

# Inhaltsverzeichnis

Auszug ...	xiv
... aus dem Vorwort zur ersten Auflage	xiv
... aus dem Vorwort zur zweiten Auflage	xv
... aus dem Vorwort zur dritten Auflage	xvi
Vorwort zur fünften Auflage	xix
<b>I Einführung</b>	<b>1</b>
<b>1 Motivationen, Historisches, Abgrenzungen</b>	<b>3</b>
1.1 Daten-intensive Anwendungen und deren Anforderungen . . . . .	3
1.2 Datenbanken und Informationssysteme . . . . .	6
1.3 Entwicklung von Datenbanksystemen und Datenmodellen . . . . .	7
1.3.1 Filesysteme . . . . .	8
1.3.2 Generische Sicht eines Datenbanksystems . . . . .	10
1.3.3 Netzwerk- und hierarchische Datenbanken . . . . .	12
1.3.4 Relationale Datenbanken . . . . .	15
1.3.5 Objektrelationale Datenbanken . . . . .	18
1.3.6 XML-Datenbanken . . . . .	21
1.4 Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	22
1.5 Übungen . . . . .	23
<b>2 Aufbau von Datenbanken und Datenbanksystemen</b>	<b>25</b>
2.1 Datenunabhängigkeit . . . . .	25
2.2 Die ANSI/SPARC-Schemaebenen . . . . .	26
2.3 Sprachebenen und -klassen . . . . .	29
2.4 Ein Schichtenmodell für Datenbanksysteme . . . . .	32
2.5 Bibliographische Hinweise, Ergänzungen, Querbezüge . . . . .	39
2.6 Übungen . . . . .	41

<b>II</b>	<b>Klassische Konzepte:</b>	
	<b>ER- und relationales Datenmodell. SQL</b>	<b>43</b>
<b>3</b>	<b>Datenbank-Entwurf mit dem Entity-Relationship-Modell</b>	<b>45</b>
3.1	Der Datenbank-Lebenszyklus . . . . .	46
3.2	Aspekte der Qualitätssicherung . . . . .	49
3.2.1	Qualitätskriterien für den Datenbankentwurf . . . . .	49
3.2.2	Die Grundzüge ordnungsmäßiger Modellierung . . . . .	51
3.3	Phasen des Entwurfsprozesses . . . . .	52
3.3.1	Anforderungsanalyse und -spezifikation . . . . .	54
3.3.2	Konzeptioneller Entwurf . . . . .	55
3.3.3	Logischer Entwurf . . . . .	57
3.3.4	Physischer Entwurf . . . . .	57
3.3.5	Weitere Entwurfsschritte . . . . .	58
3.4	Allgemeine Abstraktionskonzepte . . . . .	59
3.5	Das Entity-Relationship-Modell . . . . .	60
3.5.1	Entities und Attribute . . . . .	61
3.5.2	Relationships . . . . .	69
3.5.3	IS-A-Beziehungen . . . . .	75
3.5.4	Zusammenfassung . . . . .	80
3.6	Konzeptioneller Entwurf mit dem ER-Modell . . . . .	81
3.7	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	88
3.8	Übungen . . . . .	90
<b>4</b>	<b>Das relationale Datenmodell</b>	<b>95</b>
4.1	Relationen . . . . .	95
4.2	Datenabhängigkeiten. Relationenschemata . . . . .	98
4.3	Transformation eines ER-Diagramms in das Relationenmodell . . . . .	104
4.4	Datenbank-Definition mit SQL . . . . .	109
4.4.1	Datenbankschema-Definition . . . . .	110
4.4.2	Tabellen-Definition . . . . .	111
4.4.3	Integritätsbedingungen . . . . .	112
4.4.4	Weitere Definitionsaspekte . . . . .	114
4.5	Fallstudie Medienhandel . . . . .	116
4.6	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	124
4.7	Übungen . . . . .	126
<b>5</b>	<b>Grundlagen von SQL</b>	<b>127</b>
5.1	SQL von 1980 bis 2003 . . . . .	127
5.2	Datenbank-Updates . . . . .	128
5.3	Datenbank-Anfragen . . . . .	130
5.3.1	Einführung . . . . .	130
5.3.2	Zur Syntax von SELECT . . . . .	131
5.3.3	Exkurs in die Relationenalgebra . . . . .	134
5.3.4	Semantik von SELECT am Beispiel von RA-Ausdrücken . . . . .	135
5.3.5	Verbund-Operatoren in SQL . . . . .	137
5.4	Beispiele für SQL-Anfragen . . . . .	140
5.4.1	Selektionen und Projektionen . . . . .	141

5.4.2	Verbundanfragen . . . . .	142
5.4.3	Aggregatfunktionen und Unteranfragen . . . . .	144
5.4.4	Abschließende Bemerkungen . . . . .	146
5.5	Rekursive Anfragen . . . . .	148
5.6	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	149
5.7	Übungen . . . . .	149
5.8	Anhang: Beispieltabellen der Fallstudie Medienhandel . . . . .	153
<b>6</b>	<b>Integrität in relationalen Datenbanken</b>	<b>161</b>
6.1	Arten von Integritätsbedingungen . . . . .	161
6.2	Funktionale Abhängigkeiten . . . . .	165
6.2.1	Definition. Implikation . . . . .	166
6.2.2	Ableitung. Das Membership-Problem . . . . .	169
6.2.3	Anwendungen des Membership-Algorithmus. Schlüssel . . . . .	175
6.2.4	(Abhängigkeits-) Basen . . . . .	178
6.2.5	Allgemeine Implikation . . . . .	181
6.3	Inklusionsabhängigkeiten . . . . .	183
6.4	Allgemeine Assertions . . . . .	185
6.5	Aktive Integritätskontrolle über Trigger . . . . .	188
6.6	Bibliographische Hinweise, Ergänzungen, Querbezüge . . . . .	193
6.7	Übungen . . . . .	198
<b>7</b>	<b>Relationale Sprachen: Relationenalgebra, Kalküle, Datalog</b>	<b>201</b>
7.1	Die Relationenalgebra . . . . .	201
7.1.1	Relationale Operationen und ihre Rechenregeln . . . . .	202
7.1.2	Ausdrücke der Relationenalgebra . . . . .	208
7.1.3	Eigenschaften der Relationenalgebra . . . . .	210
7.1.4	Algebraische Optimierung . . . . .	212
7.2	Relationenkalküle . . . . .	214
7.2.1	Der Relationen-Tupelkalkül . . . . .	215
7.2.2	Der Relationen-Domainkalkül . . . . .	220
7.3	View-Updates . . . . .	221
7.4	Grundlagen von Datalog . . . . .	226
7.4.1	Motivationen . . . . .	226
7.4.2	Logik als Anfragesprache . . . . .	228
7.4.3	Intensionale und extensionale Datenbanken . . . . .	229
7.4.4	Rekursion . . . . .	230
7.4.5	Integritätsbedingungen . . . . .	232
7.4.6	Datalog-Programme und deren Interpretation . . . . .	232
7.4.7	Ausdruckskraft von Datalog . . . . .	235
7.5	Konzepte der Theorie von Anfragesprachen . . . . .	236
7.5.1	Konjunktive Anfragen . . . . .	236
7.5.2	Vollständigkeit von Anfragesprachen . . . . .	237
7.5.3	Ausdruckskraft und Komplexität von Anfragesprachen . . . . .	239
7.6	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	243
7.7	Übungen . . . . .	246

<b>8</b>	<b>Qualitätsorientierter Datenbankentwurf</b>	<b>251</b>
8.1	Universalrelationen und Update-Anomalien . . . . .	251
8.2	Zweite, dritte und Boyce-Codd-Normalform . . . . .	253
8.3	Dekomposition und Synthese . . . . .	259
8.4	Mehrwertige und Verbund-Abhängigkeiten . . . . .	269
8.5	Vierte und fünfte Normalform . . . . .	273
8.6	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	275
8.7	Übungen . . . . .	277
<b>III</b>	<b>Moderne Konzepte:</b>	
	<b>Objekt-Basierung und XML-Dokumente</b>	<b>279</b>
<b>9</b>	<b>Objekt-relationale Datenbanken</b>	<b>281</b>
9.1	Evolution von Datenmodellen . . . . .	282
9.1.1	Grenzen relationaler Datenmodelle . . . . .	282
9.1.2	Höhere Datenmodelle . . . . .	283
9.1.3	Daten-, Funktions- und Prozessentwurf . . . . .	285
9.2	Objekt-Orientierung . . . . .	288
9.2.1	Das Paradigma . . . . .	288
9.2.2	Objekt-Orientierung und Datenbanken . . . . .	292
9.2.3	Unterscheidung von Typen und Klassen . . . . .	295
9.2.4	Objekt-Orientierung im relationalen Datenmodell . . . . .	299
9.3	Datenbankmodellierung mit der UML . . . . .	301
9.3.1	Klassen . . . . .	303
9.3.2	Assoziationen . . . . .	303
9.3.3	Aggregationen und Kompositionen . . . . .	305
9.3.4	Generalisierung und Spezialisierung . . . . .	305
9.3.5	Weitere Modellierungsmöglichkeiten . . . . .	306
9.3.6	Fallstudie Medienhandel . . . . .	307
9.4	Objekt-relationale Definitionskonzepte in SQL . . . . .	310
9.4.1	Basisdatentypen und Typkonstruktoren . . . . .	310
9.4.2	Benutzerdefinierte Typen und Typhierarchien . . . . .	312
9.4.3	Tabellen . . . . .	315
9.5	Fallstudie Medienhandel . . . . .	317
9.6	SQL-Anfragen an objekt-relationale Datenbanken . . . . .	321
9.7	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	326
9.8	Übungen . . . . .	327
9.9	Anhang: Beispieltabellen der Fallstudie Medienhandel . . . . .	330
<b>10</b>	<b>Einführung in XML</b>	<b>337</b>
10.1	Elemente, Tags und Attribute . . . . .	338
10.2	Validierung von XML-Dokumenten: DTDs und XML Schema . . . . .	345
10.3	Normalisierungsaspekte . . . . .	349
10.4	Verarbeitung von XML-Dokumenten . . . . .	351
10.4.1	XPath . . . . .	352
10.4.2	XSLT . . . . .	355
10.5	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	363

10.6	Übungen . . . . .	364
10.7	Anhang: XML-Spezifikationen für die Fallstudie Medienhandel . . . . .	365
10.7.1	Document Type Definition . . . . .	365
10.7.2	XML Schema Definition . . . . .	367
<b>11</b>	<b>SQL und Programmiersprachen</b>	<b>375</b>
11.1	Web-Anbindung von Datenbanken . . . . .	376
11.1.1	Grundlegendes . . . . .	376
11.1.2	Scripting . . . . .	378
11.1.3	MySQL-Anbindung per PHP . . . . .	380
11.2	Eingebettetes SQL . . . . .	386
11.2.1	Arten der Einbettung . . . . .	386
11.2.2	JDBC und SQLJ . . . . .	388
11.3	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	394
11.4	Übungen . . . . .	394
<b>12</b>	<b>XQuery und SQL/XML</b>	<b>397</b>
12.1	XQuery . . . . .	397
12.1.1	Ausdrücke . . . . .	398
12.1.2	FLWOR-Ausdrücke . . . . .	400
12.1.3	Funktionen . . . . .	407
12.1.4	Update-Operationen . . . . .	408
12.2	SQL/XML . . . . .	409
12.2.1	XML-Datentypen . . . . .	411
12.2.2	Publikations-Funktionen . . . . .	413
12.2.3	XQuery-Funktionen . . . . .	416
12.3	SQL/XML-Unterstützung in IBM DB2 V9 . . . . .	418
12.3.1	Speicherung von XML-Dateien . . . . .	420
12.3.2	Anfragen mit SQL/XML . . . . .	422
12.3.3	Anfragen mit XQuery . . . . .	424
12.3.4	Generierung von XML- oder HTML-Strukturen . . . . .	424
12.4	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	425
12.5	Übungen . . . . .	426
<b>IV</b>	<b>Datenintegration und ihre Anwendungen</b>	<b>435</b>
<b>13</b>	<b>Architekturkonzepte für Datenbanksysteme</b>	<b>437</b>
13.1	Das Client/Server-Konzept . . . . .	438
13.1.1	Anfrageserver . . . . .	440
13.1.2	Objekt- und Seitenserver . . . . .	442
13.2	Verteilte Datenbanksysteme . . . . .	444
13.2.1	Vor- und Nachteile . . . . .	444
13.2.2	Klassifikationen . . . . .	446
13.2.3	Homogene Verteilung . . . . .	448
13.2.4	Heterogene Verteilung und Föderation . . . . .	451
13.3	Parallele Datenbanksysteme . . . . .	454
13.4	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	458

13.5	Übungen . . . . .	459
<b>14</b>	<b>Datenintegration</b>	<b>461</b>
14.1	Einführung. Architekturkonzepte . . . . .	461
14.2	Übersetzer, Integratoren und Koordinatoren . . . . .	463
14.3	Integration mittels logischer Sichten . . . . .	467
14.4	Verteilte Objekte und Web Services . . . . .	473
14.5	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	476
14.6	Übungen . . . . .	478
<b>15</b>	<b>Data Warehouses (Datenlager) und OLAP</b>	<b>479</b>
15.1	Grundlagen . . . . .	479
15.1.1	Anwendungen und Architektur von Datenlagern . . . . .	481
15.1.2	Der ETL-Prozess . . . . .	484
15.1.3	Daten-Bereinigung zur Erzielung von Datenqualität . . . . .	485
15.2	Mehrdimensionale Datenmodelle . . . . .	486
15.2.1	Fakten, Maße und Dimensionen . . . . .	486
15.2.2	Sternschemata und Varianten . . . . .	488
15.2.3	Effiziente Speicherung von Faktentabellen mittels Bitmaps . . . . .	490
15.3	Qualitätsorientierter Schemaentwurf für Datenlager . . . . .	493
15.3.1	Der Entwurfsprozess . . . . .	494
15.3.2	Qualitätskriterien . . . . .	497
15.3.3	Summierbarkeit und Normalformen . . . . .	497
15.3.4	Selbstwartbarkeit . . . . .	499
15.4	Grundlagen des OLAP . . . . .	502
15.4.1	Datenwürfel und OLAP-Operatoren . . . . .	503
15.4.2	Von Vereinigungs- zu Würfel-Anfragen . . . . .	506
15.4.3	SQL Roll-Up . . . . .	510
15.4.4	SQL Cube . . . . .	513
15.4.5	SQL Grouping Sets . . . . .	516
15.5	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	517
15.6	Übungen . . . . .	518
<b>16</b>	<b>Grundlagen des Data Mining</b>	<b>523</b>
16.1	Einführung . . . . .	524
16.2	Klassifikation . . . . .	527
16.3	Cluster-Bildung . . . . .	529
16.4	Assoziationsanalyse . . . . .	532
16.4.1	Häufige Mengen und Assoziationsregeln . . . . .	532
16.4.2	Der Apriori-Algorithmus . . . . .	535
16.4.3	Verbesserungspotenziale beim Apriori-Algorithmus . . . . .	537
16.4.4	Alternativen zum Apriori-Algorithmus . . . . .	539
16.4.5	Interessantheitsmaße . . . . .	543
16.5	Sequenzanalyse . . . . .	544
16.6	Web-Mining . . . . .	548
16.6.1	Web-Struktur-Mining . . . . .	548
16.6.2	Web-Inhalts-Mining . . . . .	551
16.6.3	Web-Log-Mining . . . . .	551

16.7	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	552
16.8	Übungen . . . . .	554
<b>V</b>	<b>Datenbanksystemtechnik</b>	<b>555</b>
<b>17</b>	<b>Interne Datenbank- und Speicherorganisation</b>	<b>557</b>
17.1	Plattenspeicher . . . . .	557
17.1.1	Blöcke und Blockzugriffe . . . . .	559
17.1.2	RAID-Architekturen . . . . .	560
17.2	Pufferverwaltung . . . . .	563
17.3	Files . . . . .	564
17.3.1	Sequentielle Files . . . . .	565
17.3.2	Effizienter Filezugriff durch Indexierung . . . . .	567
17.4	Spezielle Indexstrukturen . . . . .	568
17.4.1	ISAM . . . . .	568
17.4.2	Baumstrukturen für eindimensionale Punktdaten . . . . .	569
17.4.3	Baumstrukturen für mehrdimensionale Punktdaten . . . . .	575
17.4.4	Hash-Organisationsformen . . . . .	581
17.5	Beispiel: Speicherorganisation bei DB2 . . . . .	584
17.6	Speicherung und Indexierung von XML-Dokumenten . . . . .	587
17.6.1	Speicherungsoptionen . . . . .	587
17.6.2	Indexierung . . . . .	588
17.7	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	593
17.8	Übungen . . . . .	595
<b>18</b>	<b>Verarbeitung und Optimierung von Anfragen</b>	<b>597</b>
18.1	Anfrageverarbeitung im Überblick . . . . .	598
18.2	Anfrage-Optimierung . . . . .	600
18.2.1	Ziele und Ansätze . . . . .	600
18.2.2	High-Level-Optimierung . . . . .	601
18.2.3	Low-Level-Optimierung . . . . .	606
18.3	Implementierungstechniken für den Verbund . . . . .	607
18.3.1	Nested-Loop-Join . . . . .	608
18.3.2	Sort-Merge-Join . . . . .	608
18.3.3	Hash-Join . . . . .	609
18.4	Spezielle QEP-Parameter . . . . .	612
18.5	Anfrage-Prozessoren . . . . .	615
18.6	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	617
18.7	Übungen . . . . .	618
<b>19</b>	<b>Physischer Datenbankentwurf und Tuning</b>	<b>621</b>
19.1	Grundlagen des physischen Datenbankentwurfs . . . . .	621
19.2	Fragmentierung und Replikation bei Datenverteilung . . . . .	624
19.3	Datenbank-Tuning . . . . .	626
19.3.1	Grundlegende Prinzipien . . . . .	627
19.3.2	Tuning von Indexen . . . . .	629
19.3.3	Tuning in relationalen Systemen . . . . .	629

19.4	Datenbank-Benchmarks . . . . .	630
19.5	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	633
19.6	Übungen . . . . .	634
<b>20</b>	<b>Transaktionen und Serialisierbarkeit</b>	<b>637</b>
20.1	Das Transaktionskonzept . . . . .	638
20.2	Beispiele für Synchronisationsprobleme . . . . .	641
20.3	Das ACID-Prinzip . . . . .	643
20.4	Das Read-Write-Modell für Transaktionen . . . . .	644
20.5	Serialisierbarkeit von Schedules . . . . .	647
20.5.1	Schedules . . . . .	647
20.5.2	View-Serialisierbarkeit . . . . .	651
20.5.3	Konflikt-Serialisierbarkeit . . . . .	652
20.5.4	Commit-Serialisierbarkeit . . . . .	657
20.6	Fehlersicherheit von Schedules . . . . .	659
20.6.1	Motivation . . . . .	659
20.6.2	Rucksetzbarkeit . . . . .	660
20.6.3	Vermeidung kaskadierender Aborts . . . . .	661
20.6.4	Striktheit . . . . .	662
20.7	Korrektheit von Schedules . . . . .	663
20.8	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	663
20.9	Übungen . . . . .	664
<b>21</b>	<b>Concurrency Control</b>	<b>667</b>
21.1	Überlegungen zum Scheduler-Entwurf . . . . .	667
21.2	Sperrende Scheduler . . . . .	670
21.2.1	Einführung . . . . .	670
21.2.2	Das 2-Phasen-Sperrprotokoll . . . . .	672
21.2.3	Varianten des 2-Phasen-Sperrprotokolls . . . . .	677
21.2.4	Das MGL-Protokoll . . . . .	679
21.2.5	Das TL-Protokoll . . . . .	682
21.2.6	Tuning in Gegenwart sperrender Scheduler . . . . .	684
21.3	Nicht sperrendes Timestamp-Ordering . . . . .	689
21.4	Concurrency Control auf höherer Abstraktionsebene . . . . .	690
21.5	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	694
21.6	Übungen . . . . .	695
<b>22</b>	<b>Grundlagen der Crash Recovery</b>	<b>697</b>
22.1	Einführung . . . . .	697
22.2	Organisation eines Data-Managers . . . . .	699
22.3	Der Recovery-Manager . . . . .	701
22.4	Ein Undo/Redo-Protokoll . . . . .	705
22.5	Alternativen zum Undo/Redo-Protokoll . . . . .	707
22.6	Recovery-Tuning . . . . .	708
22.7	Bibliographische Hinweise . . . . .	709
22.8	Übungen . . . . .	709



---

<b>23</b>	<b>Verteilte Transaktionsverarbeitung</b>	<b>711</b>
23.1	Homogene Verteilung . . . . .	711
23.1.1	Verteilte Transaktionen und Schedules . . . . .	711
23.1.2	Verteiltes Concurrency Control . . . . .	715
23.1.3	Verteilte Recovery-Protokolle . . . . .	720
23.1.4	Transaktionen auf replikativen Datenbanken . . . . .	728
23.2	Heterogene Verteilung. System-Föderationen . . . . .	733
23.2.1	Einführung . . . . .	734
23.2.2	Ein MDBS-Modell . . . . .	734
23.2.3	Transaktionen und Schedules in einem MDBS . . . . .	736
23.2.4	Globale Serialisierbarkeit . . . . .	739
23.2.5	Gewährleistung globaler Serialisierbarkeit . . . . .	742
23.3	Bibliographische Hinweise . . . . .	745
23.4	Übungen . . . . .	746
<b>VI</b>	<b>Neuere Entwicklungen</b>	<b>749</b>
<b>24</b>	<b>Ausblicke</b>	<b>751</b>
24.1	Temporale Datenbanken . . . . .	751
24.2	Probabilistische Datenbanken . . . . .	755
24.3	Räumliche Daten und GIS . . . . .	757
24.4	Datenströme (Data Streams) . . . . .	760
24.5	Data Provenance . . . . .	762
24.6	Column Stores . . . . .	764
24.7	Bibliographische Hinweise und Ergänzungen . . . . .	764
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>767</b>
	<b>Index</b>	<b>808</b>