 Übungen . . . . .	729
21.9 Literatur . . . . .	730
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>733</b>
<b>Index</b>	<b>775</b>