

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur sechsten Auflage	v
Inhaltsverzeichnis	xiii
1 Grundlegende Konzepte	1
1.1 Motivation und Historie	1
1.2 Komponenten und Funktionen	7
1.2.1 Prinzipien und Aufgaben	8
1.2.2 Einsatzgebiete, Grenzen und Entwicklungstendenzen . .	10
1.2.3 Wann kommt was?	13
1.3 Beispielanwendung	14
1.4 Vertiefende Literatur	16
1.5 Übungsaufgaben	16
2 Relationale Datenbanken – Daten in Tabellen	17
2.1 Relationen für tabellarische Daten	17
2.1.1 Begriffe im Relationenmodell	18
2.1.2 Integritätsbedingungen: Schlüssel	19
2.1.3 Integritätsbedingungen: Fremdschlüssel	20
2.2 Datendefinition in SQL	21
2.2.1 Mögliche Wertebereiche in SQL	22
2.2.2 Beispiele für die Datendeklaration	22
2.2.3 Nullwerte	23
2.3 Grundoperationen: Die Relationenalgebra	23
2.3.1 Selektion σ	24
2.3.2 Projektion π	25
2.3.3 Natürlicher Verbund \bowtie	25
2.3.4 Umbenennung β	27
2.3.5 Mengenoperationen	27
2.4 Qualität entworfenener Tabellen	28
2.5 SQL als Anfragesprache	31

2.6	Änderungsoperationen in SQL	33
2.6.1	Die update -Anweisung	33
2.6.2	Die delete -Anweisung	35
2.6.3	Die insert -Anweisung	36
2.7	Sichten in SQL	37
2.8	Wie geht es weiter?	37
2.9	Übungsaufgaben	38

I Kernkonzepte relationaler Datenbanken 39

3 Architekturen von Datenbanksystemen 41

3.1	Schemaarchitektur und Datenunabhängigkeit	42
3.2	Systemarchitekturen	47
3.2.1	ANSI-SPARC-Architektur	47
3.2.2	Der Weg einer Anfrage	50
3.2.3	Fünf-Schichten-Architektur	52
3.2.4	Konkrete Systemarchitekturen	55
3.3	Anwendungsarchitekturen	59
3.4	Zusammenfassung	63
3.5	Vertiefende Literatur	63
3.6	Übungsaufgaben	64

4 Das Entity-Relationship-Modell 67

4.1	Datenbankmodelle	67
4.2	Grundlagen des Entity-Relationship-Modells	74
4.2.1	Grundkonzepte des klassischen ER-Modells	74
4.2.2	Ein einfaches Beispiel für ein ER-Schema	81
4.2.3	Semantik eines ER-Schemas	83
4.3	Eigenschaften von Beziehungen	83
4.3.1	Stelligkeit	84
4.3.2	Kardinalitäten und funktionale Beziehungen	87
4.3.3	Kardinalitäten in der klassischen Chen-Notation	90
4.3.4	Kardinalitäten in funktionaler Notation	91
4.3.5	Kardinalitäten in Intervallnotation	92
4.4	Weitere Konzepte im Entity-Relationship-Modell	97
4.4.1	Abhängige Entity-Typen	98
4.4.2	Die IST-Beziehung	99
4.4.3	Optionalität von Attributen	101
4.5	Zusammenfassung	102
4.6	Vertiefende Literatur	102
4.7	Übungsaufgaben	103

5	Relationenmodell und Relationenalgebra	105
5.1	Relationenmodell: Strukturteil	105
5.1.1	Schemata und Instanzen	106
5.1.2	Integritätsbedingungen	110
5.2	Relationenalgebra: Operationenteil	114
5.2.1	Kriterien für Anfragesprachen	115
5.2.2	Relationenalgebra	116
5.3	Änderungsoperationen	127
5.3.1	Allgemeine Grundprinzipien	128
5.3.2	Relationale Änderungsoperationen	129
5.4	Zusammenfassung	130
5.5	Vertiefende Literatur	130
5.6	Übungsaufgaben	130
6	Phasen des Datenbankentwurfs	135
6.1	Entwurfsaufgabe	135
6.2	Phasenmodell	138
6.2.1	Anforderungsanalyse	140
6.2.2	Konzeptioneller Entwurf	141
6.2.3	Verteilungsentwurf	143
6.2.4	Logischer Entwurf	144
6.2.5	Datendefinition	146
6.2.6	Physischer Entwurf	146
6.2.7	Implementierung und Wartung	147
6.2.8	Objektorientierte Entwurfsmethoden	147
6.2.9	Phasenbegleitende Methoden	148
6.3	Aspekte der Datenintegration	148
6.3.1	Heterogenität der Datenmodelle	149
6.3.2	Heterogene Datenbankschemata	149
6.3.3	Heterogenität auf der Datenebene	150
6.3.4	Schemakonflikte bei der Integration	151
6.4	Entity-Relationship-Abbildung auf das Relationenmodell	152
6.4.1	Informationskapazität	153
6.4.2	Beispiel für eine Abbildung auf das Relationenmodell	155
6.4.3	Abbildungsregeln für das relationale Modell	156
6.5	Zusammenfassung	165
6.6	Vertiefende Literatur	165
6.7	Übungsaufgaben	166
7	Relationaler Datenbankentwurf	167
7.1	Funktionale Abhängigkeiten	169
7.1.1	Definition funktionaler Abhängigkeiten	169
7.1.2	Ableitung von funktionalen Abhängigkeiten	171

7.2	Schemaeigenschaften	177
7.2.1	Änderungsanomalien	177
7.2.2	Normalformen	179
7.2.3	Minimalität	186
7.3	Transformationseigenschaften	187
7.3.1	Abhängigkeitstreue	187
7.3.2	Verbundtreue	189
7.4	Entwurfsverfahren	192
7.4.1	Ziele	192
7.4.2	Dekompositionsverfahren	193
7.4.3	Ausblick Syntheseverfahren	197
7.5	Zusammenfassung	198
7.6	Vertiefende Literatur	198
7.7	Übungsaufgaben	198
8	Die relationale Datenbanksprache SQL	201
8.1	SQL als Datendefinitionssprache	202
8.1.1	Erzeugen von Tabellen	203
8.1.2	Tabellen mit Integritätsbedingungen	207
8.1.3	Löschen und Ändern von Tabellendefinitionen	208
8.1.4	Erzeugen und Löschen von Indexen	210
8.2	SQL als relationale Anfragesprache	211
8.2.1	Überblick	212
8.2.2	Die from -Klausel	213
8.2.3	Die select -Klausel	216
8.2.4	Die where -Klausel	218
8.2.5	Mengenoperationen	222
8.2.6	Schachtelung von Anfragen	223
8.2.7	Mächtigkeit des SQL-Kerns	229
8.3	Änderungsoperationen in SQL	230
8.3.1	Übersicht über Änderungen in SQL	231
8.3.2	Die update -Anweisung	231
8.3.3	Die delete -Anweisung	233
8.3.4	Die insert -Anweisung	234
8.3.5	Die merge -Anweisung	235
8.3.6	Probleme bei SQL-Änderungen	236
8.4	Zusammenfassung	237
8.5	Vertiefende Literatur	237
8.6	Übungsaufgaben	238

II Erweiterte Konzepte für relationale Datenbanken 241

9 Erweiterter relationaler Datenbankentwurf	243
9.1 Überdeckungen von funktionalen Abhängigkeiten	244
9.1.1 Nicht-redundante Überdeckung	245
9.1.2 Reduzierte Überdeckung	247
9.1.3 Bildung von Äquivalenzklassen	249
9.1.4 Minimale Überdeckung	250
9.1.5 Ringförmige Überdeckung	251
9.2 Syntheseverfahren	252
9.2.1 Ablauf der Synthese	253
9.2.2 Erreichung der Verbundtreue	255
9.3 Verfeinerung des Entity-Relationship-Datenbankentwurfs . . .	256
9.4 Mehrwertige Abhängigkeiten	257
9.4.1 Grundlagen	257
9.4.2 Schemaeigenschaften	260
9.4.3 Transformationseigenschaften	262
9.5 Weitere Abhängigkeiten und Normalformen	262
9.5.1 Verbundabhängigkeiten	262
9.5.2 Inklusionsabhängigkeiten	263
9.5.3 Weitere relationale Entwurfsverfahren	264
9.5.4 Weitere Anwendungen der relationalen Theorie	265
9.6 Zusammenfassung	266
9.7 Vertiefende Literatur	267
9.8 Übungsaufgaben	268
10 Grundlagen von relationalen Anfragen	269
10.1 Erweiterungen der Relationenalgebra	269
10.2 Anfragekalküle	273
10.2.1 Ein allgemeiner Kalkül	273
10.2.2 Ergebnisbestimmung einer Anfrage	275
10.3 Tupelkalkül	276
10.3.1 Definition des Tupelkalküls	276
10.3.2 Beispielanfragen im Tupelkalkül	277
10.3.3 Bezug zu SQL	278
10.4 Bereichskalkül	280
10.4.1 Sichere Anfragen	282
10.4.2 Beispielanfragen im Bereichskalkül	283
10.4.3 Eigenschaften des Bereichskalküls	285
10.4.4 Relationenalgebraoperationen im Bereichskalkül	285
10.5 Zusammenfassung	286
10.6 Vertiefende Literatur	286
10.7 Übungsaufgaben	288

11	Erweiterte Konzepte von SQL	291
11.1	Weitere Operationen und Prädikate	291
11.1.1	Skalare Ausdrücke	291
11.1.2	Prädikate	297
11.1.3	Quantoren und Mengenvergleiche	297
11.1.4	Behandlung von Nullwerten	300
11.2	Aggregation, Gruppierung und Sortierung	302
11.2.1	Aggregatfunktionen	302
11.2.2	Gruppierung	305
11.2.3	Sortierung	308
11.2.4	Erweiterte Aggregatfunktionen in SQL:2003	309
11.2.5	Top-k-Anfragen	314
11.2.6	Skyline-Anfragen	317
11.3	Äußere Verbunde	318
11.4	Künstliche Schlüssel und Sequenzgeneratoren	320
11.5	Benannte Anfragen und Rekursion	322
11.5.1	Benannte Anfragen	322
11.5.2	Rekursive Anfragen	323
11.6	Erkennung von Tupelmustern	331
11.7	SQL-Versionen	335
11.7.1	SEQUEL2	335
11.7.2	SQL-89	337
11.7.3	SQL-92	337
11.7.4	SQL:1999 und SQL:2003	339
11.7.5	SQL:2006 und SQL:2008	341
11.7.6	SQL:2011 und SQL:2016	341
11.8	Zusammenfassung	344
11.9	Vertiefende Literatur	344
11.10	Übungsaufgaben	344
12	Weitere relationale Datenbanksprachen	349
12.1	QUEL	350
12.1.1	Anfragen in QUEL	350
12.1.2	Änderungsoperationen in QUEL	353
12.2	Query by Example	353
12.2.1	Anfragen in QBE	354
12.2.2	Funktionen, Sortierung und Aggregation in QBE	358
12.2.3	Formale Semantik von QBE	359
12.2.4	Ausdrucksfähigkeit von QBE	360
12.2.5	Änderungen in QBE	361
12.2.6	Anfragen in MS Access	363
12.3	Datalog	367
12.3.1	Grundbegriffe	367

12.3.2	Semantik rekursiver Regeln	369
12.3.3	Semantik und Auswertung von Datalog	370
12.4	Zusammenfassung	371
12.5	Vertiefende Literatur	372
12.6	Übungsaufgaben	372
13	Transaktionen, Integrität & Trigger	373
13.1	Grundlagen von Transaktionen	374
13.1.1	ACID-Prinzip	374
13.1.2	Probleme im Mehrbenutzerbetrieb	376
13.1.3	Transaktionssteuerung in SQL	381
13.1.4	Transaktionen und Integritätssicherung	384
13.2	Architekturen zur Integritätssicherung	385
13.2.1	Integritätssicherung durch Anwendung	386
13.2.2	Integritätsmonitor als Komponente des DBMS	386
13.2.3	Integritätssicherung durch Einkapselung	387
13.3	Integritätsbedingungen in SQL	388
13.3.1	Inhärente Integritätsbedingungen im Relationenmodell	389
13.3.2	Weitere Bedingungen in der SQL-DDL	389
13.3.3	Die assertion -Klausel	390
13.3.4	Verwaltung und Überprüfung von Bedingungen	391
13.4	Klassifikation von Integritätsbedingungen	392
13.5	Trigger	394
13.6	Methoden der Integritätssicherung	397
13.6.1	Integritätssicherung durch Trigger	398
13.6.2	Integritätssicherung durch Anfragemodifikation	400
13.7	Zusammenfassung	401
13.8	Vertiefende Literatur	402
13.9	Übungsaufgaben	403
14	Datenbankanwendungsentwicklung	405
14.1	Grundprinzipien	406
14.2	Programmiersprachenanbindung: Call-Level-Schnittstellen . .	408
14.2.1	SQL/CLI: Der Standard	409
14.2.2	ODBC	412
14.2.3	JDBC	413
14.2.4	Weitere Call-Level-Schnittstellen	418
14.3	Eingebettetes SQL	419
14.3.1	Statische Einbettung: Embedded SQL	420
14.3.2	Dynamische Einbettung: Dynamic SQL	427
14.3.3	SQLJ: Embedded SQL für Java	428
14.4	High-Level-Schnittstellen	430
14.4.1	Persistenz von Objekten	431

14.4.2	Grundlagen der Abbildung	432
14.4.3	JPA und Hibernate	435
14.4.4	Weitere Technologien	443
14.5	Prozedurale SQL-Erweiterungen und Datenbanksprachen . . .	444
14.5.1	Vorteile von gespeicherten Prozeduren	445
14.5.2	SQL/PSM: Der Standard	446
14.5.3	PL/SQL von Oracle	453
14.5.4	Gespeicherte Prozeduren in Java	455
14.6	Anwendungsentwicklung in der Cloud	458
14.6.1	Database-as-a-Service und Cloud-Datenbanken	459
14.6.2	Klassische DBMS in der Cloud	460
14.6.3	NoSQL-Systeme in der Cloud	461
14.7	Zusammenfassung	461
14.8	Vertiefende Literatur	463
14.9	Übungsaufgaben	463
15	Sichten	465
15.1	Motivation und Begriffsbildung	466
15.1.1	Sichten und externe Schemata	467
15.1.2	Definition von Sichten	467
15.1.3	Definition von Sichten in SQL	468
15.1.4	Vorteile von Sichten	469
15.2	Probleme mit Sichten	470
15.2.1	Kriterien für Änderungen auf Sichten	471
15.2.2	Projektionssichten	472
15.2.3	Selektionssichten	474
15.2.4	Verbundsichten	475
15.2.5	Aggregationssichten	477
15.2.6	Klassifikation der Problembereiche	478
15.3	Behandlung von Sichten in SQL	479
15.3.1	Auswertung von Anfragen an Sichten in SQL	480
15.3.2	Sichtänderungen in SQL-92	481
15.3.3	Sichtänderungen ab SQL:2003	482
15.4	Theorie änderbarer Sichten	484
15.5	Instead-of-Trigger für Sichtänderungen	486
15.6	Zusammenfassung	489
15.7	Vertiefende Literatur	489
15.8	Übungsaufgaben	491
16	Zugriffskontrolle & Privacy	493
16.1	Sicherheitsmodelle	495
16.1.1	Diskrete Sicherheitsmodelle	495
16.1.2	Verbindliche Sicherheitsmodelle	495

16.2	Rechtevergabe in SQL	496
16.2.1	Benutzer und Schemata	497
16.2.2	Rechtevergabe in SQL	497
16.2.3	Zurücknahme von Rechten	499
16.2.4	Rollenmodell in SQL:2003	500
16.2.5	Auditing	500
16.2.6	Authentifikation und Autorisierung	502
16.3	Privacy-Aspekte in Datenbanken	502
16.3.1	Statistische Datenbanken	503
16.3.2	Quasi-Identifikator	505
16.3.3	k-Anonymität	506
16.3.4	l-Diversität, t-Closeness, Differential Privacy	507
16.3.5	Datensparsame Anfrageverarbeitung	508
16.4	Zusammenfassung	511
16.5	Vertiefende Literatur	512
16.6	Übungsaufgaben	512

III Erweiterte Datenbankmodelle und -techniken 515

17	Multimediale Daten	517
17.1	Multimedia-Datenbanken	518
17.1.1	Grundbegriffe	518
17.1.2	Grundlagen des Multimedia Retrieval	522
17.2	Text Retrieval	529
17.2.1	Information Retrieval auf Texten	529
17.2.2	Grundtechniken des Text Retrieval	529
17.2.3	Deskribierung	531
17.2.4	Recherche	534
17.2.5	Ranking	539
17.2.6	Information-Retrieval-Systeme	542
17.3	SQL/MM	543
17.3.1	SQL/MM Full Text	544
17.3.2	SQL/MM Still Image	546
17.3.3	Der Datentyp Video	547
17.3.4	SQL/MM Spatial	548
17.4	Zusammenfassung	548
17.5	Vertiefende Literatur	548
17.6	Übungsaufgaben	550

18 Räumliche und temporale Daten	551
18.1 Verwaltung raumbezogener Daten	551
18.1.1 Grundbegriffe	552
18.1.2 Modellierung raumbezogener Daten	554
18.1.3 Prädikate und Anfragen auf raumbezogenen Daten	559
18.1.4 Oracle Spatial	566
18.1.5 Weitere Systeme	569
18.2 Temporale Daten	570
18.2.1 Grundbegriffe	571
18.2.2 Umsetzung in SQL	572
18.2.3 Temporale Schlüssel, Fremdschlüssel und Anfragen	574
18.2.4 Weitere Entwicklung und Einordnung	576
18.3 Zusammenfassung	577
18.4 Vertiefende Literatur	578
18.5 Übungsaufgaben	579
19 Objektorientierte und objektrelationale Modelle	581
19.1 Exkurs: Objektorientierte Datenbankmodelle	581
19.2 Abbildung von Objekten auf Relationen	583
19.2.1 Typkonstruktoren	584
19.2.2 Abbildung der Spezialisierungshierarchie	585
19.3 Objektrelationale Erweiterungen	587
19.3.1 Large Objects: BLOB und CLOB	588
19.3.2 Typkonstruktoren	588
19.3.3 Identitäten, Referenzen und Pfadausdrücke	593
19.3.4 Hierarchien und Vererbung	593
19.3.5 Methoden	595
19.4 Objektrelationale Konzepte in SQL:2003	595
19.4.1 Typsystem und DDL	596
19.4.2 Anfragen	603
19.4.3 Methoden in SQL:2003	606
19.5 Zusammenfassung	607
19.6 Vertiefende Literatur	607
19.7 Übungsaufgaben	608
20 XML, XQuery und SQL/XML	609
20.1 Semistrukturierte Datenmodelle	609
20.1.1 Merkmale semistrukturierter Datenmodelle	610
20.1.2 Datenmodelle für semistrukturierte Dokumente	611
20.2 XML	614
20.2.1 Bausteine von XML	614
20.2.2 Verarbeitung von XML	617
20.3 Datendefinition in XML	620

20.3.1	Dokumenttypdefinition	620
20.3.2	XML Schema	624
20.3.3	XML-Abbildung auf relationale Schemata	629
20.4	Navigation in XML-Dokumenten: XPath	630
20.4.1	Pfadausdrücke und Lokalisierungsschritte	631
20.4.2	Selektionsprädikate und Funktionen	635
20.5	Die Anfragesprache XQuery	637
20.5.1	FLWOR-Ausdrücke	638
20.5.2	Elementkonstruktoren	641
20.5.3	Verbunde und Gruppierungen	643
20.5.4	Ausdrücke und Vergleiche	647
20.5.5	Funktionen	650
20.6	SQL/XML: XML-Erweiterungen für SQL	652
20.6.1	XML-Datentypen	652
20.6.2	XML-Konstruktion mit SQL	654
20.7	Zusammenfassung	658
20.8	Vertiefende Literatur	659
20.9	Übungsaufgaben	660
21	NoSQL-Datenbanken	661
21.1	Exkurs: Big Data	662
21.2	Motivation für NoSQL	665
21.3	KV-Stores und das Wide-Column-Datenmodell	667
21.3.1	Datenmodell: Key-Value-Stores	667
21.3.2	Datenmodell: Wide Column	668
21.4	Document Stores	671
21.4.1	Das JSON-Format	671
21.4.2	Anfragen bei dokumentenorientierter Speicherung	672
21.4.3	Datenrepräsentation und Anfragen in MongoDB	673
21.5	NewSQL – relationale Datenbanken schlagen zurück	681
21.6	Zusammenfassung	685
21.7	Vertiefende Literatur	686
21.8	Übungsaufgaben	687
22	Graph-Datenbanken	689
22.1	Graph-Datenmodelle: Grundlagen	689
22.1.1	Repräsentation von Graphstrukturen	690
22.1.2	Operationen und Anfragen auf Graphen	691
22.2	Das Resource Description Framework	692
22.2.1	Das RDF-Modell	694
22.2.2	RDF-Repräsentationen	697
22.2.3	RDF Schema und Vokabulare	701
22.3	Die RDF-Anfragesprache SPARQL	705

22.3.1	Grundlagen	706
22.3.2	SPARQL-Elemente	707
22.3.3	Aggregation und Gruppierung	714
22.3.4	Weitere Anfragetypen	714
22.3.5	Updates	715
22.4	Property-Graph-Modelle	717
22.4.1	Anfragen in Cypher	720
22.4.2	Anfragen in Gremlin	726
22.5	Zusammenfassung	732
22.6	Vertiefende Literatur	733
22.7	Übungsaufgaben	734
A	Laufendes Beispiel	735
A.1	ER-Schema der Weindatenbank	735
A.2	Relationale Repräsentation	736
A.3	Vereinfachtes Schema und Beispieldaten	737
B	Zusätzliche Kapitel	739
B.1	Historische Modelle	739
B.2	Erweiterte Entwurfsmodelle	740
B.3	Erweiterte Modelle und Anfragealgebren	740
B.4	Objektorientierte und objektrelationale Modelle inklusive SQL:2003	740
B.5	Tutorial D	741
B.6	ECA-Regeln und aktive Datenbanken	741
B.7	Grundlegende Datenbanktechniken	741
B.8	SQL/JSON	742
	Literaturverzeichnis	743
	Sachindex	763