

Gunter Saake
Kai-Uwe Sattler
Andreas Heuer

Datenbanken

Konzepte und Sprachen

Vierte Auflage



Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur vierten Auflage	v
Inhaltsverzeichnis	vii
1 Grundlegende Konzepte	1
1.1 Motivation und Historie	1
1.2 Komponenten und Funktionen	7
1.2.1 Prinzipien und Aufgaben	7
1.2.2 Aufbau und Funktionen eines Datenbanksystems	9
1.2.3 Einsatzgebiete, Grenzen und Entwicklungstendenzen	19
1.2.4 Wann kommt was?	22
1.3 Beispielanwendung	23
1.4 Vertiefende Literatur	25
1.5 Übungsaufgaben	25
 I Kernkonzepte relationaler Datenbanken	 27
2 Architekturen von Datenbanksystemen	29
2.1 Schemaarchitektur und Datenunabhängigkeit	30
2.2 Systemarchitekturen	35
2.2.1 ANSI-SPARC-Architektur	35
2.2.2 Fünf-Schichten-Architektur	37
2.2.3 Konkrete Systemarchitekturen	40
2.3 Anwendungsarchitekturen	43
2.4 Zusammenfassung	47
2.5 Vertiefende Literatur	47
2.6 Übungsaufgaben	49

3	Das Entity-Relationship-Modell	51
3.1	Datenbankmodelle	51
3.2	Semantikfestlegung für Datenbankmodelle	56
3.3	Grundlagen des Entity-Relationship-Modells	59
3.3.1	Grundkonzepte des klassischen ER-Modells	59
3.3.2	Ein einfaches Beispiel für ein ER-Schema	66
3.3.3	Semantik eines ER-Schemas	67
3.4	Eigenschaften von Beziehungen	68
3.4.1	Stelligkeit	68
3.4.2	Kardinalitäten und funktionale Beziehungen	71
3.5	Weitere Konzepte im Entity-Relationship-Modell	78
3.5.1	Abhängige Entity-Typen	78
3.5.2	Die IST-Beziehung	79
3.5.3	Optionalität von Attributen	81
3.6	Zusammenfassung	82
3.7	Vertiefende Literatur	82
3.8	Übungsaufgaben	83
4	Relationenmodell und Anfragemodelle	85
4.1	Relationenmodell: Strukturteil	85
4.1.1	Schemata und Instanzen	85
4.1.2	Integritätsbedingungen	90
4.2	Relationale Anfragemodelle: Operationenteil	94
4.2.1	Kriterien für Anfragesprachen	94
4.2.2	Relationenalgebra	95
4.2.3	Anfragekalkül	106
4.2.4	Tupelkalkül	110
4.3	Änderungsoperationen	112
4.3.1	Allgemeine Grundprinzipien	112
4.3.2	Relationale Änderungsoperationen	113
4.4	Zusammenfassung	114
4.5	Vertiefende Literatur	114
4.6	Übungsaufgaben	114
5	Phasen des Datenbankentwurfs	119
5.1	Entwurfsaufgabe	119
5.2	Phasenmodell	121
5.2.1	Anforderungsanalyse	123
5.2.2	Konzeptioneller Entwurf	125
5.2.3	Verteilungsentwurf	127
5.2.4	Logischer Entwurf	128
5.2.5	Datendefinition	129
5.2.6	Physischer Entwurf	130

5.2.7	Implementierung und Wartung	130
5.2.8	Objektorientierte Entwurfsmethoden	130
5.2.9	Phasenbegleitende Methoden	131
5.3	Konzeptioneller Entwurf	132
5.3.1	Konzeptionelles Schema	132
5.3.2	Objektschicht	133
5.3.3	Datenschicht	134
5.3.4	Entwicklungsschicht	137
5.3.5	Aktionsschicht	138
5.3.6	Modellierung von Anwendungsprozessen	139
5.4	Aspekte der Datenintegration	140
5.4.1	Heterogenität der Datenmodelle	141
5.4.2	Heterogene Datenbankschemata	142
5.4.3	Heterogenität auf der Datenebene	142
5.4.4	Schemakonflikte bei der Integration	143
5.5	Entity-Relationship-Abbildung auf das Relationenmodell	144
5.5.1	Informationskapazität	145
5.5.2	Beispiel für eine Abbildung auf das Relationenmodell . .	147
5.5.3	Abbildungsregeln für das relationale Modell	148
5.6	Zusammenfassung	156
5.7	Vertiefende Literatur	156
5.8	Übungsaufgaben	158
6	Relationaler Datenbankentwurf	159
6.1	Funktionale Abhängigkeiten	161
6.2	Schemaeigenschaften	173
6.2.1	Änderungsanomalien	174
6.2.2	Normalformen	175
6.2.3	Minimalität	182
6.3	Transformationseigenschaften	183
6.3.1	Abhängigkeitstreue	183
6.3.2	Verbundtreue	185
6.4	Entwurfsverfahren	188
6.4.1	Ziele	188
6.4.2	Dekompositionsverfahren	189
6.4.3	Syntheseverfahren	192
6.4.4	Verfeinerung des Entity-Relationship-Datenbankentwurfs	196
6.5	Mehrwertige Abhängigkeiten	197
6.5.1	Grundlagen	197
6.5.2	Schemaeigenschaften	200
6.5.3	Transformationseigenschaften	202
6.6	Weitere Abhängigkeiten und Verfahren	202
6.7	Weitere relationale Entwurfsverfahren	204

6.8	Zusammenfassung	205
6.9	Vertiefende Literatur	205
6.10	Übungsaufgaben	207
7	Die relationale Datenbanksprache SQL	209
7.1	SQL als Datendefinitionssprache	209
7.1.1	Erzeugen von Tabellen	210
7.1.2	Tabellen mit Integritätsbedingungen	214
7.1.3	Löschen und Ändern von Tabellendefinitionen	215
7.1.4	Erzeugen und Löschen von Indexen	217
7.2	SQL als relationale Anfragesprache	218
7.2.1	Überblick	219
7.2.2	Die from -Klausel	220
7.2.3	Die select -Klausel	223
7.2.4	Die where -Klausel	226
7.2.5	Mengenoperationen	230
7.2.6	Schachtelung von Anfragen	232
7.2.7	Mächtigkeit des SQL-Kerns	238
7.3	Änderungsoperationen in SQL	238
7.3.1	Übersicht über Änderungen in SQL	239
7.3.2	Die update -Anweisung	239
7.3.3	Die delete -Anweisung	241
7.3.4	Die insert -Anweisung	242
7.3.5	Probleme bei SQL-Änderungen	243
7.4	Zusammenfassung	244
7.5	Vertiefende Literatur	245
7.6	Übungsaufgaben	245
II	Erweiterte Konzepte für relationale Datenbanken	247
8	Erweiterte Entwurfsmodelle	249
8.1	Erweiterungen des ER-Modells	249
8.1.1	Erweiterungen bei Attributen	250
8.1.2	Spezialisierung und Generalisierung	251
8.1.3	Komplexe Objekte	252
8.1.4	Beziehungen höheren Typs	253
8.2	Das EER-Modell – ein erweitertes ER-Modell	254
8.2.1	Übernommene Grundkonzepte aus dem klassischen ER-Modell	254
8.2.2	Erweiterung bei Wertebereichen	255
8.2.3	Mengenwertige und strukturierte Attribute	256
8.2.4	Der Typkonstruktor: Spezialisierung, Generalisierung, Partitionierung	256

8.2.5	Aggregation und Sammlung mittels objektwertiger Attribute	266
8.2.6	Erweitertes Schlüsselkonzept	268
8.2.7	Abgeleitete Konzepte	269
8.2.8	Vergleich zu anderen erweiterten ER-Modellen	270
8.3	UML für den Datenbankentwurf	271
8.3.1	Das Objektmodell von UML	272
8.3.2	Darstellung von Klassen in UML	273
8.3.3	Beziehungen in UML	274
8.3.4	Aggregation in UML	276
8.3.5	Spezialisierung in UML	277
8.4	Zusammenfassung	278
8.5	Vertiefende Literatur	278
8.6	Übungsaufgaben	280
9	Grundlagen von Modellen und Anfragen	281
9.1	Erweiterungen der Relationenalgebra	281
9.2	Erweiterte Modelle und Anfragealgebren	285
9.2.1	Geschachtelte Relationen: Das NF ² -Modell	285
9.2.2	PNF-Relationen	286
9.2.3	Verallgemeinerte geschachtelte Relationen	286
9.2.4	Erweiterte Anfragealgebren	288
9.3	Anfragekalküle	292
9.3.1	Bereichskalkül	292
9.3.2	Sichere Anfragen	294
9.3.3	Beispiele für Anfragen im Bereichskalkül	296
9.3.4	Eigenschaften des Bereichskalküls	297
9.3.5	Kalküle für andere Datenmodelle	298
9.4	Zusammenfassung	302
9.5	Vertiefende Literatur	303
9.6	Übungsaufgaben	303
10	Erweiterte Konzepte von SQL	305
10.1	Weitere Operationen und Prädikate	305
10.1.1	Skalare Ausdrücke	305
10.1.2	Prädikate	311
10.1.3	Quantoren und Mengenvergleiche	311
10.1.4	Behandlung von Nullwerten	314
10.2	Aggregation und Gruppierung	316
10.2.1	Aggregatfunktionen	316
10.2.2	Gruppierung	319
10.3	Sortierung	322
10.4	Äußere Verbunde	323

10.5	Künstliche Schlüssel und Sequenzgeneratoren	325
10.6	Benannte Anfragen und Rekursion	327
10.6.1	Benannte Anfragen	327
10.6.2	Rekursive Anfragen	328
10.7	SQL-Versionen	336
10.7.1	SEQUEL2	336
10.7.2	SQL-89	338
10.7.3	SQL-92	339
10.7.4	SQL:1999 und SQL:2003	340
10.8	Zusammenfassung	342
10.9	Vertiefende Literatur	342
10.10	Übungsaufgaben	343
11	Weitere relationale Datenbanksprachen	345
11.1	QUEL	346
11.1.1	Anfragen in QUEL	346
11.1.2	Änderungsoperationen in QUEL	349
11.2	Query by Example	349
11.2.1	Anfragen in QBE	350
11.2.2	Funktionen, Sortierung und Aggregation in QBE	354
11.2.3	Formale Semantik von QBE	355
11.2.4	Ausdrucksfähigkeit von QBE	356
11.2.5	Änderungen in QBE	357
11.2.6	Anfragen in MS Access	359
11.2.7	Andere graphische Anfragesprachen	362
11.3	Datalog	363
11.3.1	Grundbegriffe	364
11.3.2	Semantik rekursiver Regeln	366
11.3.3	Semantik und Auswertung von Datalog	367
11.4	Tutorial D	368
11.4.1	Datentypen	368
11.4.2	Anfrageoperatoren	370
11.4.3	Änderungsoperationen	373
11.4.4	Constraints	374
11.5	Zusammenfassung	375
11.6	Vertiefende Literatur	375
11.7	Übungsaufgaben	376
12	Transaktionen, Integrität & Trigger	377
12.1	Grundlagen von Transaktionen	378
12.1.1	ACID-Prinzip	378
12.1.2	Probleme im Mehrbenutzerbetrieb	380
12.1.3	Transaktionssteuerung in SQL	385

12.1.4	Transaktionen und Integritätssicherung	388
12.2	Architekturen zur Integritätssicherung	389
12.2.1	Integritätssicherung durch Anwendung	390
12.2.2	Integritätsmonitor als Komponente des DBMS	390
12.2.3	Integritätssicherung durch Einkapselung	391
12.3	Integritätsbedingungen in SQL	392
12.3.1	Inhärente Integritätsbedingungen im Relationenmodell	392
12.3.2	Weitere Bedingungen in der SQL-DDL	393
12.3.3	Die assertion -Klausel	394
12.3.4	Verwaltung und Überprüfung von Bedingungen	394
12.4	Klassifikation von Integritätsbedingungen	395
12.5	Trigger und aktive Datenbanken	398
12.5.1	Grundprinzipien von Triggern	399
12.5.2	Aktive Datenbanken und ECA-Regeln	401
12.6	Methoden der Integritätssicherung	405
12.6.1	Integritätssicherung durch Trigger	405
12.6.2	Integritätssicherung durch Anfragemodifikation	407
12.7	Zusammenfassung	409
12.8	Vertiefende Literatur	410
12.9	Übungsaufgaben	410

13 Datenbankanwendungsentwicklung 413

13.1	Grundprinzipien	414
13.2	Programmiersprachenanbindung: Call-Level-Schnittstellen	416
13.2.1	SQL/CLI: Der Standard	417
13.2.2	ODBC	420
13.2.3	JDBC	421
13.2.4	Weitere Call-Level-Schnittstellen	426
13.3	Eingebettetes SQL	427
13.3.1	Statische Einbettung: Embedded SQL	427
13.3.2	Dynamische Einbettung: Dynamic SQL	435
13.3.3	SQLJ: Embedded SQL für Java	436
13.4	High-Level-Schnittstellen	438
13.4.1	Grundlagen der Abbildung	439
13.4.2	Hibernate	442
13.4.3	Weitere Technologien	450
13.5	Prozedurale SQL-Erweiterungen und Datenbanksprachen	451
13.5.1	Vorteile von gespeicherten Prozeduren	452
13.5.2	SQL/PSM: Der Standard	453
13.5.3	PL/SQL von Oracle	460
13.5.4	Gespeicherte Prozeduren in Java	462
13.6	Zusammenfassung	465
13.7	Vertiefende Literatur	467

13.8	Übungsaufgaben	467
14	Sichten	469
14.1	Motivation und Begriffsbildung	470
14.1.1	Sichten und externe Schemata	471
14.1.2	Definition von Sichten	471
14.1.3	Definition von Sichten in SQL	472
14.1.4	Vorteile von Sichten	473
14.2	Probleme mit Sichten	474
14.2.1	Kriterien für Änderungen auf Sichten	475
14.2.2	Projektionssichten	476
14.2.3	Selektionssichten	478
14.2.4	Verbundsichten	479
14.2.5	Aggregationssichten	481
14.2.6	Klassifikation der Problembereiche	482
14.3	Behandlung von Sichten in SQL	483
14.3.1	Auswertung von Anfragen an Sichten in SQL	484
14.3.2	Sichtänderungen in SQL-92	486
14.3.3	Sichtänderungen in SQL:2003	486
14.4	Theorie änderbarer Sichten	487
14.5	Instead-of-Trigger für Sichtänderungen	489
14.6	Zusammenfassung	492
14.7	Vertiefende Literatur	494
14.8	Übungsaufgaben	494
15	Zugriffskontrolle & Privacy	495
15.1	Sicherheitsmodelle	497
15.1.1	Diskrete Sicherheitsmodelle	497
15.1.2	Verbindliche Sicherheitsmodelle	497
15.2	Rechtevergabe in SQL	498
15.2.1	Benutzer und Schemata	499
15.2.2	Rechtevergabe in SQL	499
15.2.3	Zurücknahme von Rechten	501
15.2.4	Rollenmodell in SQL:2003	502
15.2.5	Auditing	502
15.2.6	Authentifikation und Autorisierung	504
15.3	Privacy-Aspekte in Datenbanken	504
15.3.1	Statistische Datenbanken	505
15.3.2	k-Anonymität	507
15.4	Zusammenfassung	508
15.5	Vertiefende Literatur	509
15.6	Übungsaufgaben	509

III Weitere Datenbankmodelle	511
16 Historische Modelle	513
16.1 Das Netzwerkmodell	513
16.1.1 Netzwerkschema	514
16.1.2 Simulation einer allgemeinen Beziehung	516
16.2 Das hierarchische Modell	517
16.3 ER-Abbildung auf das Netzwerkmodell	518
16.4 ER-Abbildung auf das hierarchische Modell	519
16.5 Anwendungsprogrammierung in den historischen Modellen . .	521
16.5.1 Datenmanipulation im Netzwerkmodell	521
16.5.2 Datenmanipulation im hierarchischen Modell	525
16.6 Zusammenfassung	527
16.7 Vertiefende Literatur	527
16.8 Übungsaufgaben	527
17 Objektrelationale Modelle & SQL:2003	529
17.1 Exkurs: Objektorientierte Datenbankmodelle	529
17.1.1 Objektorientierte Datenbanken	530
17.1.2 Der ODMG-Standard	531
17.1.3 OQL	534
17.2 Abbildung von Objekten auf Relationen	536
17.2.1 Typkonstruktoren	536
17.2.2 Abbildung der Spezialisierungshierarchie	537
17.3 Objektrelationale Erweiterungen	540
17.3.1 Large Objects: BLOB und CLOB	541
17.3.2 Typkonstruktoren	541
17.3.3 Identitäten, Referenzen und Pfadausdrücke	545
17.3.4 Hierarchien und Vererbung	546
17.3.5 Methoden	547
17.4 Objektrelationale Konzepte in SQL:2003	548
17.4.1 Typsystem und DDL	548
17.4.2 Anfragen	556
17.4.3 Methoden in SQL:2003	561
17.5 Objektrelationale Konzepte in kommerziellen DBMS	562
17.6 Zusammenfassung	564
17.7 Vertiefende Literatur	565
17.8 Übungsaufgaben	566
18 XML	567
18.1 Semistrukturierte Datenmodelle	567
18.1.1 Merkmale semistrukturierter Datenmodelle	568
18.1.2 Datenmodelle für semistrukturierte Dokumente	569
18.1.3 XML	572

18.2	Datendefinition in XML	578
18.2.1	Dokumenttypdefinition	578
18.2.2	XML Schema	582
18.2.3	XML-Abbildung auf relationale Schemata	587
18.3	Navigation in XML-Dokumenten: XPath	588
18.3.1	Pfadausdrücke und Lokalisierungsschritte	589
18.3.2	Selektionsprädikate und Funktionen	593
18.4	Die Anfragesprache XQuery	595
18.4.1	FLWOR-Ausdrücke	596
18.4.2	Elementkonstruktoren	599
18.4.3	Verbunde und Gruppierungen	601
18.4.4	Ausdrücke und Vergleiche	605
18.4.5	Funktionen	608
18.5	SQL/XML: XML-Erweiterungen für SQL	609
18.5.1	XML-Datentypen	610
18.5.2	XML-Konstruktion mit SQL	611
18.6	Zusammenfassung	616
18.7	Vertiefende Literatur	616
18.8	Übungsaufgaben	618
19	Data Warehousing und OLAP	619
19.1	Grundkonzepte	619
19.1.1	Motivation und Anwendungen	620
19.1.2	Architektur	622
19.2	Multidimensionales Datenmodell	625
19.2.1	Multidimensionale Daten: Der Datenwürfel	625
19.2.2	Hierarchische Dimensionen	626
19.2.3	Formalisierung von Dimensionen und Datenwürfel	627
19.2.4	Summierbarkeit	629
19.3	MOLAP und ROLAP	630
19.3.1	MOLAP-Operationen	631
19.3.2	OLAP-Anfragesprachen: MDX	634
19.3.3	Snowflake- und Star-Schema	638
19.4	OLAP-Operationen und SQL	640
19.4.1	Relationale Umsetzung multidimensionaler Anfragen: Star Join	640
19.4.2	cube und rollup	643
19.4.3	OLAP-Funktionen in SQL:2003	647
19.5	Materialisierte Sichten	653
19.5.1	Anfragebeantwortung mit materialisierter Sichten	654
19.5.2	Auswahl materialisierter Sichten	659
19.5.3	Aktualisierung materialisierter Sichten	661
19.5.4	Materialisierte Sichten in DBMS	666

19.6	Zusammenfassung	669
19.7	Vertiefende Literatur	669
19.8	Übungsaufgaben	670
20	Multimediale und raumbezogene Daten	673
20.1	Multimedia-Datenbanken	674
20.1.1	Grundbegriffe	674
20.1.2	Grundlagen des Multimedia Retrieval	678
20.2	Text Retrieval	685
20.2.1	Information Retrieval auf Texten	685
20.2.2	Grundtechniken des Text Retrieval	685
20.2.3	Deskribierung	687
20.2.4	Recherche	690
20.2.5	Information Retrieval-Systeme	698
20.3	SQL/MM	699
20.3.1	SQL/MM Full Text	699
20.3.2	SQL/MM Still Image	702
20.3.3	Der Datentyp Video	702
20.3.4	SQL/MM Spatial	703
20.4	Verwaltung raumbezogener Daten	703
20.4.1	Grundbegriffe	704
20.4.2	Modellierung raumbezogener Daten	705
20.4.3	Prädikate und Anfragen auf raumbezogenen Daten	711
20.4.4	Oracle Spatial	718
20.4.5	Weitere Systeme	722
20.5	Zusammenfassung	722
20.6	Vertiefende Literatur	722
20.7	Übungsaufgaben	724
A	Laufendes Beispiel	725
A.1	ER-Schema der Weindatenbank	725
A.2	Relationale Repräsentation	726
A.3	Vereinfachtes Schema und Beispieldaten	727
	Literaturverzeichnis	729
	Abbildungsverzeichnis	751
	Tabellenverzeichnis	758
	Sachindex	761
	Schlüsselwortindex	777

Abbildungsverzeichnis

1.1	Aufteilung in Softwareschichten	2
1.2	Historische Entwicklung 1: Zugriff auf Dateien ohne spezielle Verwaltung	5
1.3	Historische Entwicklung 2: Dateiverwaltungssoftware	6
1.4	Historische Entwicklung 3: Datenbankmanagementsysteme	6
1.5	Grobarchitektur eines Datenbankmanagementsystems mit Ebenenaufteilung	10
1.6	Relationen der Beispieldatenbank	12
1.7	Begriffsbildung und Darstellung von Tabellen im Relationenmodell	12
2.1	Drei-Ebenen-Schemaarchitektur für Datenbanken	31
2.2	Konzeptuelle Beispieldatenbank in Relationendarstellung	33
2.3	Externe Sicht auf zwei Relationen, dargestellt als eine Relation	34
2.4	Externe Sicht als hierarchisch aufgebaute Relation	34
2.5	Interne Realisierung durch Baumzugriffsstruktur und Clustering	35
2.6	Vereinfachte Architektur eines DBMS	36
2.7	Klassifikation von Komponenten eines DBMS	37
2.8	Funktionsorientierte Sicht auf die Fünf-Schichten-Architektur	38
2.9	Architektur von IBM DB2	41
2.10	Client-Server-Modell	44
2.11	Anwendungsarchitekturen im Vergleich	46
3.1	Historische Einordnung und Bezüge zwischen einigen der vorgestellten Datenbankmodelle	54
3.2	Beispiel für eine Datenbankzustandsfolge	57
3.3	Graphische Darstellung eines Entity-Typs	61
3.4	Graphische Darstellung von Beziehungstypen	62
3.5	Beziehungstyp mit Rollennamen	63

3.6	Attributnotation für Entity-Typen	64
3.7	Attributnotation für Beziehungstypen	65
3.8	Beispiel für ein ER-Schema	67
3.9	Ternäre vs. binäre Beziehungen im ER-Modell	69
3.10	Beispiel für Beziehungsinstanzen zu Abbildung 3.9	70
3.11	Rekonstruktion der Beziehungsinstanzen	70
3.12	Dreistellige Beziehung durch künstlichen Entity-Typ	71
3.13	1:1-Beziehung	72
3.14	1:n-Beziehung	72
3.15	m:n-Beziehung	73
3.16	Funktionale Beziehung im ER-Modell	74
3.17	Graphische Notation einer 1:1-Beziehung im ER-Modell	74
3.18	Kardinalitätsangabe mit $[\min_i, \max_i]$ -Notation	74
3.19	$[\min_i, \max_i]$ -Notation für verschiedene Beziehungsarten	76
3.20	Alternative Notationen für Kardinalitäten	77
3.21	Abhängige Entitys im ER-Modell: Funktionale Beziehung als Schlüssel	79
3.22	Mögliche Ausprägung für abhängige Entitys	79
3.23	Abhängige Entitys im ER-Modell: Alternative graphische Notation	80
3.24	IST-Beziehung im ER-Modell	80
3.25	Alternative Notation für IST-Beziehung im ER-Modell	81
3.26	Optionale Attribute im ER-Modell	82
4.1	Veranschaulichung eines Relationenschemas und einer Relation	86
4.2	Zwei Relationen der Weindatenbank	87
4.3	Zwei verschiedene, aber äquivalente Relationen, falls diese als Teilmenge des kartesischen Produktes definiert werden	89
4.4	Operationen der Relationenalgebra	96
5.1	Phasenmodell des DB-Entwurfs	124
5.2	Schritte des konzeptionellen Entwurfs	125
5.3	Formen der Fragmentierung von Relationen	128
5.4	Schichtenaufteilung eines konzeptionellen Schemas	134
5.5	Beispiel einer Ablaufspezifikation im ConTract-Modell	140
5.6	Heterogenität von Datenbankmodellen	141
5.7	Heterogenität von Datenbankschemata	142
5.8	Heterogenität von Datenbankinstanzen	143
5.9	Klassifikation von Konflikten	144
5.10	Kapazitätserhöhung: ER-Diagramm mit 1:1-Beziehung	145
5.11	Kapazitätsverminderung: ER-Diagramm für m:n-Beziehung	146
5.12	Beispiel für ein ER-Schema	147
5.13	ER-Abbildung: Eine m:n-Beziehung	150

5.14	ER-Abbildung: Eine 1:n-Beziehung	151
5.15	ER-Abbildung: Eine 1:1-Beziehung	151
5.16	ER-Abbildung: Eine IST-Beziehung	153
5.17	ER-Abbildung: Eine rekursive Beziehung	154
5.18	ER-Abbildung: Eine rekursive funktionale Beziehung	154
5.19	ER-Abbildung: Weak Entitys	155
5.20	ER-Abbildung: Eine mehrstellige Beziehung	156
6.1	WEINE-Relation mit Redundanzen	162
6.2	Ableitungsregeln für FDs	165
6.3	RAP-Ableitungsregeln für FDs	166
6.4	Algorithmus für Membership-Test	168
6.5	Algorithmus NONREDUNDANTCOVER zur Bestimmung der nicht-redundanten Überdeckung zu einer FD-Menge F	170
6.6	Algorithmus REDUCEDCOVER zur Bestimmung der reduzierten Überdeckung zu einer FD-Menge F	172
6.7	Partielle Abhängigkeit und ihre Elimination	177
6.8	Transitive Abhängigkeit und ihre Elimination	180
6.9	Nicht verbundtreue Zerlegung der WEINE-Relation	186
6.10	Nicht-verbundtreue Dekomposition	187
6.11	Verbundtreue Dekomposition	187
6.12	Algorithmus zur 3NF-Dekomposition	190
6.13	Dekomposition und Synthese im Vergleich	192
6.14	Algorithmus zur 3NF-Synthese	193
6.15	Darstellung einer Äquivalenzklasse als Ring	194
6.16	Varianten zur Modellierung der Erzeugerinformationen	196
6.17	Ableitungsregeln für MVDs	199
7.1	SQL-DDL in der Drei-Ebenen-Schemaarchitektur	210
7.2	Varianten der union -Operation in SQL	232
8.1	Strukturierte Attributwerte im ER-Modell	251
8.2	Abgeleitete Attributwerte im ER-Modell	251
8.3	Schlüsselnotation im EER-Modell	255
8.4	Mengen- und tupelwertige Attribute im EER-Modell	257
8.5	Spezialisierung (IST-Beziehung notiert mit dem Typkonstruktor des EER-Modells	257
8.6	Notation des Typkonstruktors für die Generalisierung	258
8.7	Beispiel für Generalisierung im EER-Modell	259
8.8	Beziehung an einer Generalisierung	260
8.9	Auswirkungen der fehlenden Generalisierung im klassischen ER-Modell	261
8.10	Notation des Typkonstruktors für die Partitionierung	262
8.11	Beispiel für Partitionierung im EER-Modell	262

8.12	Mehrfache Spezialisierung im EER-Modell	263
8.13	Partitionierung und Generalisierung im Vergleich	264
8.14	Allgemeiner Typkonstruktor	265
8.15	Mehrfachspezialisierung zu ErzeugenderKritiker	266
8.16	Objektwertige Attribute im EER-Modell	267
8.17	Einsatz objektwertiger Attribute zur Modellierung abhängiger Entity-Typen im EER-Modell	268
8.18	Alternativer Einsatz objektwertiger Attribute zur Modellierung abhängiger Entity-Typen im EER-Modell	269
8.19	Modellierung abhängiger Entity-Typen im EER-Modell (alternative Notation)	269
8.20	Gegenüberstellung der Notation für Spezialisierung, Partitionierung und Generalisierung im ECR- und EER-Modell	270
8.21	Darstellung einer Klasse in UML	273
8.22	Klasse Wein in UML	274
8.23	Binäre Beziehung in UML	275
8.24	Beziehung mit Attributen in UML	276
8.25	Aggregation in UML	276
8.26	Aggregation in UML in Baumdarstellung	277
8.27	Komposition in UML	277
8.28	Spezialisierung in UML	278
9.1	Beispiel für eine NF ² -Relation	285
9.2	Beispiel für geschachtelte Relation in PNF und Gegenbeispiel	287
9.3	Flache Darstellung der geschachtelten PNF-Relation aus Abbildung 9.2	287
9.4	Kombinierbarkeit der Konstruktoren	288
9.5	Zweite geschachtelte Relation mit demselbem Schema wie die Relation in Abbildung 9.1	291
9.6	Ergebnis der Vereinigung der Relationen in Abbildung 9.1 und 9.5 als PNF-Relationen	292
9.7	Sichere und syntaktisch sichere Anfragen	295
9.8	Vergleich des Formelaufbaus zwischen Bereichskalkül und EER-Kalkül	300
10.1	Wahrheitstabellen für die dreiwertige Logik in SQL	315
10.2	Wirkung der group by - und having -Klauseln	321
10.3	Die verschiedenen Arten des äußeren Verbundes	324
10.4	Busliniennetz mit Beispielrelation	329
10.5	Schrittweiser Aufbau der Rekursionstabelle	331
11.1	Projektion und Selektion in Access	360
11.2	Komplexe Selektionsbedingungen in MS Access	360
11.3	Ungewissheitsselektion in MS Access	361

11.4	Selektionen mit Disjunktionen in MS Access	362
11.5	Verbund in Access	362
11.6	Mengenwertige Selektionen in MS Access	363
11.7	Gruppierung und Aggregatfunktionen in Access	364
12.1	Nonrepeatable Read	382
12.2	Dirty Read	382
12.3	Phantom-Problem	383
12.4	Lost Update	384
12.5	Isolationsstufe read committed	386
12.6	Verletzung der Isolation unter read committed	387
12.7	Höchste Isolationsstufe serializable	388
12.8	Architekturen zur Integritätssicherung	389
13.1	Prinzip des Zugriffs auf Relationen mit Cursor	414
13.2	ODBC-Architektur	420
13.3	Vorübersetzerprinzip bei Embedded SQL	428
13.4	Prinzip der objekt-relationalen Abbildung	439
13.5	Abbildung von Klassen	440
13.6	Abbildung mengenwertiger Attribute	441
13.7	Abbildung von Beziehungen	443
14.1	Drei-Ebenen-Schemaarchitektur für Datenbankbeschreibungen	471
14.2	Zwei Relationen der Weindatenbank	476
14.3	Kommutatives Diagramm der Sicht-Update-Transformation . .	488
16.1	Beispielschema im Netzwerkmodell	514
16.2	Netzwerk von Datensätzen als Beispielausprägung im Netzwerkmodell	515
16.3	Abbildung einer k -stelligen Beziehung des ER-Modells im Netzwerkmodell	516
16.4	Umsetzung des Beispielschemas in das hierarchische Datenmodell	517
16.5	Skizzierung der Speicherstrukturen im hierarchischen Datenmodell	518
16.6	Die dreistellige Empfiehlt-Beziehung als Netzwerkschema . . .	519
16.7	Vorläufiges Schema für die Transformation in das hierarchische Modell	520
16.8	Hierarchisches Schema durch Einführung virtueller Record-Typen	521
16.9	Für $m:n$ -Beziehungen optimiertes hierarchisches Schema . . .	521
16.10	User Working Area (UWA) im Netzwerkmodell	522
16.11	Baumstruktur im hierarchischen Datenmodell	526

16.12	Entsprechende Abarbeitungsreihenfolge mit dem get next- Kommando	526
17.1	Abbildung eines mengenwertigen Attributs	537
17.2	Abbildung von Spezialisierungen: Horizontale Partitionierung .	538
17.3	Abbildung von Spezialisierungen: Vertikale Partitionierung . .	539
17.4	Abbildung von Spezialisierungen: Typisierte Partitionierung . .	540
17.5	Extensionale und intensionale Hierarchien bei Tabellen	547
17.6	Typsystem von SQL:2003 im Überblick	549
17.7	Tabellen und Typhierarchie in SQL:2003	555
17.8	Tiefe und flache Extensionen in SQL:2003	556
18.1	Beispiel eines Dokumentgraphs	570
18.2	Verschiedene Strukturierungsmöglichkeiten im Dokumentgraph	571
18.3	Repräsentation relationaler Daten als Graph	571
18.4	Relationale Repräsentation einer XML-Dokumentstruktur . . .	577
18.5	Vordefinierte Typen in XML Schema	583
18.6	Rolle von XPath	589
18.7	Achsen in XPath-Lokalisierungsschritten	591
18.8	XML-Verarbeitung mit SQL/XML	610
19.1	Grobarchitektur für Data Warehouse und OLAP	622
19.2	Referenzarchitektur für Data Warehouse	623
19.3	Datenwürfel	625
19.4	Einfache Hierarchien	626
19.5	Multiple Hierarchie der Zeit-Dimension	627
19.6	Die Operationen drill down und roll up	631
19.7	Beispiel für cross-tab	632
19.8	Relationale Darstellung des cross-tab	632
19.9	Die Operation slice	633
19.10	Aufteilung der Dimensionen in einer MDX-Anfrage	635
19.11	Ergebnistabelle der MDX-Anfrage	637
19.12	Beispiel für ein Star-Schema	639
19.13	Beispiel für ein Snowflake-Schema	639
19.14	Auswertung mit Zwischen- und Gesamtsummen	642
19.15	Syntax der OLAP-Funktionen	649
19.16	Beispiele für Fensterdeklarationen in OLAP-Funktionen	652
19.17	Anfrageumschreiben mit materialisierten Sichten	658
19.18	Aggregationsgitter	660
19.19	Strategie und Zeitpunkt für Aktualisierung	661
20.1	Veranschaulichung der Maße Precision und Recall im Informa- tion Retrieval	680
20.2	Euklid-, Manhattan- und Maximum-Distanz im Vergleich . . .	683

20.3	Vektor- vs. Rasterrepräsentation von raumbezogenen Daten . .	704
20.4	Typhierarchie von SQL/MM Spatial	706
20.5	Geometrische Objekte in SQL/MM Spatial	709
20.6	Geometrische Operationen	712
20.7	Topologische Begriffe	713
20.8	Beispiele für topologische Prädikate	714
20.9	Minimal umschließende Rechtecke für Geoobjekte	715
20.10	Mehrstufige Verarbeitung von räumlichen Anfragen	716
20.11	Einfluss von Toleranzen bei der Vereinigung [Ora06]	721

Tabellenverzeichnis

1.1	Begriffsbildungen für Datenbanksysteme	9
2.1	Wichtige Begriffe zu Datenbankarchitekturen	48
3.1	Gegenüberstellung von Datenbankkonzepten zu Konzepten im- perativer Programmiersprachen	53
3.2	Modelle für Daten und Algorithmen in verschiedenen Abstrak- tionsstufen	53
3.3	Wichtige Begriffe des ER-Modells	83
4.1	Wichtige Begriffe des Relationenmodells	115
5.1	Abbildung eines ER-Schemas auf ein relationales Schema . . .	149
5.2	Wichtige Begriffe des Datenbankentwurf	157
6.1	Relationale Schemaeigenschaften im Überblick	183
6.2	Relationale Transformationseigenschaften im Überblick	188
6.3	Wichtige Begriffe zum relationalen Datenbankentwurf	206
7.1	Vordefinierte Datentypen in SQL	211
7.2	Vergleich der Relationenalgebra mit SQL	238
7.3	Wichtige Begriffe zum relationalen Teil von SQL	244
8.1	Wichtige Begriffe bei erweiterten Entwurfsmodellen	279
9.1	Wichtige Begriffe zu erweiterten Modellen und Anfragen	302
10.1	Operatoren und Operanden für Datum- und Zeitwerte	308
10.2	Überblick über den Umfang der SQL-92-Levels	341
10.3	Wichtige Begriffe zur SQL	342

11.1	Gegenüberstellung von Operatoren der Relationalenalgebra und QBE	357
11.2	Wichtige Begriffe bei weiteren Sprachen	375
12.1	Mögliche Klassifikationen von Integritätsbedingungen	398
12.2	Wichtige Begriffe bei Transaktionen, Integrität und Triggern	409
13.1	Wichtige Begriffe zur Anwendungsentwicklung	466
14.1	Wichtige Begriffe zu Sichten	493
15.1	Wichtige Begriffe zur Zugriffskontrolle	509
16.1	Begriffe des Netzwerkmodells	514
16.2	Abbildung eines ER-Schemas auf ein Netzwerkschema	519
16.3	Wichtige Begriffe bei historischen Datenmodellen	527
17.1	OR-Mapping von Hierarchien: Vergleich der Partitionierungsarten	540
17.2	Eigenschaften der Typkonstruktoren	545
17.3	Wichtige Begriffe bei objektrelationalen Systemen	565
18.1	Vergleich der Modellierung mit Element oder Attribut	580
18.2	Abbildung von XML-Konstrukten auf objektrelationale Schemaelemente	588
18.3	Wichtige Begriffe zu semistrukturierten Daten und XML	617
19.1	Abgrenzung Data Warehouse zu OLTP	621
19.2	Summierbarkeit von Kennzahlen	630
19.3	Wichtige Begriffe bei Data-Warehouse-Systemen	670
20.1	Speicherbedarf für Videosequenzen	675
20.2	Ranking-Verfahren für einen Deskriptor und ein Dokument	696
20.3	Ranking-Verfahren: Recherche mit Wichtungen, Vektorraummodell	697
20.4	Ranking-Verfahren: Recherche ohne Wichtungen, Vektorraummodell	697
20.5	Wichtige Begriffe bei Multimedia-Retrieval	723