

# **Datenbanksysteme**

**Eine Einführung**

**von**

**Professor Alfons Kemper, Ph.D.**

**Dr. Andre Eickler**

**5., aktualisierte und erweiterte Auflage**

**Oldenbourg Verlag München Wien**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>15</b>
<b>1 Einleitung und Übersicht</b>	<b>17</b>
1.1 Motivation für den Einsatz eines DBMS.	17
1.2 Datenabstraktion	19
1.3 Datenunabhängigkeit	20
1.4 Datenmodelle	21
1.5 Datenbankschema und Ausprägung	22
1.6 Einordnung der Datenmodelle	22
1.6.1 Modelle des konzeptuellen Entwurfs	22
1.6.2 Logische (Implementations-)Datenmodelle	23
1.7 Architekturübersicht eines DBMS	26
1.8 Übungen	28
1.9 Literatur	28
<b>2 Datenbankentwurf</b>	<b>29</b>
2.1 Abstraktionsebenen des Datenbankentwurfs	29
2.2 Allgemeine Entwurfsmethodik	30
2.3 Die Datenbankentwurfsschritte	31
2.4 Die Anforderungsanalyse	31
2.4.1 Informationsstrukturanforderungen	33
2.4.2 Datenverarbeitungsanforderungen	35
2.5 Grundlagen des Entity-Relationship-Modells	35
2.6 Schlüssel	37
2.7 Charakterisierung von Beziehungstypen	37
2.7.1 Funktionalitäten der Beziehungen	37
2.7.2 Funktionalitätsangaben bei n-stelligen Beziehungen	39
2.7.3 Die ( <i>min</i> , <i>max</i> )-Notation	42
2.8 Existenzabhängige Entitytypen	46
2.9 Generalisierung	47
2.10 Aggregation	48
2.11 Kombination von Generalisierung und Aggregation	50
2.12 Konsolidierung, Sichtenintegration	51
2.13 Konzeptuelle Modellierung mit UML	57
2.13.1 UML-Klassen	57
2.13.2 Assoziationen zwischen Klassen	58
2.13.3 Aggregation in UML	59
2.13.4 Anwendungsbeispiel: Begrenzungsflächendarstellung von Polyedern in UML	60
2.13.5 Generalisierung in UML-Notation	61
2.13.6 Die Modellierung der Universität in UML	61
2.13.7 Verhaltensmodellierung in UML	62
2.13.8 Anwendungsfall-Modellierung (use cases)	62

2.13.9	Interaktionsdiagramme	64
2.13.10	Interaktionsdiagramm zur Prüfungsdurchführung	64
2.14	Übungen	65
2.15	Literatur	67
<b>3</b>	<b>Das relationale Modell</b>	<b>69</b>
3.1	Definition des relationalen Modells	69
3.1.1	Mathematischer Formalismus	69
3.1.2	Schema-Definition	70
3.2	Umsetzung eines konzeptuellen Schemas in ein relationales Schema	71
3.2.1	Relationale Darstellung von Entitytypen	71
3.2.2	Relationale Darstellung von Beziehungen	71
3.3	Verfeinerung des relationalen Schemas	76
3.3.1	1 $\rightarrow$ $n$ -Beziehungen	76
3.3.2	1:1-Beziehungen	78
3.3.3	Relationale Modellierung der Generalisierung	79
3.3.4	Beispielausprägung der Universitäts-Datenbank	80
3.3.5	Relationale Modellierung schwacher Entitytypen	80
3.4	Die relationale Algebra	82
3.4.1	Selektion	82
3.4.2	Projektion	83
3.4.3	Vereinigung	83
3.4.4	Mengendifferenz	84
3.4.5	Kartesisches Produkt (Kreuzprodukt)	84
3.4.6	Umbenennung von Relationen und Attributen	85
3.4.7	Definition der relationalen Algebra	86
3.4.8	Der relationale Verbund (Join)	87
3.4.9	Mengendurchschnitt	90
3.4.10	Die relationale Division	92
3.4.11	Operatorbaum-Darstellung	93
3.5	Der Relationenkalkül	93
3.5.1	Beispielanfrage im relationalen Tupelkalkül	94
3.5.2	Quantifizierung von Tupelvariablen	95
3.5.3	Formale Definition des Tupelkalküls	96
3.5.4	Sichere Ausdrücke des Tupelkalküls	97
3.5.5	Der relationale Domänenkalkül	97
3.5.6	Beispielanfragen im Domänenkalkül	98
3.5.7	Sichere Ausdrücke des Domänenkalküls	99
3.6	Ausdruckskraft der Anfragesprachen	100
3.7	Übungen	100
3.8	Literatur	103
<b>4</b>	<b>Relationale Anfragesprachen</b>	<b>105</b>
4.1	Geschichte	105
4.2	Datentypen	106
4.3	Schemadefinition	106
4.4	Schemaveränderung	107
4.5	Elementare Datenmanipulation: Einfügen von Tupeln	107
4.6	Einfache SQL-Anfragen	108
4.7	Anfragen über mehrere Relationen	109

## Inhaltsverzeichnis

4.8	Aggregatfunktionen und Gruppierung	112
4.9	Geschachtelte Anfragen	114
4.10	Quantifizierte Anfragen in SQL	118
4.11	Nullwerte	120
4.12	Spezielle Sprachkonstrukte	121
4.13	Joins in SQL-92	123
4.14	Rekursion	123
4.15	Veränderungen am Datenbestand	128
4.16	Sichten	129
4.17	Sichten zur Modellierung von Generalisierungen	130
4.18	Charakterisierung update-fähiger Sichten	132
4.19	Einbettung von SQL in Wirtssprachen	133
4.20	Anfragen in Anwendungsprogrammen	135
4.21	JDBC: Java Database Connectivity	137
4.21.1	Verbindungsaufbau zu einer Datenbank	138
4.21.2	Resultset-Programmbeispiel	140
4.21.3	Vorübersetzung von SQL-Ausdrücken	140
4.22	SQLJ: Eine Einbettung von SQL in Java	142
4.23	Query by Example	143
4.24	Übungen	147
4.25	Literatur	149
<b>Datenintegrität</b>		<b>151</b>
5.1	Referentielle Integrität	152
5.2	Gewährleistung referentieller Integrität	152
5.3	Referentielle Integrität in SQL	153
5.4	Überprüfung statischer Integritätsbedingungen	154
5.5	Das Universalitätsschema mit Integritätsbedingungen	156
5.6	Komplexere Integritätsbedingungen	158
5.7	Trigger	159
5.8	Übungen	161
5.9	Literatur	162
<b>Relationale Entwurfstheorie</b>		<b>163</b>
6.1	Funktionale Abhängigkeiten	163
6.1.1	Konventionen zur Notation	164
6.1.2	Einhaltung einer funktionalen Abhängigkeit	164
6.2	Schlüssel	165
6.3	Bestimmung funktionaler Abhängigkeiten	166
6.3.1	Kanonische Überdeckung	169
6.4	„Schlechte" Relationenschemata	170
6.4.1	Die Updateanomalien	170
6.4.2	Einfügeanomalien	171
6.4.3	Löschanomalien	171
6.5	Zerlegung (Dekomposition) von Relationen	171
6.5.1	Verlustlosigkeit	172
6.5.2	Kriterien für die Verlustlosigkeit einer Zerlegung	174
6.5.3	Abhängigkeitsbewahrung	175
6.6	Erste Normalform	177
6.7	Zweite Normalform	178

6.8	Dritte Normalform . . . . .	180
6.9	Boyce-Codd Normalform . . . . .	182
6.10	Mehrwertige Abhängigkeiten . . . . .	185
6.11	Vierte Normalform . . . . .	187
6.12	Zusammenfassung . . . . .	189
6.13	Übungen . . . . .	189
6.14	Literatur . . . . .	193
<b>Physische Datenorganisation</b>		<b>195</b>
7.1	Speichermedien . . . . .	195
7.2	Speicherarrays: RAID . . . . .	196
7.3	Der Datenbankpuffer . . . . .	200
7.4	Abbildung von Relationen auf den Sekundärspeicher . . . . .	202
7.5	Indexstrukturen . . . . .	203
7.6	ISAM . . . . .	205
7.7	B-Bäume . . . . .	207
7.8	B <sup>+</sup> -Bäume . . . . .	211
7.9	Präfix-B <sup>+</sup> -Bäume . . . . .	212
7.10	Hashing . . . . .	213
7.11	Erweiterbares Hashing . . . . .	215
7.12	Mehrdimensionale Indexstrukturen . . . . .	217
7.13	Ballung logisch verwandter Datensätze . . . . .	221
7.14	Unterstützung eines Anwendungsverhaltens . . . . .	223
7.15	Physische Datenorganisation in SQL . . . . .	225
7.16	Übungen . . . . .	225
7.17	Literatur . . . . .	227
<b>Anfragebearbeitung</b>		<b>229</b>
8.1	Logische Optimierung . . . . .	230
8.1.1	Äquivalenzen in der relationalen Algebra . . . . .	232
8.1.2	Anwendung der Transformationsregeln . . . . .	234
8.2	Physische Optimierung . . . . .	238
8.2.1	Implementierung der Selektion . . . . .	240
8.2.2	Implementierung von binären Zuordnungsoperatoren . . . . .	240
8.2.3	Gruppierung und Duplikateliminiierung . . . . .	247
8.2.4	Projektion und Vereinigung . . . . .	248
8.2.5	Zwischenspeicherung . . . . .	248
8.2.6	Übersetzung der logischen Algebra . . . . .	250
8.3	Kostenmodelle . . . . .	253
8.3.1	Selektivitäten . . . . .	254
8.3.2	Kostenabschätzung für die Selektion . . . . .	256
8.3.3	Kostenabschätzung für den Join . . . . .	257
8.3.4	Kostenabschätzung für die Sortierung . . . . .	257
8.4	„Tuning“ von Datenbankabfragen . . . . .	258
8.5	Übungen . . . . .	259
8.6	Literatur . . . . .	262

<b>9</b>	<b>Transaktionsverwaltung</b>	<b>265</b>
9.1	Begriffsbildung . . . . .	265
9.2	Anforderungen an die Transaktionsverwaltung . . . . .	266
9.3	Operationen auf Transaktions-Ebene . . . . .	266
9.4	Abschluss einer Transaktion . . . . .	267
9.5	Eigenschaften von Transaktionen . . . . .	269
9.6	Transaktionsverwaltung in SQL . . . . .	270
9.7	Zustandsübergänge einer Transaktion . . . . .	271
9.8	Literatur . . . . .	272
<b>10</b>	<b>Fehlerbehandlung</b>	<b>273</b>
10.1	Fehlerklassifikation . . . . .	273
10.1.1	Lokaler Fehler einer Transaktion . . . . .	273
10.1.2	Fehler mit Hauptspeicherverlust . . . . .	274
10.1.3	Fehler mit Hintergrundspeicherverlust . . . . .	275
10.2	Die Speicherhierarchie . . . . .	275
10.2.1	Ersetzung von Puffer-Seiten . . . . .	275
10.2.2	Einbringen von Änderungen einer Transaktion . . . . .	276
10.2.3	Einbringstrategie . . . . .	277
10.2.4	Hier zugrunde gelegte Systemkonfiguration . . . . .	278
10.3	Protokollierung von Änderungsoperationen . . . . .	278
10.3.1	Struktur der Log-Einträge . . . . .	279
10.3.2	Beispiel einer Log-Datei . . . . .	279
10.3.3	Logische oder physische Protokollierung . . . . .	279
10.3.4	Schreiben der Log-Information . . . . .	280
10.3.5	Das WAL-Prinzip . . . . .	282
10.4	Wiederanlauf nach einem Fehler . . . . .	282
10.4.1	Analyse des Logs . . . . .	283
10.4.2	Redo-Phase . . . . .	284
10.4.3	Undo-Phase . . . . .	284
10.5	Fehlertoleranz des Wiederanlaufs . . . . .	284
10.6	Lokales Zurücksetzen einer Transaktion . . . . .	286
10.7	Partielles Zurücksetzen einer Transaktion . . . . .	287
10.8	Sicherungspunkte . . . . .	288
10.8.1	Transaktionskonsistente Sicherungspunkte . . . . .	288
10.8.2	Aktionskonsistente Sicherungspunkte . . . . .	289
10.8.3	Unschärfe (fuzzy) Sicherungspunkte . . . . .	291
10.9	Recovery nach einem Verlust der materialisierten Datenbasis . . . . .	292
10.10	Übungen . . . . .	293
10.11	Literatur . . . . .	294
<b>11</b>	<b>Mehrbenutzersynchronisation</b>	<b>295</b>
11.1	Fehler bei unkontrolliertem Mehrbenutzerbetrieb . . . . .	296
11.1.1	Verlorengegangene Änderungen ( <i>lost Update</i> ) . . . . .	296
11.1.2	Abhängigkeit von nicht freigegebenen Änderungen . . . . .	296
11.1.3	Phantomproblem . . . . .	297
11.2	Serialisierbarkeit . . . . .	297
11.2.1	Beispiele serialisierbarer Ausführungen (Historien) . . . . .	298
11.2.2	Nicht serialisierbare Historie . . . . .	298
11.3	Theorie der Serialisierbarkeit . . . . .	301

11.3.1	Definition einer Transaktion . . . . .	301
11.3.2	Historie (Schedule) . . . . .	302
11.3.3	Äquivalenz zweier Historien . . . . .	303
11.3.4	Serialisierbare Historien . . . . .	304
11.3.5	Kriterien für Serialisierbarkeit . . . . .	304
11.4	Eigenschaften von Historien bezüglich der Recovery . . . . .	306
11.4.1	Rücksetzbare Historien . . . . .	306
11.4.2	Historien ohne kaskadierendes Rücksetzen . . . . .	306
11.4.3	Strikte Historien . . . . .	307
11.4.4	Beziehungen zwischen den Klassen von Historien . . . . .	307
11.5	Der Datenbank-Scheduler . . . . .	308
11.6	Sperrbasierte Synchronisation . . . . .	309
11.6.1	Zwei Sperrmodi . . . . .	309
11.6.2	Zwei-Phasen-Sperrprotokoll . . . . .	310
11.6.3	Kaskadierendes Rücksetzen (Schneeballeffekt) . . . . .	312
11.7	Verklemmungen (Deadlocks) . . . . .	312
11.7.1	Erkennung von Verklemmungen . . . . .	313
11.7.2	Preclaiming zur Vermeidung von Verklemmungen . . . . .	314
11.7.3	Verklemmungsvermeidung durch Zeitstempel . . . . .	315
11.8	Hierarchische Sperrgranulate . . . . .	316
11.9	Einfüge- und Löschooperationen, Phantome . . . . .	320
11.10	Zeitstempel-basierende Synchronisation . . . . .	321
11.11	Optimistische Synchronisation . . . . .	323
11.12	Synchronisation von Indexstrukturen . . . . .	324
11.13	Mehrbenutzersynchronisation in SQL-92 . . . . .	327
11.14	Übungen . . . . .	329
11.15	Literatur . . . . .	332
12	Sicherheitsaspekte . . . . .	333
12.1	Discretionary Access Control . . . . .	335
12.2	Zugriffskontrolle in SQL . . . . .	335
12.2.1	Identifikation und Authentisierung . . . . .	336
12.2.2	Autorisierung und Zugriffskontrolle . . . . .	336
12.2.3	Sichten . . . . .	337
12.2.4	Auditing . . . . .	338
12.3	Verfeinerung des Autorisierungsmodells . . . . .	338
12.3.1	Implizite Autorisierung von Subjekten . . . . .	339
12.3.2	Implizite Autorisierung von Operationen . . . . .	340
12.3.3	Implizite Autorisierung von Objekten . . . . .	341
12.3.4	Implizite Autorisierung entlang einer Typhierarchie . . . . .	341
12.4	Mandatory Access Control . . . . .	343
12.5	Multilevel-Datenbanken . . . . .	343
12.6	Kryptographie . . . . .	347
12.6.1	Der Data Encryption Standard . . . . .	347
12.6.2	Public-Key Kryptographie . . . . .	349
12.7	Zusammenfassung . . . . .	350
12.8	Übungen . . . . .	351
12.9	Literatur . . . . .	352

<b>13 Objektorientierte Datenbanken</b>	<b>353</b>
13.1 Bestandsaufnahme relationaler Datenbanksysteme . . . . .	353
13.2 Vorteile der objektorientierten Datenmodellierung . . . . .	357
13.3 Der ODMG-Standard . . . . .	358
13.4 Eigenschaften von Objekten . . . . .	359
13.4.1 Objektidentität . . . . .	360
13.4.2 Typ eines Objekts . . . . .	361
13.4.3 Wert eines Objekts. . . . .	361
13.5 Definition von Objekttypen . . . . .	362
13.5.1 Attribute. . . . .	362
13.5.2 Beziehungen . . . . .	362
13.5.3 Typeigenschaften: Extensionen und Schlüssel. . . . .	369
13.6 Modellierung des Verhaltens: Operationen. . . . .	369
13.7 Vererbung und Subtypisierung . . . . .	372
13.7.1 Terminologie. . . . .	372
13.7.2 Einfache und Mehrfach Vererbung. . . . .	373
13.8 Beispiel einer Typhierarchie. . . . .	374
13.9 Verfeinerung (Spezialisierung) und spätes Binden von Operationen . . . . .	377
13.10 Mehrfachvererbung . . . . .	380
13.11 Die Anfragesprache OQL . . . . .	381
13.11.1 Einfache Anfragen . . . . .	381
13.11.2 Geschachtelte Anfragen und Partitionierung . . . . .	382
13.11.3 Pfadausdrücke. . . . .	383
13.11.4 Erzeugung von Objekten . . . . .	384
13.11.5 Operationsaufruf. . . . .	384
13.12 C++-Einbettung . . . . .	384
13.12.1 Objektidentität . . . . .	386
13.12.2 Objekterzeugung und Ballung. . . . .	387
13.12.3 Einbettung von Anfragen. . . . .	387
13.13 Übungen . . . . .	388
13.14 Literatur. . . . .	389
<b>14 Erweiterbare und objekt-relationale Datenbanken</b>	<b>391</b>
14.1 Übersicht über die objekt-relationalen Konzepte. . . . .	391
14.2 Large Objects (LOBs). . . . .	392
14.3 Distinct Types: Einfache benutzerdefinierte Datentypen. . . . .	394
14.4 Table Functions. . . . .	398
14.4.1 Nutzung einer <i>Table Function</i> in Anfragen. . . . .	399
14.4.2 Implementierung einer <i>Table Function</i> . . . . .	399
14.5 Benutzerdefinierte strukturierte Objekttypen. . . . .	401
14.6 Geschachtelte Objekt-Relationen . . . . .	405
14.7 Vererbung von SQL-Objekttypen. . . . .	409
14.8 Komplexe Attribut-Typen. . . . .	412
14.9 Übungen . . . . .	413
14.10 Literatur. . . . .	414

<b>15 Deduktive Datenbanken</b>	<b>415</b>
15.1 Terminologie . . . . .	415
15.2 Datalog . . . . .	415
15.3 Eigenschaften von Datalog-Programmen . . . . .	419
15.3.1 Rekursivität . . . . .	419
15.3.2 Sicherheit von Datalog-Regeln . . . . .	419
15.4 Auswertung von nicht-rekursiven Datalog-Programmen . . . . .	420
15.4.1 Auswertung eines Beispielprogramms . . . . .	420
15.4.2 Auswertungs-Algorithmus . . . . .	423
15.5 Auswertung rekursiver Regeln . . . . .	425
15.6 Inkrementelle (semi-naive) Auswertung rekursiver Regeln . . . . .	427
15.7 Bottom-Up oder Top-Down Auswertung . . . . .	431
15.8 Negation im Regelrumpf . . . . .	433
15.8.1 Stratifizierte Datalog-Programme . . . . .	433
15.8.2 Auswertung von Regeln mit Negation . . . . .	434
15.8.3 Ein etwas komplexeres Beispiel . . . . .	435
15.9 Ausdruckskraft von Datalog . . . . .	435
15.10 Übungen . . . . .	437
15.11 Literatur . . . . .	440
<b>16 Verteilte Datenbanken</b>	<b>443</b>
16.1 Terminologie und Abgrenzung . . . . .	443
16.2 Entwurf verteilter Datenbanken . . . . .	445
16.3 Horizontale und vertikale Fragmentierung . . . . .	447
16.3.1 Horizontale Fragmentierung . . . . .	448
16.3.2 Abgeleitete horizontale Fragmentierung . . . . .	450
16.3.3 Vertikale Fragmentierung . . . . .	451
16.3.4 Kombinierte Fragmentierung . . . . .	453
16.3.5 Allokation für unser Beispiel . . . . .	454
16.4 Transparenz in verteilten Datenbanken . . . . .	455
16.4.1 Fragmentierungstransparenz . . . . .	455
16.4.2 Allokationstransparenz . . . . .	456
16.4.3 Lokale Schema-Transparenz . . . . .	456
16.5 Anfrageübersetzung und -Optimierung in VDBMS . . . . .	457
16.5.1 Anfragebearbeitung bei horizontaler Fragmentierung . . . . .	457
16.5.2 Anfragebearbeitung bei vertikaler Fragmentierung . . . . .	459
16.6 Join-Auswertung in VDBMS . . . . .	461
16.6.1 Join-Auswertung ohne Filterung . . . . .	461
16.6.2 Join-Auswertung mit Filterung . . . . .	462
16.7 Transaktionskontrolle in VDBMS . . . . .	465
16.8 Mehrbenutzersynchronisation in VDBMS . . . . .	470
16.8.1 Serialisierbarkeit . . . . .	470
16.8.2 Das Zwei-Phasen-Sperrprotokoll in VDBMS . . . . .	470
16.9 Deadlocks in VDBMS . . . . .	471
16.9.1 Erkennung von Deadlocks . . . . .	471
16.9.2 Deadlock-Vermeidung . . . . .	474
16.10 Synchronisation bei replizierten Daten . . . . .	475
16.11 Übungen . . . . .	478
16.12 Literatur . . . . .	481

<b>17 Betriebliche Anwendungen: OLTP, Data Warehouse, Data Mining</b>	<b>483</b>
17.1 SAP R/3: Ein betriebswirtschaftliches Datenbankanwendungssystem	483
17.1.1 Architektur von SAP R/3	483
17.1.2 Datenmodell und Schema von SAP R/3	484
17.1.3 ABAP/4	485
17.1.4 Transaktionen in SAP R/3	488
17.2 Data Warehouse, Decision-Support, OLAP	489
17.2.1 Datenbankentwurf für das Data Warehouse	490
17.2.2 Anfragen im Sternschema: Star Join	493
17.2.3 Roll-Up/Drill-Down-Anfragen	494
17.2.4 Flexible Auswertungsmethoden	496
17.2.5 Materialisierung von Aggregaten	496
17.2.6 Der cube-Operator	498
17.2.7 Wiederverwendung materialisierter Aggregate	498
17.2.8 Bitmap-Indexe für OLAP-Anfragen	501
17.2.9 Auswertungsalgorithmen für komplexe OLAP-Anfragen	502
17.2.10 Data Warehouse-Architekturen	504
17.3 Data Mining	505
17.3.1 Klassifikation von Objekten	506
17.3.2 Assoziationsregeln	507
17.3.3 Der Ä Priori-Algorithmus	508
17.3.4 Bestimmung der Assoziationsregeln	510
17.3.5 Cluster-Bestimmung	511
17.4 Übungen	512
17.5 Literatur	513
<b>18 Internet-Datenbankanbindungen</b>	<b>515</b>
18.1 HTML- und HTTP-Grundlagen	515
18.1.1 HTML: Die Hypertext-Sprache des World Wide Web	515
18.1.2 Adressierung von Web-Dokumenten	516
18.1.3 Client/Server-Architektur des World Wide Web	518
18.1.4 HTTP: Das HyperText Transfer Protokoll	518
18.1.5 HTTPS	519
18.2 Web-Datenbank-Anbindung via Servlets	520
18.2.1 Beispiel-Servlet	520
18.3 Java Server Pages / Active Server Pages	526
18.3.1 JSP/HTML-Seite mit Java-Code	527
18.3.2 HTML-Seite mit Java-Bean-Aufruf	529
18.3.3 Die Java-Bean Komponente <i>VorlesungenBean</i>	530
18.3.4 Sokrates' Homepage	532
18.4 Datenbankanbindung via Java-Applets	532
18.5 Übungen	533
18.6 Literatur	534
<b>19 XML-Datenmodellierung und Web-Services</b>	<b>535</b>
19.1 XML-Datenmodellierung	535
19.1.1 Schema oder kein Schema	536
19.1.2 Rekursive Schemata	538
19.1.3 Universitätsinformation in XML-Format	538
19.1.4 XML-Namensräume	540

19.1.5	XML Schema: Eine Schemadefinitionssprache . . . . .	542
19.1.6	Verweise (Referenzen) in XML-Daten . . . . .	544
19.2	XQuery: Eine XML-Anfragesprache . . . . .	545
19.2.1	Pfadausdrücke . . . . .	545
19.2.2	Verkürzte XPath-Syntax . . . . .	550
19.2.3	Beispiel-Pfadausdrücke in verkürzter Syntax . . . . .	551
19.2.4	Anfragesyntax von XQuery . . . . .	552
19.2.5	Geschachtelte Anfragen . . . . .	554
19.2.6	Joins in XQuery . . . . .	554
19.2.7	Join-Prädikat im Pfadausdruck . . . . .	555
19.2.8	Das let-Konstrukt . . . . .	556
19.2.9	Dereferenzierung in FLWOR-Ausdrücken . . . . .	557
19.2.10	Rekursive Anfragen . . . . .	558
19.3	Web-Services . . . . .	560
19.3.1	Erstellen und Nutzen eines Web-Services im Überblick . . . . .	562
19.3.2	Das Auffinden von Diensten . . . . .	564
19.3.3	Ein Beispiel-Web-Service . . . . .	567
19.3.4	Definition der Web-Service Schnittstellen . . . . .	567
19.3.5	Nachrichtenformat für die Interaktion mit Web-Services . . . . .	570
19.3.6	Implementierung des Web-Services . . . . .	572
19.3.7	Aufruf des Web-Services . . . . .	573
19.4	Übungen . . . . .	575
19.5	Literatur . . . . .	577
<b>20</b>	<b>Leistungsbewertung</b>	<b>579</b>
20.1	Überblick über Datenbanksystem-Benchmarks . . . . .	579
20.2	Der TPC-C Benchmark . . . . .	579
20.3	Die TPC-H und TPC-R (früher TPC-D) Benchmarks . . . . .	582
20.4	Der OO7 Benchmark für oo-Datenbanken . . . . .	588
20.5	Der TPC-W Benchmark . . . . .	589
20.6	Übungen . . . . .	592
20.7	Literatur . . . . .	592
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>593</b>
	<b>Index</b>	<b>626</b>