

*Gunter Saake
Kai-Uwe Sattler
Andreas Heuer*

Datenbanken

Konzepte und Sprachen

Fünfte Auflage



Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur fünften Auflage	v
Inhaltsverzeichnis	ix
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
6.1.1	Definition funktionaler Abhängigkeiten	161
6.1.2	Ableitung von funktionalen Abhängigkeiten	163
6.1.3	Überdeckungen	169
6.2	Schemaeigenschaften	175
6.2.1	Änderungsanomalien	175
6.2.2	Normalformen	177
6.2.3	Minimalität	184
6.3	Transformationseigenschaften	185
6.3.1	Abhängigkeitstreue	185
6.3.2	Verbundtreue	187
6.4	Entwurfsverfahren	189
6.4.1	Ziele	190
6.4.2	Dekompositionsverfahren	191
6.4.3	Syntheseverfahren	194
6.4.4	Verfeinerung des Entity-Relationship-Datenbankentwurfs	197
6.5	Mehrwertige Abhängigkeiten	198
6.5.1	Grundlagen	198
6.5.2	Schemaeigenschaften	202

6.5.3	Transformationseigenschaften	203
6.6	Weitere Abhängigkeiten und Verfahren	203
6.7	Weitere relationale Entwurfsverfahren	205
6.8	Zusammenfassung	206
6.9	Vertiefende Literatur	206
6.10	Übungsaufgaben	208
7	Die relationale Datenbanksprache SQL	211
7.1	SQL als Datendefinitionssprache	211
7.1.1	Erzeugen von Tabellen	212
7.1.2	Tabellen mit Integritätsbedingungen	216
7.1.3	Löschen und Ändern von Tabellendefinitionen	217
7.1.4	Erzeugen und Löschen von Indexen	219
7.2	SQL als relationale Anfragesprache	220
7.2.1	Überblick	221
7.2.2	Die from -Klausel	222
7.2.3	Die select -Klausel	225
7.2.4	Die where -Klausel	228
7.2.5	Mengenoperationen	232
7.2.6	Schachtelung von Anfragen	234
7.2.7	Mächtigkeit des SQL-Kerns	240
7.3	Änderungsoperationen in SQL	240
7.3.1	Übersicht über Änderungen in SQL	241
7.3.2	Die update -Anweisung	241
7.3.3	Die delete -Anweisung	243
7.3.4	Die insert -Anweisung	244
7.3.5	Probleme bei SQL-Änderungen	245
7.4	Zusammenfassung	246
7.5	Vertiefende Literatur	247
7.6	Übungsaufgaben	247

II **Erweiterte Konzepte für relationale Datenbanken** **249**

8	Erweiterte Entwurfsmodelle	251
8.1	Erweiterungen des ER-Modells	251
8.1.1	Erweiterungen bei Attributen	252
8.1.2	Spezialisierung und Generalisierung	253
8.1.3	Komplexe Objekte	254
8.1.4	Beziehungen höheren Typs	255
8.2	Das EER-Modell – ein erweitertes ER-Modell	256
8.2.1	Übernommene Grundkonzepte aus dem klassischen ER-Modell	256
8.2.2	Erweiterung bei Wertebereichen	257

8.2.3	Mengenwertige und strukturierte Attribute	258
8.2.4	Der Typkonstruktor: Spezialisierung, Generalisierung, Partitionierung	258
8.2.5	Aggregation und Sammlung mittels objektwertiger Attribute	268
8.2.6	Erweitertes Schlüsselkonzept	270
8.2.7	Abgeleitete Konzepte	271
8.2.8	Vergleich zu anderen erweiterten ER-Modellen	272
8.3	UML für den Datenbankentwurf	273
8.3.1	Das Objektmodell von UML	274
8.3.2	Darstellung von Klassen in UML	275
8.3.3	Beziehungen in UML	276
8.3.4	Aggregation in UML	278
8.3.5	Spezialisierung in UML	279
8.4	Zusammenfassung	280
8.5	Vertiefende Literatur	280
8.6	Übungsaufgaben	282
9	Grundlagen von Modellen und Anfragen	283
9.1	Erweiterungen der Relationenalgebra	283
9.2	Erweiterte Modelle und Anfragealgebren	287
9.2.1	Geschachtelte Relationen: Das NF ² -Modell	287
9.2.2	PNF-Relationen	288
9.2.3	Verallgemeinerte geschachtelte Relationen	288
9.2.4	Erweiterte Anfragealgebren	290
9.3	Anfragekalküle	294
9.3.1	Bereichskalkül	294
9.3.2	Sichere Anfragen	296
9.3.3	Beispiele für Anfragen im Bereichskalkül	298
9.3.4	Eigenschaften des Bereichskalküls	299
9.3.5	Kalküle für andere Datenmodelle	300
9.4	Zusammenfassung	304
9.5	Vertiefende Literatur	305
9.6	Übungsaufgaben	305
10	Erweiterte Konzepte von SQL	307
10.1	Weitere Operationen und Prädikate	307
10.1.1	Skalare Ausdrücke	307
10.1.2	Prädikate	313
10.1.3	Quantoren und Mengenvergleiche	313
10.1.4	Behandlung von Nullwerten	316
10.2	Aggregation, Gruppierung und Sortierung	318
10.2.1	Aggregatfunktionen	318

10.2.2	Gruppierung	321
10.2.3	Sortierung	323
10.2.4	Erweiterte Aggregationsfunktionen in SQL:2003	326
10.3	Äußere Verbunde	331
10.4	Künstliche Schlüssel und Sequenzgeneratoren	333
10.5	Benannte Anfragen und Rekursion	335
10.5.1	Benannte Anfragen	336
10.5.2	Rekursive Anfragen	337
10.6	SQL-Versionen	344
10.6.1	SEQUEL2	345
10.6.2	SQL-89	346
10.6.3	SQL-92	347
10.6.4	SQL:1999 und SQL:2003	348
10.6.5	SQL:2006 bis SQL:2011	350
10.7	Zusammenfassung	352
10.8	Vertiefende Literatur	353
10.9	Übungsaufgaben	353
11	Weitere relationale Datenbanksprachen	355
11.1	QUEL	356
11.1.1	Anfragen in QUEL	356
11.1.2	Änderungsoperationen in QUEL	359
11.2	Query by Example	359
11.2.1	Anfragen in QBE	360
11.2.2	Funktionen, Sortierung und Aggregierung in QBE	364
11.2.3	Formale Semantik von QBE	365
11.2.4	Ausdrucksfähigkeit von QBE	366
11.2.5	Änderungen in QBE	367
11.2.6	Anfragen in MS Access	369
11.2.7	Andere graphische Anfragesprachen	372
11.3	Datalog	373
11.3.1	Grundbegriffe	374
11.3.2	Semantik rekursiver Regeln	376
11.3.3	Semantik und Auswertung von Datalog	377
11.4	Tutorial D	378
11.4.1	Datentypen	378
11.4.2	Anfrageoperatoren	380
11.4.3	Änderungsoperationen	383
11.4.4	Constraints	384
11.5	Zusammenfassung	385
11.6	Vertiefende Literatur	385
11.7	Übungsaufgaben	386

12 Transaktionen, Integrität & Trigger	387
12.1 Grundlagen von Transaktionen	388
12.1.1 ACID-Prinzip	388
12.1.2 Probleme im Mehrbenutzerbetrieb	390
12.1.3 Transaktionssteuerung in SQL	395
12.1.4 Transaktionen und Integritätssicherung	398
12.2 Architekturen zur Integritätssicherung	399
12.2.1 Integritätssicherung durch Anwendung	400
12.2.2 Integritätsmonitor als Komponente des DBMS	400
12.2.3 Integritätssicherung durch Einkapselung	401
12.3 Integritätsbedingungen in SQL	402
12.3.1 Inhärente Integritätsbedingungen im Relationenmodell	402
12.3.2 Weitere Bedingungen in der SQL-DDL	403
12.3.3 Die assertion -Klausel	404
12.3.4 Verwaltung und Überprüfung von Bedingungen	404
12.4 Klassifikation von Integritätsbedingungen	405
12.5 Trigger und aktive Datenbanken	408
12.5.1 Grundprinzipien von Triggern	409
12.5.2 Aktive Datenbanken und ECA-Regeln	411
12.6 Methoden der Integritätssicherung	415
12.6.1 Integritätssicherung durch Trigger	415
12.6.2 Integritätssicherung durch Anfragemodifikation	417
12.7 Zusammenfassung	419
12.8 Vertiefende Literatur	420
12.9 Übungsaufgaben	420
13 Datenbankentwicklung	423
13.1 Grundprinzipien	424
13.2 Programmiersprachenanbindung: Call-Level-Schnittstellen	426
13.2.1 SQL/CLI: Der Standard	427
13.2.2 ODBC	430
13.2.3 JDBC	431
13.2.4 Weitere Call-Level-Schnittstellen	436
13.3 Eingebettetes SQL	437
13.3.1 Statische Einbettung: Embedded SQL	437
13.3.2 Dynamische Einbettung: Dynamic SQL	445
13.3.3 SQLJ: Embedded SQL für Java	446
13.4 High-Level-Schnittstellen	448
13.4.1 Grundlagen der Abbildung	449
13.4.2 Hibernate	452
13.4.3 Weitere Technologien	460
13.5 Prozedurale SQL-Erweiterungen und Datenbanksprachen	461
13.5.1 Vorteile von gespeicherten Prozeduren	462

13.5.2	SQL/PSM: Der Standard	463
13.5.3	PL/SQL von Oracle	470
13.5.4	Gespeicherte Prozeduren in Java	472
13.6	Anwendungsentwicklung in der Cloud	475
13.6.1	Database-as-a-Service und Cloud-Datenbanken	476
13.6.2	Klassische DBMS in der Cloud	477
13.6.3	NoSQL-Systeme in der Cloud	477
13.7	Zusammenfassung	481
13.8	Vertiefende Literatur	481
13.9	Übungsaufgaben	483
14	Sichten	485
14.1	Motivation und Begriffsbildung	486
14.1.1	Sichten und externe Schemata	487
14.1.2	Definition von Sichten	487
14.1.3	Definition von Sichten in SQL	488
14.1.4	Vorteile von Sichten	489
14.2	Probleme mit Sichten	490
14.2.1	Kriterien für Änderungen auf Sichten	491
14.2.2	Projektionssichten	492
14.2.3	Selektionssichten	494
14.2.4	Verbundsichten	495
14.2.5	Aggregationssichten	497
14.2.6	Klassifikation der Problembereiche	498
14.3	Behandlung von Sichten in SQL	499
14.3.1	Auswertung von Anfragen an Sichten in SQL	500
14.3.2	Sichtänderungen in SQL-92	502
14.3.3	Sichtänderungen in SQL:2003	502
14.4	Theorie änderbarer Sichten	503
14.5	Instead-of-Trigger für Sichtänderungen	505
14.6	Zusammenfassung	508
14.7	Vertiefende Literatur	510
14.8	Übungsaufgaben	510
15	Zugriffskontrolle & Privacy	511
15.1	Sicherheitsmodelle	513
15.1.1	Diskrete Sicherheitsmodelle	513
15.1.2	Verbindliche Sicherheitsmodelle	513
15.2	Rechtevergabe in SQL	514
15.2.1	Benutzer und Schemata	515
15.2.2	Rechtevergabe in SQL	515
15.2.3	Zurücknahme von Rechten	517
15.2.4	Rollenmodell in SQL:2003	518

15.2.5	Auditing	518
15.2.6	Authentifikation und Autorisierung	520
15.3	Privacy-Aspekte in Datenbanken	520
15.3.1	Statistische Datenbanken	521
15.3.2	k-Anonymität	523
15.4	Zusammenfassung	524
15.5	Vertiefende Literatur	525
15.6	Übungsaufgaben	525

III Weitere Datenbankmodelle 527

16 Historische Modelle 529

16.1	Das Netzwerkmodell	529
16.1.1	Netzwerkschema	530
16.1.2	Simulation einer allgemeinen Beziehung	532
16.2	Das hierarchische Modell	533
16.3	ER-Abbildung auf das Netzwerkmodell	534
16.4	ER-Abbildung auf das hierarchische Modell	535
16.5	Anwendungsprogrammierung in den historischen Modellen	537
16.5.1	Datenmanipulation im Netzwerkmodell	537
16.5.2	Datenmanipulation im hierarchischen Modell	541
16.6	Zusammenfassung	543
16.7	Vertiefende Literatur	543
16.8	Übungsaufgaben	543

17 Objektrelationale Modelle & SQL:2003 545

17.1	Exkurs: Objektorientierte Datenbankmodelle	545
17.1.1	Objektorientierte Datenbanken	546
17.1.2	Der ODMG-Standard	547
17.1.3	OQL	550
17.2	Abbildung von Objekten auf Relationen	552
17.2.1	Typkonstruktoren	552
17.2.2	Abbildung der Spezialisierungshierarchie	553
17.3	Objektrelationale Erweiterungen	556
17.3.1	Large Objects: BLOB und CLOB	557
17.3.2	Typkonstruktoren	557
17.3.3	Identitäten, Referenzen und Pfadausdrücke	561
17.3.4	Hierarchien und Vererbung	562
17.3.5	Methoden	563
17.4	Objektrelationale Konzepte in SQL:2003	564
17.4.1	Typsystem und DDL	564
17.4.2	Anfragen	572
17.4.3	Methoden in SQL:2003	577

17.5	Objektrelationale Konzepte in kommerziellen DBMS	578
17.6	Zusammenfassung	580
17.7	Vertiefende Literatur	581
17.8	Übungsaufgaben	582
18	XML und RDF	583
18.1	Semistrukturierte Datenmodelle	583
18.1.1	Merkmale semistrukturierter Datenmodelle	584
18.1.2	Datenmodelle für semistrukturierte Dokumente	585
18.1.3	XML	588
18.2	Datendefinition in XML	594
18.2.1	Dokumenttypdefinition	594
18.2.2	XML Schema	598
18.2.3	XML-Abbildung auf relationale Schemata	603
18.3	Navigation in XML-Dokumenten: XPath	604
18.3.1	Pfadausdrücke und Lokalisierungsschritte	605
18.3.2	Selektionsprädikate und Funktionen	609
18.4	Die Anfragesprache XQuery	611
18.4.1	FLWOR-Ausdrücke	612
18.4.2	Elementkonstruktoren	615
18.4.3	Verbunde und Gruppierungen	617
18.4.4	Ausdrücke und Vergleiche	621
18.4.5	Funktionen	624
18.5	SQL/XML: XML-Erweiterungen für SQL	625
18.5.1	XML-Datentypen	626
18.5.2	XML-Konstruktion mit SQL	628
18.6	Das Resource Description Framework	632
18.6.1	Das RDF-Modell	634
18.6.2	RDF-Repräsentationen	637
18.6.3	RDF Schema und Vokabulare	641
18.7	Die RDF-Anfragesprache SPARQL	645
18.7.1	Grundlagen	646
18.7.2	SPARQL-Elemente	647
18.8	Zusammenfassung	654
18.9	Vertiefende Literatur	655
18.10	Übungsaufgaben	656
19	Multimediale und raumbezogene Daten	659
19.1	Multimedia-Datenbanken	660
19.1.1	Grundbegriffe	660
19.1.2	Grundlagen des Multimedia Retrieval	665
19.2	Text Retrieval	671
19.2.1	Information Retrieval auf Texten	671

19.2.2	Grundtechniken des Text Retrieval	672
19.2.3	Deskribierung	673
19.2.4	Recherche	676
19.2.5	Information Retrieval-Systeme	684
19.3	SQL/MM	685
19.3.1	SQL/MM Full Text	686
19.3.2	SQL/MM Still Image	688
19.3.3	Der Datentyp Video	689
19.3.4	SQL/MM Spatial	689
19.4	Verwaltung raumbezogener Daten	690
19.4.1	Grundbegriffe	690
19.4.2	Modellierung raumbezogener Daten	692
19.4.3	Prädikate und Anfragen auf raumbezogenen Daten . . .	697
19.4.4	Oracle Spatial	704
19.4.5	Weitere Systeme	707
19.5	Temporale Daten	708
19.5.1	Grundbegriffe	709
19.5.2	Umsetzung in SQL	710
19.5.3	Temporale Schlüssel, Fremdschlüssel und Anfragen . . .	712
19.5.4	Weitere Entwicklung und Einordnung	715
19.6	Zusammenfassung	716
19.7	Vertiefende Literatur	716
19.8	Übungsaufgaben	716
A	Laufendes Beispiel	719
A.1	ER-Schema der Weindatenbank	719
A.2	Relationale Repräsentation	720
A.3	Vereinfachtes Schema und Beispieldaten	721
	Literaturverzeichnis	723
	Abbildungsverzeichnis	746
	Tabellenverzeichnis	753
	Sachindex	755
	Schlüsselwortindex	771

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	Darstellung einer Äquivalenzklasse als Ring	174
6.8	Partielle Abhängigkeit und ihre Elimination	179
6.9	Transitive Abhängigkeit und ihre Elimination	181
6.10	Nicht verbundtreue Zerlegung der WEINE-Relation	187
6.11	Nicht-verbundtreue Dekomposition	188
6.12	Verbundtreue Dekomposition	188
6.13	Algorithmus zur 3NF-Dekomposition	192
6.14	Dekomposition und Synthese im Vergleich	194
6.15	Algorithmus zur 3NF-Synthese	195
6.16	Varianten zur Modellierung der Erzeugerinformationen	198
6.17	Ableitungsregeln für MVDs	200
7.1	SQL-DDL in der Drei-Ebenen-Schemaarchitektur	212
7.2	Varianten der union-Operation in SQL	234
8.1	Strukturierte Attributwerte im ER-Modell	253
8.2	Abgeleitete Attributwerte im ER-Modell	253
8.3	Schlüsselnotation im EER-Modell	257
8.4	Mengen- und tupelwertige Attribute im EER-Modell	259
8.5	Spezialisierung (IST-Beziehung notiert mit dem Typkonstruktor des EER-Modells	259
8.6	Notation des Typkonstruktors für die Generalisierung	260
8.7	Beispiel für Generalisierung im EER-Modell	261
8.8	Beziehung an einer Generalisierung	262
8.9	Auswirkungen der fehlenden Generalisierung im klassischen ER-Modell	263
8.10	Notation des Typkonstruktors für die Partitionierung	264
8.11	Beispiel für Partitionierung im EER-Modell	264

8.12	Mehrfache Spezialisierung im EER-Modell	265
8.13	Partitionierung und Generalisierung im Vergleich	266
8.14	Allgemeiner Typkonstruktor	267
8.15	Mehrfachspezialisierung zu ErzeugenderKritiker	268
8.16	Objektwertige Attribute im EER-Modell	269
8.17	Einsatz objektwertiger Attribute zur Modellierung abhängiger Entity-Typen im EER-Modell	270
8.18	Alternativer Einsatz objektwertiger Attribute zur Modellierung abhängiger Entity-Typen im EER-Modell	271
8.19	Modellierung abhängiger Entity-Typen im EER-Modell (alternative Notation)	271
8.20	Gegenüberstellung der Notation für Spezialisierung, Partitionierung und Generalisierung im ECR- und EER-Modell	272
8.21	Darstellung einer Klasse in UML	275
8.22	Klasse Wein in UML	276
8.23	Binäre Beziehung in UML	277
8.24	Beziehung mit Attributen in UML	278
8.25	Aggregation in UML	278
8.26	Aggregation in UML in Baumdarstellung	279
8.27	Komposition in UML	279
8.28	Spezialisierung in UML	280
9.1	Beispiel für eine NF ² -Relation	287
9.2	Beispiel für geschachtelte Relation in PNF und Gegenbeispiel	289
9.3	Flache Darstellung der geschachtelten PNF-Relation aus Abbildung 9.2	289
9.4	Kombinierbarkeit der Konstruktoren	290
9.5	Zweite geschachtelte Relation mit demselben Schema wie die Relation in Abbildung 9.1	293
9.6	Ergebnis der Vereinigung der Relationen in Abbildung 9.1 und 9.5 als PNF-Relationen	294
9.7	Sichere und syntaktisch sichere Anfragen	297
9.8	Vergleich des Formelaufbaus zwischen Bereichskalkül und EER-Kalkül	302
10.1	Wahrheitstabellen für die dreiwertige Logik in SQL	317
10.2	Wirkung der group by - und having -Klauseln	323
10.3	Syntax der OLAP-Funktionen	327
10.4	Beispiele für Fensterdeklarationen in OLAP-Funktionen	330
10.5	Die verschiedenen Arten des äußeren Verbundes	332
10.6	Busliniennetz mit Beispielrelation	337
10.7	Schrittweiser Aufbau der Rekursionstabelle	340
11.1	Projektion und Selektion in Access	370

11.2	Komplexe Selektionsbedingungen in MS Access	370
11.3	Ungewissheitsselektion in MS Access	371
11.4	Selektionen mit Disjunktionen in MS Access	372
11.5	Verbund in Access	372
11.6	Mengenwertige Selektionen in MS Access	373
11.7	Gruppierung und Aggregatfunktionen in Access	374
12.1	Nonrepeatable Read	392
12.2	Dirty Read	392
12.3	Phantom-Problem	393
12.4	Lost Update	394
12.5	Isolationsstufe read committed	396
12.6	Verletzung der Isolation unter read committed	397
12.7	Höchste Isolationsstufe serializable	398
12.8	Architekturen zur Integritätssicherung	399
13.1	Prinzip des Zugriffs auf Relationen mit Cursor	424
13.2	ODBC-Architektur	430
13.3	Vorübersetzerprinzip bei Embedded SQL	438
13.4	Prinzip der objekt-relationalen Abbildung	449
13.5	Abbildung von Klassen	450
13.6	Abbildung mengenwertiger Attribute	451
13.7	Abbildung von Beziehungen	453
13.8	Datensätze in DynamoDB	478
14.1	Drei-Ebenen-Schemaarchitektur für Datenbankbeschreibungen	487
14.2	Zwei Relationen der Weindatenbank	492
14.3	Kommutatives Diagramm der Sicht-Update-Transformation . .	504
16.1	Beispielschema im Netzwerkmodell	530
16.2	Netzwerk von Datensätzen als Beispielausprägung im Netzwerkmodell	531
16.3	Abbildung einer k -stelligen Beziehung des ER-Modells im Netzwerkmodell	532
16.4	Umsetzung des Beispielschemas in das hierarchische Datenmodell	533
16.5	Skizzierung der Speicherstrukturen im hierarchischen Datenmodell	534
16.6	Die dreistellige Empfiehlt-Beziehung als Netzwerkschema . . .	535
16.7	Vorläufiges Schema für die Transformation in das hierarchische Modell	536
16.8	Hierarchisches Schema durch Einführung virtueller Record-Typen	537
16.9	Für $m:n$ -Beziehungen optimiertes hierarchisches Schema . . .	537



16.10	User Working Area (UWA) im Netzwerkmodell	538
16.11	Baumstruktur im hierarchischen Datenmodell	542
16.12	Entsprechende Abarbeitungsreihenfolge mit dem get next- Kommando	542
17.1	Abbildung eines mengenwertigen Attributs	553
17.2	Abbildung von Spezialisierungen: Horizontale Partitionierung .	554
17.3	Abbildung von Spezialisierungen: Vertikale Partitionierung . .	555
17.4	Abbildung von Spezialisierungen: Typisierte Partitionierung . .	556
17.5	Extensionale und intensionale Hierarchien bei Tabellen	563
17.6	Typsystem von SQL:2003 im Überblick	565
17.7	Tabellen und Typhierarchie in SQL:2003	571
17.8	Tiefe und flache Extensionen in SQL:2003	572
18.1	Beispiel eines Dokumentgraphs	586
18.2	Verschiedene Strukturierungsmöglichkeiten im Dokumentgraph	587
18.3	Repräsentation relationaler Daten als Graph	587
18.4	Relationale Repräsentation einer XML-Dokumentstruktur . . .	593
18.5	Vordefinierte Typen in XML Schema	599
18.6	Rolle von XPath	605
18.7	Achsen in XPath-Lokalisierungsschritten	607
18.8	XML-Verarbeitung mit SQL/XML	626
18.9	Ausschnitt aus einer Ontologie	633
18.10	Einfacher RDF-Graph	635
18.11	Komplexer RDF-Graph	636
18.12	Graphstruktur für Container	640
19.1	Veranschaulichung der Maße Precision und Recall im Informa- tion Retrieval	666
19.2	Euklid-, Manhattan- und Maximum-Distanz im Vergleich . . .	670
19.3	Vektor- vs. Rasterrepräsentation von raumbezogenen Daten . .	690
19.4	Typhierarchie von SQL/MM Spatial	693
19.5	Geometrische Objekte in SQL/MM Spatial	695
19.6	Geometrische Operationen	698
19.7	Topologische Begriffe	699
19.8	Beispiele für topologische Prädikate	700
19.9	Minimal umschließende Rechtecke für Geoobjekte	701
19.10	Mehrstufige Verarbeitung von räumlichen Anfragen	702
19.11	Einfluss von Toleranzen bei der Vereinigung [Ora06]	708

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	184
6.2	Relationale Transformationseigenschaften im Überblick	190
6.3	Wichtige Begriffe zum relationalen Datenbankentwurf	207
7.1	Vordefinierte Datentypen in SQL	213
7.2	Vergleich der Relationenalgebra mit SQL	240
7.3	Wichtige Begriffe zum relationalen Teil von SQL	246
8.1	Wichtige Begriffe bei erweiterten Entwurfsmodellen	281
9.1	Wichtige Begriffe zu erweiterten Modellen und Anfragen	304
10.1	Operatoren und Operanden für Datum- und Zeitwerte	310
10.2	Überblick über den Umfang der SQL-92-Levels	349
10.3	Überblick über die Schwerpunkte der einzelnen SQL-Standards	352
10.4	Wichtige Begriffe zur SQL	353

11.1	Gegenüberstellung von Operatoren der Relationalenalgebra und QBE	367
11.2	Wichtige Begriffe bei weiteren Sprachen	385
12.1	Mögliche Klassifikationen von Integritätsbedingungen	408
12.2	Wichtige Begriffe bei Transaktionen, Integrität und Triggern	419
13.1	Wichtige Begriffe zur Anwendungsentwicklung	482
14.1	Wichtige Begriffe zu Sichten	509
15.1	Wichtige Begriffe zur Zugriffskontrolle	525
16.1	Begriffe des Netzwerkmodells	530
16.2	Abbildung eines ER-Schemas auf ein Netzwerkschema	535
16.3	Wichtige Begriffe bei historischen Datenmodellen	543
17.1	OR-Mapping von Hierarchien: Vergleich der Partitionierungsarten	556
17.2	Eigenschaften der Typkonstruktoren	561
17.3	Wichtige Begriffe bei objektrelationalen Systemen	581
18.1	Vergleich der Modellierung mit Element oder Attribut	596
18.2	Abbildung von XML-Konstrukten auf objektrelationale Schemaelemente	604
18.3	Wichtige Begriffe zu semistrukturierten Daten, XML und RDF	657
19.1	Speicherbedarf für Videosequenzen	661
19.2	Ranking-Verfahren für einen Deskriptor und ein Dokument	682
19.3	Ranking-Verfahren: Recherche mit Wichtungen, Vektorraummodell	683
19.4	Ranking-Verfahren: Recherche ohne Wichtungen, Vektorraummodell	684
19.5	Wichtige Begriffe bei Multimedia-Retrieval	717