

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>17</b>
<b>1 Einleitung und Übersicht</b>	<b>21</b>
1.1 Motivation für den Einsatz eines DBMS	21
1.2 Datenabstraktion	23
1.3 Datenunabhängigkeit	24
1.4 Datenmodelle	25
1.5 Datenbankschema und Ausprägung	26
1.6 Einordnung der Datenmodelle	26
1.6.1 Modelle des konzeptuellen Entwurfs	26
1.6.2 Logische (Implementations-)Datenmodelle	27
1.7 Architekturübersicht eines DBMS	30
1.8 Übungen	32
1.9 Literatur	32
<b>2 Datenbankentwurf</b>	<b>33</b>
2.1 Abstraktionsebenen des Datenbankentwurfs	33
2.2 Allgemeine Entwurfsmethodik	34
2.3 Die Datenbankentwurfsschritte	35
2.4 Die Anforderungsanalyse	35
2.4.1 Informationsstrukturanforderungen	37
2.4.2 Datenverarbeitungsanforderungen	39
2.5 Grundlagen des Entity-Relationship-Modells	39
2.6 Schlüssel	41
2.7 Charakterisierung von Beziehungstypen	41
2.7.1 Funktionalitäten der Beziehungen	41
2.7.2 Funktionalitätsangaben bei $n$ -stelligen Beziehungen	43
2.7.3 Die $(min, max)$ -Notation	46
2.8 Existenzabhängige Entitytypen	50
2.9 Generalisierung	51
2.10 Aggregation	52
2.11 Kombination von Generalisierung und Aggregation	54
2.12 Konsolidierung, Sichtenintegration	55
2.13 Konzeptuelle Modellierung mit UML	61
2.13.1 UML-Klassen	61
2.13.2 Assoziationen zwischen Klassen	62
2.13.3 Aggregation in UML	63
2.13.4 Anwendungsbeispiel: Begrenzungsflächendarstellung von Polyedern in UML	64
2.13.5 Generalisierung in UML-Notation	65
2.13.6 Die Modellierung der Universität in UML	65
2.13.7 Verhaltensmodellierung in UML	66
2.13.8 Anwendungsfall-Modellierung (use cases)	66

2.13.9	Interaktionsdiagramme . . . . .	68
2.13.10	Interaktionsdiagramm zur Prüfungsdurchführung . . . . .	68
2.14	Übungen . . . . .	69
2.15	Literatur . . . . .	71
<b>3</b>	<b>Das relationale Modell</b>	<b>73</b>
3.1	Definition des relationalen Modells . . . . .	73
3.1.1	Mathematischer Formalismus . . . . .	73
3.1.2	Schema-Definition . . . . .	74
3.2	Umsetzung eines konzeptuellen Schemas in ein relationales Schema . . . . .	75
3.2.1	Relationale Darstellung von Entitytypen . . . . .	75
3.2.2	Relationale Darstellung von Beziehungen . . . . .	75
3.3	Verfeinerung des relationalen Schemas . . . . .	80
3.3.1	1:N-Beziehungen . . . . .	80
3.3.2	1:1-Beziehungen . . . . .	82
3.3.3	Vermeidung von Null-Werten . . . . .	83
3.3.4	Relationale Modellierung der Generalisierung . . . . .	84
3.3.5	Beispielausprägung der Universitäts-Datenbank . . . . .	85
3.3.6	Relationale Modellierung schwacher Entitytypen . . . . .	87
3.4	Die relationale Algebra . . . . .	87
3.4.1	Selektion . . . . .	88
3.4.2	Projektion . . . . .	89
3.4.3	Vereinigung . . . . .	89
3.4.4	Mengendifferenz . . . . .	90
3.4.5	Kartesisches Produkt (Kreuzprodukt) . . . . .	90
3.4.6	Umbenennung von Relationen und Attributen . . . . .	91
3.4.7	Definition der relationalen Algebra . . . . .	92
3.4.8	Der relationale Verbund (Join) . . . . .	92
3.4.9	Mengendurchschnitt . . . . .	97
3.4.10	Die relationale Division . . . . .	98
3.4.11	Gruppierung und Aggregation . . . . .	99
3.4.12	Operatorbaum-Darstellung . . . . .	100
3.5	Der Relationenkalkül . . . . .	100
3.5.1	Beispielanfrage im relationalen Tupelkalkül . . . . .	101
3.5.2	Quantifizierung von Tupelvariablen . . . . .	102
3.5.3	Formale Definition des Tupelkalküls . . . . .	103
3.5.4	Sichere Ausdrücke des Tupelkalküls . . . . .	104
3.5.5	Der relationale Domänenkalkül . . . . .	104
3.5.6	Beispielanfragen im Domänenkalkül . . . . .	105
3.5.7	Sichere Ausdrücke des Domänenkalküls . . . . .	106
3.6	Ausdruckskraft der Anfragesprachen . . . . .	107
3.7	Übungen . . . . .	107
3.8	Literatur . . . . .	110
<b>4</b>	<b>Relationale Anfragesprachen</b>	<b>113</b>
4.1	Geschichte . . . . .	113
4.2	Datentypen . . . . .	114
4.3	Schemadefinition . . . . .	114
4.4	Schemaveränderung . . . . .	115
4.5	Elementare Datenmanipulation: Einfügen von Tupeln . . . . .	116

4.6	Einfache SQL-Anfragen . . . . .	116
4.7	Anfragen über mehrere Relationen . . . . .	117
4.8	Aggregatfunktionen und Gruppierung . . . . .	120
4.9	Geschachtelte Anfragen . . . . .	121
4.10	Modularisierung von SQL-Anfragen . . . . .	125
4.11	Mengen-Operatoren . . . . .	126
4.12	Quantifizierte Anfragen in SQL . . . . .	127
4.13	Nullwerte . . . . .	129
4.14	Spezielle Sprachkonstrukte . . . . .	130
4.15	Joins in SQL-92 . . . . .	131
4.16	Rekursion . . . . .	132
4.17	Veränderungen am Datenbestand . . . . .	137
4.18	Sichten . . . . .	139
4.19	Sichten zur Modellierung von Generalisierungen . . . . .	140
4.20	Charakterisierung update-fähiger Sichten . . . . .	142
4.21	Einbettung von SQL in Wirtssprachen . . . . .	143
4.22	Anfragen in Anwendungsprogrammen . . . . .	144
4.23	JDBC: Java Database Connectivity . . . . .	146
4.23.1	Verbindungsaufbau zu einer Datenbank . . . . .	148
4.23.2	Resultset-Programmbeispiel . . . . .	150
4.23.3	Vorübersetzung von SQL-Ausdrücken . . . . .	150
4.24	SQLJ: Eine Einbettung von SQL in Java . . . . .	152
4.25	Query by Example . . . . .	153
4.26	Übungen . . . . .	157
4.27	Literatur . . . . .	160
<b>5</b>	<b>Datenintegrität und temporale Daten</b> . . . . .	<b>163</b>
5.1	Referentielle Integrität . . . . .	164
5.2	Gewährleistung referentieller Integrität . . . . .	165
5.3	Referentielle Integrität in SQL . . . . .	165
5.4	Überprüfung statischer Integritätsbedingungen . . . . .	166
5.5	Das Universitätsschema mit Integritätsbedingungen . . . . .	168
5.6	Komplexere Integritätsbedingungen . . . . .	170
5.7	Trigger . . . . .	171
5.8	Temporale Daten . . . . .	173
5.8.1	System-versionierte Relationen . . . . .	173
5.8.2	Temporale Daten nach Anwendungszeit . . . . .	174
5.9	Übungen . . . . .	176
5.10	Literatur . . . . .	177
<b>6</b>	<b>Relationale Entwurfstheorie</b> . . . . .	<b>179</b>
6.1	Funktionale Abhängigkeiten . . . . .	179
6.1.1	Konventionen zur Notation . . . . .	180
6.1.2	Einhaltung einer funktionalen Abhängigkeit . . . . .	180
6.2	Schlüssel . . . . .	181
6.3	Bestimmung funktionaler Abhängigkeiten . . . . .	182
6.3.1	Kanonische Überdeckung . . . . .	185
6.4	„Schlechte“ Relationenschemata . . . . .	186
6.4.1	Die Updateanomalien . . . . .	186
6.4.2	Einfügeanomalien . . . . .	187

6.4.3	Löschanomalien	187
6.5	Zerlegung (Dekomposition) von Relationen	187
6.5.1	Verlustlosigkeit	188
6.5.2	Kriterien für die Verlustlosigkeit einer Zerlegung	190
6.5.3	Abhängigkeitsbewahrung	191
6.6	Erste Normalform	193
6.7	Zweite Normalform	194
6.8	Dritte Normalform	196
6.9	Boyce-Codd Normalform	198
6.10	Mehrwertige Abhängigkeiten	201
6.11	Vierte Normalform	203
6.12	Zusammenfassung	205
6.13	Übungen	206
6.14	Literatur	210
<b>7</b>	<b>Physische Datenorganisation</b>	<b>211</b>
7.1	Speichermedien	211
7.2	Speicherhierarchie	212
7.3	Speicherarrays: RAID	214
7.4	Der Datenbankpuffer	218
7.5	Abbildung von Relationen auf den Sekundärspeicher	219
7.6	Indexstrukturen	221
7.7	ISAM	222
7.8	B-Bäume	224
7.9	B <sup>+</sup> -Bäume	228
7.10	Präfix-B <sup>+</sup> -Bäume	230
7.11	Hintergrundspeicher-Struktur der B-Bäume	230
7.12	Hashing	232
7.13	Erweiterbares Hashing	234
7.14	Mehrdimensionale Indexstrukturen	238
7.15	Ballung logisch verwandter Datensätze	242
7.16	Unterstützung eines Anwendungsverhaltens	245
7.17	Physische Datenorganisation in SQL	246
7.18	Übungen	247
7.19	Literatur	249
<b>8</b>	<b>Anfragebearbeitung</b>	<b>251</b>
8.1	Logische Optimierung	252
8.1.1	Äquivalenzen in der relationalen Algebra	254
8.1.2	Anwendung der Transformationsregeln	256
8.1.3	Optimierung durch Entschachtelung von Unteranfragen	260
8.2	Physische Optimierung	266
8.2.1	Implementierung der Selektion	267
8.2.2	Implementierung von binären Zuordnungsoperatoren	268
8.2.3	Gruppierung und Duplikateliminierung	275
8.2.4	Projektion und Vereinigung	275
8.2.5	Zwischenspeicherung	276
8.2.6	Sortierung von Zwischenergebnissen	276
8.2.7	Übersetzung der logischen Algebra	279
8.3	Kostenmodelle	283

8.3.1	Selektivitäten	284
8.3.2	Kostenabschätzung für die Selektion	286
8.3.3	Kostenabschätzung für den Join	287
8.3.4	Kostenabschätzung für die Sortierung	288
8.4	„Tuning“ von Datenbankabfragen	288
8.5	Kostenbasierte Optimierer	290
8.5.1	Suchraum für die Join-Optimierung	290
8.5.2	Dynamische Programmierung	292
8.6	Übungen	296
8.7	Literatur	298
<b>9</b>	<b>Transaktionsverwaltung</b>	<b>301</b>
9.1	Begriffsbildung	301
9.2	Anforderungen an die Transaktionsverwaltung	302
9.3	Operationen auf Transaktions-Ebene	302
9.4	Abschluss einer Transaktion	303
9.5	Eigenschaften von Transaktionen	305
9.6	Transaktionsverwaltung in SQL	306
9.7	Zustandsübergänge einer Transaktion	307
9.8	Literatur	308
<b>10</b>	<b>Fehlerbehandlung</b>	<b>309</b>
10.1	Fehlerklassifikation	309
10.1.1	Lokaler Fehler einer Transaktion	309
10.1.2	Fehler mit Hauptspeicherverlust	310
10.1.3	Fehler mit Hintergrundspeicherverlust	311
10.2	Die Speicherhierarchie	311
10.2.1	Ersetzung von Puffer-Seiten	311
10.2.2	Einbringen von Änderungen einer Transaktion	312
10.2.3	Einbringstrategie	313
10.2.4	Hier zugrunde gelegte Systemkonfiguration	314
10.3	Protokollierung von Änderungsoperationen	314
10.3.1	Struktur der Log-Einträge	315
10.3.2	Beispiel einer Log-Datei	315
10.3.3	Logische oder physische Protokollierung	315
10.3.4	Schreiben der Log-Information	316
10.3.5	Das WAL-Prinzip	318
10.4	Wiederanlauf nach einem Fehler	318
10.4.1	Analyse des Logs	319
10.4.2	Redo-Phase	320
10.4.3	Undo-Phase	320
10.5	Fehlertoleranz des Wiederanlaufs	320
10.6	Lokales Zurücksetzen einer Transaktion	322
10.7	Partielles Zurücksetzen einer Transaktion	323
10.8	Sicherungspunkte	324
10.8.1	Transaktionskonsistente Sicherungspunkte	324
10.8.2	Aktionskonsistente Sicherungspunkte	325
10.8.3	Unscharfe (fuzzy) Sicherungspunkte	327
10.9	Recovery nach einem Verlust der materialisierten Datenbasis	328
10.10	Übungen	329

10.11	Literatur	330
<b>11</b>	<b>Mehrbenutzersynchronisation</b>	<b>331</b>
11.1	Fehler bei unkontrolliertem Mehrbenutzerbetrieb	332
11.1.1	Verlorengegangene Änderungen ( <i>lost update</i> )	332
11.1.2	Abhängigkeit von nicht freigegebenen Änderungen	332
11.1.3	Phantomproblem	333
11.2	Serialisierbarkeit	333
11.2.1	Beispiele serialisierbarer Ausführungen (Historien)	334
11.2.2	Nicht serialisierbare Historie	334
11.3	Theorie der Serialisierbarkeit	337
11.3.1	Definition einer Transaktion	337
11.3.2	Historie (Schedule)	338
11.3.3	Äquivalenz zweier Historien	339
11.3.4	Serialisierbare Historien	340
11.3.5	Kriterien für Serialisierbarkeit	340
11.4	Eigenschaften von Historien bezüglich der Recovery	342
11.4.1	Rücksetzbare Historien	342
11.4.2	Historien ohne kaskadierendes Rücksetzen	342
11.4.3	Strikte Historien	343
11.4.4	Beziehungen zwischen den Klassen von Historien	343
11.5	Der Datenbank-Scheduler	344
11.6	Sperrbasierte Synchronisation	345
11.6.1	Zwei Sperrmodi	345
11.6.2	Zwei-Phasen-Sperrprotokoll	346
11.6.3	Kaskadierendes Rücksetzen (Schneeballeffekt)	348
11.7	Verklemmungen (Deadlocks)	348
11.7.1	Erkennung von Verklemmungen	349
11.7.2	Preclaiming zur Vermeidung von Verklemmungen	350
11.7.3	Verklemmungsvermeidung durch Zeitstempel	351
11.8	Hierarchische Sperrgranulate	352
11.9	Einfüge- und Löschooperationen, Phantome	356
11.10	Zeitstempel-basierende Synchronisation	357
11.11	Optimistische Synchronisation	359
11.12	Snapshot Isolation	360
11.13	Klassifizierung der Verfahren	361
11.14	Synchronisation von Indexstrukturen	361
11.15	Mehrbenutzersynchronisation in SQL-92	365
11.16	Übungen	367
11.17	Literatur	369
<b>12</b>	<b>Sicherheitsaspekte</b>	<b>371</b>
12.1	Discretionary Access Control	373
12.2	Zugriffskontrolle in SQL	373
12.2.1	Identifikation und Authentisierung	374
12.2.2	Autorisierung und Zugriffskontrolle	374
12.2.3	Sichten	375
12.2.4	Individuelle Sicht für eine Benutzergruppe	376
12.2.5	k-Anonymität	377
12.2.6	Auditing	377

12.3	Verfeinerung des Autorisierungsmodells	378
12.3.1	Rollenbasierte Autorisierung: Implizite Autorisierung von Subjekten	379
12.3.2	Implizite Autorisierung von Operationen	380
12.3.3	Implizite Autorisierung von Objekten	380
12.3.4	Implizite Autorisierung entlang einer Typhierarchie	381
12.4	Mandatory Access Control	383
12.5	Multilevel-Datenbanken	383
12.6	SQL-Injection	386
12.6.1	Attacken	387
12.6.2	Schutz vor SQL-Injection-Attacken	388
12.7	Kryptographie	390
12.7.1	Der Data Encryption Standard	390
12.7.2	Der Advanced Encryption Standard (AES)	392
12.7.3	Public-Key-Kryptographie	393
12.7.4	Public-Key-Infrastruktur (PKI)	395
12.8	Zusammenfassung	398
12.9	Übungen	398
12.10	Literatur	399
<b>13</b>	<b>Objektorientierte Datenbanken</b>	<b>401</b>
13.1	Bestandsaufnahme relationaler Datenbanksysteme	401
13.2	Vorteile der objektorientierten Datenmodellierung	405
13.3	Der ODMG-Standard	406
13.4	Eigenschaften von Objekten	407
13.4.1	Objektidentität	408
13.4.2	Typ eines Objekts	409
13.4.3	Wert eines Objekts	409
13.5	Definition von Objekttypen	410
13.5.1	Attribute	410
13.5.2	Beziehungen	410
13.5.3	Typeigenschaften: Extensionen und Schlüssel	417
13.6	Modellierung des Verhaltens: Operationen	417
13.7	Vererbung und Subtypisierung	420
13.7.1	Terminologie	420
13.7.2	Einfache und Mehrfachvererbung	421
13.8	Beispiel einer Typhierarchie	422
13.9	Verfeinerung (Spezialisierung) und spätes Binden von Operationen	425
13.10	Mehrfachvererbung	428
13.11	Die Anfragesprache OQL	429
13.11.1	Einfache Anfragen	429
13.11.2	Geschachtelte Anfragen und Partitionierung	430
13.11.3	Pfadausdrücke	431
13.11.4	Erzeugung von Objekten	432
13.11.5	Operationsaufruf	432
13.12	C++-Einbettung	432
13.12.1	Objektidentität	434
13.12.2	Objekterzeugung und Ballung	435
13.12.3	Einbettung von Anfragen	435

13.13	Übungen	436
13.14	Literatur	437
<b>14</b>	<b>Erweiterbare und objekt-relationale Datenbanken</b>	<b>439</b>
14.1	Übersicht über die objekt-relationalen Konzepte	439
14.2	Large Objects (LOBs)	440
14.3	Distinct Types: Einfache benutzerdefinierte Datentypen	442
14.4	Table Functions	446
14.4.1	Nutzung einer <i>Table Function</i> in Anfragen	447
14.4.2	Implementierung einer <i>Table Function</i>	447
14.5	Benutzerdefinierte strukturierte Objekttypen	449
14.6	Geschachtelte Objekt-Relationen	453
14.7	Vererbung von SQL-Objekttypen	457
14.8	Komplexe Attribut-Typen	460
14.9	Übungen	461
14.10	Literatur	462
<b>15</b>	<b>Deduktive Datenbanken</b>	<b>463</b>
15.1	Terminologie	463
15.2	Datalog	463
15.3	Eigenschaften von Datalog-Programmen	467
15.3.1	Rekursivität	467
15.3.2	Sicherheit von Datalog-Regeln	467
15.4	Auswertung von nicht-rekursiven Datalog-Programmen	468
15.4.1	Auswertung eines Beispielprogramms	468
15.4.2	Auswertungs-Algorithmus	471
15.5	Auswertung rekursiver Regeln	473
15.6	Inkrementelle (semi-naive) Auswertung rekursiver Regeln	475
15.7	Bottom-Up oder Top-Down Auswertung	479
15.8	Negation im Regelrumpf	481
15.8.1	Stratifizierte Datalog-Programme	481
15.8.2	Auswertung von Regeln mit Negation	482
15.8.3	Ein etwas komplexeres Beispiel	483
15.9	Ausdruckskraft von Datalog	483
15.10	Übungen	485
15.11	Literatur	489
<b>16</b>	<b>Verteilte Datenbanken</b>	<b>491</b>
16.1	Terminologie und Abgrenzung	491
16.2	Entwurf verteilter Datenbanken	493
16.3	Horizontale und vertikale Fragmentierung	495
16.3.1	Horizontale Fragmentierung	496
16.3.2	Abgeleitete horizontale Fragmentierung	498
16.3.3	Vertikale Fragmentierung	499
16.3.4	Kombinierte Fragmentierung	501
16.3.5	Allokation für unser Beispiel	502
16.4	Transparenz in verteilten Datenbanken	503
16.4.1	Fragmentierungstransparenz	503
16.4.2	Allokationstransparenz	504
16.4.3	Lokale Schema-Transparenz	504



16.5	Anfrageübersetzung und -optimierung in VDBMS . . . . .	505
16.5.1	Anfragebearbeitung bei horizontaler Fragmentierung . . . . .	505
16.5.2	Anfragebearbeitung bei vertikaler Fragmentierung . . . . .	507
16.6	Join-Auswertung in VDBMS . . . . .	509
16.6.1	Join-Auswertung ohne Filterung . . . . .	509
16.6.2	Join-Auswertung mit Semijoin-Filterung . . . . .	510
16.6.3	Join-Auswertung mit Bitmap-Filterung . . . . .	512
16.7	Transaktionskontrolle in VDBMS . . . . .	514
16.8	Mehrbenutzersynchronisation in VDBMS . . . . .	519
16.8.1	Serialisierbarkeit . . . . .	519
16.8.2	Das Zwei-Phasen-Sperrprotokoll in VDBMS . . . . .	519
16.9	Deadlocks in VDBMS . . . . .	520
16.9.1	Erkennung von Deadlocks . . . . .	520
16.9.2	Deadlock-Vermeidung . . . . .	523
16.10	Synchronisation bei replizierten Daten . . . . .	524
16.11	Übungen . . . . .	527
16.12	Literatur . . . . .	530
<b>17</b>	<b>Betriebliche Anwendungen: OLTP, Data Warehouse, Data Mining</b>	<b>533</b>
17.1	SAP ERP: Ein betriebswirtschaftliches Datenbankanwendungssystem	533
17.1.1	Architektur von SAP ERP . . . . .	533
17.1.2	Datenmodell und Schema von SAP ERP . . . . .	534
17.1.3	ABAP/4 . . . . .	535
17.1.4	Transaktionen in SAP ERP . . . . .	538
17.2	Data Warehouse, Decision-Support, OLAP . . . . .	539
17.2.1	Datenbankentwurf für das Data Warehouse . . . . .	540
17.2.2	Anfragen im Sternschema: Star Join . . . . .	543
17.2.3	Roll-Up/Drill-Down-Anfragen . . . . .	544
17.2.4	Flexible Auswertungsmethoden . . . . .	546
17.2.5	Materialisierung von Aggregaten . . . . .	546
17.2.6	Der <b>cube</b> -Operator . . . . .	548
17.2.7	Wiederverwendung materialisierter Aggregate . . . . .	548
17.2.8	Bitmap-Indices für OLAP-Anfragen . . . . .	551
17.2.9	Auswertungsalgorithmen für komplexe OLAP-Anfragen . . . . .	552
17.3	Window-Funktionen in SQL . . . . .	554
17.4	Bewertung (Ranking) von Objekten . . . . .	562
17.4.1	Top-k-Anfragen . . . . .	562
17.4.2	Skyline-Anfragen . . . . .	566
17.4.3	Data Warehouse-Architekturen . . . . .	568
17.5	Data Mining . . . . .	570
17.5.1	Klassifikation von Objekten . . . . .	570
17.5.2	Assoziationsregeln . . . . .	571
17.5.3	Der À Priori-Algorithmus . . . . .	572
17.5.4	Bestimmung der Assoziationsregeln . . . . .	574
17.5.5	Cluster-Bestimmung . . . . .	575
17.6	Übungen . . . . .	577
17.7	Literatur . . . . .	579

<b>18 Hauptspeicher-Datenbanken</b>	<b>583</b>
18.1 Hardware-Entwicklungen	583
18.2 Einsatz von Hauptspeicher-Datenbanken	585
18.3 Leistungengpässe heutiger Disk-basierter Datenbanksysteme	586
18.4 Column Stores: Attribut-basierte Speicherung	588
18.5 Datenstrukturen einer Hauptspeicher-DB	592
18.5.1 Row-Store-Format	593
18.5.2 Column-Store-Format	593
18.5.3 Hybrides Speichermodell	595
18.6 Anwendungs-Operationen in der Datenbank: Stored Procedures	597
18.7 Architektur-Varianten für hybride OLTP/OLAP-Datenbanken	600
18.7.1 Update Staging	600
18.7.2 Heterogene Workload-Verwaltung	601
18.7.3 Kontinuierliche Datawarehouse-Auffrischung	602
18.7.4 Versionierung der transaktionalen Daten	602
18.7.5 Batch-Verarbeitung	602
18.7.6 Das Schattenspeicher-Konzept	603
18.7.7 Berechnete Snapshots	604
18.7.8 Reduzierte Isolationsstufen	605
18.8 Snapshots des virtuellen Speichers	605
18.9 Kompaktifizierung der Datenbank	608
18.10 Transaktionsverwaltung	612
18.11 Langlaufende Transaktionen	614
18.12 Mehrbenutzersynchronisation mit multiplen Versionen	617
18.13 Hochverfügbarkeit und Scale-Out für OLAP	623
18.14 Indexstrukturen für Hauptspeicher-DBs	625
18.15 Join-Berechnung	628
18.15.1 Massiv Paralleler Sort/Merge-Join (MPSM)	629
18.15.2 Paralleler Radix-Hash-Join	632
18.15.3 Paralleler Hash-Join ohne Partitionierung	633
18.16 Feingranulare adaptive Parallelisierung der Anfragebearbeitung	635
18.17 Übungen	639
18.18 Literatur	640
<b>19 Internet-Datenbankanbindungen</b>	<b>645</b>
19.1 HTML- und HTTP-Grundlagen	645
19.1.1 HTML: Die Hypertext-Sprache des World Wide Web	645
19.1.2 Adressierung von Web-Dokumenten	646
19.1.3 Client/Server-Architektur des World Wide Web	648
19.1.4 HTTP: Das HyperText Transfer Protokoll	648
19.1.5 HTTPS	649
19.2 Web-Datenbank-Anbindung via Servlets	650
19.2.1 Beispiel-Servlet	650
19.3 Java Server Pages / Active Server Pages	656
19.3.1 JSP/HTML-Seite mit Java-Code	657
19.3.2 HTML-Seite mit Java-Bean-Aufruf	659
19.3.3 Die Java-Bean Komponente <i>VorlesungenBean</i>	660
19.3.4 Sokrates' Homepage	662
19.4 Datenbankanbindung via Java-Applets	662

19.5	Übungen	663
19.6	Literatur	664
<b>20</b>	<b>XML-Datenmodellierung und Web-Services</b>	<b>665</b>
20.1	XML-Datenmodellierung	665
20.1.1	Schema oder kein Schema	666
20.1.2	Rekursive Schemata	668
20.1.3	Universitätsinformation in XML-Format	668
20.1.4	XML-Namensräume	670
20.1.5	XML Schema: Eine Schemadefinitionssprache	672
20.1.6	Verweise (Referenzen) in XML-Daten	674
20.2	XQuery: Eine XML-Anfragesprache	675
20.2.1	Pfadausdrücke	675
20.2.2	Verkürzte XPath-Syntax	680
20.2.3	Beispiel-Pfadausdrücke in verkürzter Syntax	681
20.2.4	Anfragesyntax von XQuery	682
20.2.5	Geschachtelte Anfragen	684
20.2.6	Joins in XQuery	684
20.2.7	Join-Prädikat im Pfadausdruck	685
20.2.8	Das let-Konstrukt	686
20.2.9	Dereferenzierung in FLWOR-Ausdrücken	687
20.2.10	Das if-then-else-Konstrukt	689
20.2.11	Rekursive Anfragen	690
20.3	Zusammenspiel von relationalen Datenbanken und XML	692
20.3.1	XML-Repräsentation gemäß Pre- und Postorder-Rängen	698
20.3.2	Der neue Datentyp xml	702
20.3.3	Änderungen der XML-Dokumente	706
20.3.4	Publikation relationaler Daten als XML-Dokumente	707
20.3.5	Fallstudie: XML-Unterstützung in IBM DB2 V9	711
20.4	Web-Services	716
20.4.1	Erstellen und Nutzen eines Web-Services im Überblick	718
20.4.2	Das Auffinden von Diensten	720
20.4.3	Ein Beispiel-Web-Service	722
20.4.4	Definition der Web-Service-Schnittstellen	722
20.4.5	Nachrichtenformat für die Interaktion mit Web-Services	725
20.4.6	Implementierung des Web-Services	727
20.4.7	Aufruf des Web-Services	728
20.5	Übungen	730
20.6	Literatur	733
<b>21</b>	<b>Big Data</b>	<b>737</b>
21.1	Datenbanken für das Semantic Web	737
21.1.1	RDF: Resource Description Framework	737
21.1.2	SPARQL: Die RDF Anfragesprache	740
21.1.3	Implementierung einer RDF-Datenbank	742
21.2	Datenströme	746
21.3	Information Retrieval und Suchmaschinen	751
21.3.1	TF-IDF: Dokument-Ranking basierend auf Begriffs-Häufigkeit	752
21.3.2	Invertierte Indexierung	754
21.3.3	Page Rank	754

21.3.4	Der HITS Algorithmus . . . . .	757
21.4	Graph-Exploration (Graph Mining) . . . . .	760
21.4.1	Darstellung von Graphen . . . . .	760
21.4.2	Zentralitätsmaße . . . . .	763
21.4.3	Verbindungs-Zentralität (Degree Centrality) . . . . .	763
21.4.4	Nähe-Zentralität (Closeness Centrality) . . . . .	764
21.4.5	Pfad-Zentralität (Betweenness Centrality) . . . . .	765
21.5	MapReduce: Massiv parallele Datenverarbeitung . . . . .	766
21.6	Peer-to-Peer-Informationssysteme . . . . .	770
21.6.1	P2P-Systeme für den Datenaustausch (File-Sharing) . . . . .	771
21.6.2	Verteilte Hashtabellen (Distributed Hash Tables DHTs) . . . . .	773
21.6.3	Mehrdimensionaler P2P-Datenraum . . . . .	777
21.7	No-SQL- und Key/Value-Datenbanksysteme . . . . .	778
21.8	Multi-Tenancy, Cloud Computing und Software as a Service . . . . .	780
21.9	Übungen . . . . .	786
21.10	Literatur . . . . .	789
<b>22</b>	<b>Leistungsbewertung</b> . . . . .	<b>793</b>
22.1	Überblick über Datenbanksystem-Benchmarks . . . . .	793
22.2	Der TPC-C Benchmark . . . . .	793
22.3	Die TPC-H und TPC-R (früher TPC-D) Benchmarks . . . . .	796
22.4	Der OO7 Benchmark für oo-Datenbanken . . . . .	802
22.5	Hybrider OLTP&OLAP-Benchmark: CH-BenCHmark . . . . .	803
22.6	Der TPC-W Benchmark . . . . .	806
22.7	Neue TPC-Benchmarks . . . . .	808
22.7.1	TPC-E: Der neue OLTP-Benchmark . . . . .	808
22.7.2	TPC-App: der neue Webservice-Benchmark . . . . .	810
22.7.3	TPC-DS: der neue Decision Support Benchmark . . . . .	811
22.8	Übungen . . . . .	812
22.9	Literatur . . . . .	812
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	<b>815</b>
	<b>Index</b> . . . . .	<b>861</b>