

# Datenbanksysteme

Eine Einführung

von

Prof. Alfons Kemper, Ph.D.

Dr. Andre Eickler

8., aktualisierte und erweiterte Auflage

Oldenbourg Verlag München

# 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 ( <i>min</i> , <i>maa</i> :-)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>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 $\wedge$ -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>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

## Inhaltsverzeichnis

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>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>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	Löschanomalien	.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>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+-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>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 Datenbankanfragen . . . . .	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	Unschärfe (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 Löschooperationen, 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
12	Sicherheitsaspekte . . . . .	355
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

## Inhaltsverzeichnis

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</b>	<b>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</b>	<b>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 cube-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 Ä Priori-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 007 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>