

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort ..... v

Inhaltsverzeichnis ..... ix

## Teil I:

**Architektur von Datenbanksystemen ..... 1**

**1 Architektur von Datenbanksystemen ..... 3**

1.1 Anforderungen an Datenbanksysteme ..... 3

1.1.1 Entwicklung von Anwendungssystemen ..... 3

1.1.2 Entwurfsziele ..... 4

1.2 DB-Schemaarchitektur nach ANSI/SPARC ..... 8

1.2.1 Beschreibungsrahmen für DBS-Schnittstellen ..... 8

1.2.2 Die wichtigsten DBS-Schnittstellen ..... 10

1.3 Schichtenmodell-Architektur ..... 11

1.3.1 Anforderungen an den Systementwurf ..... 11

1.3.2 Architekturprinzipien ..... 12

1.3.3 Ein einfaches Schichtenmodell ..... 14

1.3.4 Integration von Metadaten- und Transaktionsverwaltung ..... 16

1.3.5 Schichtenmodell eines datenunabhängigen DBS ..... 18

1.3.6 Optimierungsüberlegungen ..... 21

1.4 Erweiterungen der DBS-Architektur ..... 22

1.4.1 DBS-Kern-Architektur ..... 22

1.4.2 Client/Server-Architekturen ..... 23

1.4.3 Verteilte und parallele DBS-Architekturen ..... 26

1.4.4 Architekturen von Transaktionssystemen ..... 29

1.4.5 Komponentenbasierte Systemarchitekturen ..... 32

1.5 Themenüberblick ..... 35

<b>Teil II: Speichersystem .....</b>	<b>39</b>
<b>2 Konzepte und Komponenten der E/A-Architektur .....</b>	<b>41</b>
2.1 Die großen Einflußfaktoren .....	42
2.2 Nutzung von Speicherhierarchien.....	44
2.2.1 Aufbau einer Speicherhierarchie .....	45
2.2.2 Arbeitsweise einer Speicherhierarchie .....	47
2.3 Halbleiterspeicher .....	49
2.3.1 Hauptspeicher .....	49
2.3.2 Cache-Speicher.....	50
2.3.3 Erweiterter Hauptspeicher .....	51
2.3.4 Solid State Disks.....	51
2.4 Aufbau und Arbeitsweise von Magnetplatten .....	52
2.4.1 Aufzeichnungskomponente .....	53
2.4.2 Positionierungskomponente .....	54
2.4.3 Sequentieller vs. wahlfreier Zugriff .....	57
2.4.4 Platten-Controller .....	58
2.5 Organisationsformen für Magnetplatten.....	59
2.5.1 Disk-Farm.....	59
2.5.2 Disk-Array .....	61
2.6 Maßnahmen zur E/A-Optimierung .....	63
2.7 Überblick über die weiteren Speichermedien.....	67
2.7.1 Magnetbänder .....	67
2.7.2 Optische und magneto-optische Speicher .....	68
<b>3 Dateien und Blöcke .....</b>	<b>71</b>
3.1 Aufgaben der Externspeicherverwaltung .....	72
3.2 Realisierung eines Dateisystems.....	73
3.2.1 Dateikonzept.....	73
3.2.2 Dateisystem .....	75
3.3 Blockzuordnung bei Magnetplatten.....	76
3.3.1 Statische Dateizuordnung .....	76
3.3.2 Dynamische Extent-Zuordnung.....	77
3.3.3 Dynamische Blockzuordnung .....	78
3.3.4 Versetzungsverfahren .....	79
3.3.5 Log-strukturierte Dateien .....	80

3.4	Kontrolle der E/A-Operationen.....	82
3.4.1	Fehlerbehandlung bei Magnetplatten.....	82
3.4.2	Erhöhung der Fehlertoleranz.....	83
3.4.3	Erkennung von fehlerhaften Blöcken .....	84
3.4.4	Schutz des Datentransfers .....	85
3.5	DBS-Unterstützung für Dateisysteme .....	86
<b>4</b>	<b>Segmente und Seiten</b> .....	<b>91</b>
4.1	Aufgaben der Abbildungsschicht .....	91
4.2	Segmente mit sichtbaren Seitengrenzen.....	92
4.3	Verfahren der Seitenabbildung .....	94
4.3.1	Direkte Seitenadressierung .....	95
4.3.2	Indirekte Seitenadressierung .....	96
4.4	Einbringstrategien für Änderungen.....	97
4.4.1	Schattenspeicherkonzept.....	98
4.4.2	Zusatzdatei-Konzept .....	103
<b>5</b>	<b>DB-Pufferverwaltung</b> .....	<b>107</b>
5.1	Aufgaben und Charakteristika.....	107
5.1.1	Unterschiede zur BS-Speicherverwaltung .....	107
5.1.2	Allgemeine Arbeitsweise .....	109
5.1.3	Eigenschaften von Seitenreferenzfolgen.....	111
5.2	Auffinden einer Seite .....	114
5.3	Speicherzuteilung im DB-Puffer.....	116
5.3.1	Klassifikation von Speicherzuteilungsstrategien .....	116
5.3.2	Bestimmung von dynamischen Partitionen .....	119
5.4	Ersetzungsverfahren für Seiten .....	121
5.4.1	Prefetching und Demand-Fetching .....	121
5.4.2	Klassifikation und Bewertung.....	124
5.4.3	Behandlung geänderter Seiten .....	129
5.5	Nutzung von Kontextwissen .....	130
5.5.1	Offene Ersetzungsprobleme.....	130
5.5.2	Modellierung des Pufferbedarfs.....	132
5.5.3	Prioritätsgesteuerte Seitenersetzung .....	134
5.6	Seiten variabler Größe.....	134

5.7	Betriebsprobleme .....	137
5.7.1	Virtuelle Betriebssystemumgebung.....	137
5.7.2	Maßnahmen zur Lastkontrolle.....	138
<b>Teil III: Zugriffssystem .....</b>		<b>141</b>
<b>6</b>	<b>Speicherungsstrukturen .....</b>	<b>143</b>
6.1	Freispeicherverwaltung.....	144
6.2	Adressierung von Sätzen .....	145
6.2.1	Externspeicherbasierte Adressierung .....	145
6.2.2	Hauptspeicherbasierte Adressierung – Swizzling .....	149
6.3	Abbildung von Sätzen.....	156
6.3.1	Speicherung von linearen Sätzen.....	156
6.3.2	Techniken der Satzdarstellung .....	158
6.3.3	Darstellung komplexer Objekte.....	159
6.3.4	Unterstützung von Cluster-Bildung.....	164
6.4	Realisierung langer Felder.....	169
6.4.1	Lange Felder als B*-Baum-Varianten.....	171
6.4.2	Lange Felder als sequentielle Strukturen .....	171
6.4.3	Lange Felder mit Segmenten variabler Größe.....	174
<b>7</b>	<b>Eindimensionale Zugriffspfade .....</b>	<b>177</b>
7.1	Allgemeine Entwurfsüberlegungen .....	178
7.2	Sequentielle Zugriffspfade.....	181
7.2.1	Sequentielle Listen .....	181
7.2.2	Gekettete Listen.....	181
7.3	Baumstrukturierte Zugriffspfade .....	181
7.3.1	Binäre Suchbäume.....	182
7.3.2	Mehrwegbäume .....	182
7.3.3	Digitalbäume .....	191
7.4	Statische Hash-Verfahren .....	191
7.4.1	Kollisionsfreie Satzzuordnung .....	192
7.4.2	Verfahren mit Kollisionsbehandlung.....	192
7.4.3	Überlaufbehandlung .....	194
7.4.4	Externes Hashing mit Separatoren .....	194

7.5	Dynamische Hash-Verfahren .....	198
7.5.1	Verfahren mit Indexnutzung .....	200
7.5.2	Verfahren ohne Indexnutzung .....	204
7.6	Sekundäre Zugriffspfade .....	207
7.6.1	Verknüpfungsstrukturen für Satzmengen .....	208
7.6.2	Implementierung der Invertierung .....	210
7.6.3	Erweiterungen der Invertierungsverfahren .....	219
7.7	Zusammenfassende Bewertung .....	223
<b>8</b>	<b>Typübergreifende Zugriffspfade .....</b>	<b>227</b>
8.1	Hierarchische Zugriffspfade .....	228
8.1.1	Spezielle Charakteristika .....	228
8.1.2	Verknüpfungsstrukturen für zugehörige Sätze .....	230
8.2	Verallgemeinerte Zugriffspfadstruktur .....	234
8.2.1	Realisierungsidee .....	234
8.2.2	Vorteile der Verallgemeinerung .....	236
8.3	Verbund- und Pfadindexe .....	238
8.3.1	Verbundindex .....	238
8.3.2	Mehrverbundindex .....	239
8.3.3	Pfadindex .....	241
8.4	Zusammenfassender Vergleich .....	242
<b>9</b>	<b>Mehrdimensionale Zugriffspfade .....</b>	<b>243</b>
9.1	Allgemeine Anforderungen und Probleme .....	244
9.1.1	Klassifikation der Anfragetypen .....	245
9.1.2	Anforderungen an die Objektabbildung .....	247
9.2	Mehrattributzugriff über eindimensionale Zugriffspfade .....	249
9.2.1	Separate Attribute als Schlüssel .....	250
9.2.2	Konkatenierte Attribute als Schlüssel .....	251
9.3	Organisation der Datensätze .....	254
9.3.1	Quadranten-Baum .....	254
9.3.2	Mehrschlüssel-Hashing .....	255
9.3.3	Mehrdimensionaler binärer Suchbaum (k-d-Baum) .....	257
9.4	Organisation des umgebenden Datenraums – Divide and Conquer .....	258
9.4.1	Lineare Einbettungen .....	258
9.4.2	Heterogener k-d-Baum .....	259

9.4.3	k-d-B-Baum.....	261
9.4.4	hB-Baum.....	263
9.5	Organisation des umgebenden Datenraums – Dimensionsverfeinerung .....	265
9.5.1	Prinzip der Dimensionsverfeinerung.....	265
9.5.2	Grid-File .....	267
9.5.3	Interpolationsbasiertes Grid-File.....	275
9.5.4	Mehrdimensionales dynamisches Hashing.....	278
9.6	Zugriffspfade für räumlich ausgedehnte Objekte .....	280
9.6.1	Abbildungsprinzipien .....	281
9.6.2	R-Baum.....	282
9.6.3	R+-Raum .....	285
9.6.4	Mehrschichtenstrukturen .....	286
9.7	Verallgemeinerte Suchbäume für DBS .....	286
9.7.1	Struktur und Eigenschaften des GiST .....	287
9.7.2	Die wesentlichen Parameter .....	289
9.7.3	Spezialisierung durch Schlüsselmethoden .....	290
9.7.4	Weitergehende Forschungsaspekte .....	291
9.8	Zusammenfassung und Vergleich.....	292

**Teil IV: Datensystem .....** 297

**10 Satzorientierte DB-Schnittstelle .....** 299

10.1	Objekte und Operatoren.....	301
10.2	Aufgaben und Funktionen des DB-Katalogs.....	303
10.3	Satzorientierte DB-Verarbeitung .....	305
10.3.1	Abbildung von externen Sätzen.....	305
10.3.2	Kontextfreie Operationen .....	306
10.3.3	Navigationskonzepte .....	307
10.3.4	Implementierung von Scans .....	308
10.3.5	Verarbeitung großer Objekte.....	317
10.4	Einsatz eines Sortieroperators.....	319
10.4.1	Unterstützung komplexer DB-Operationen.....	319
10.4.2	Entwurfsüberlegungen für einen Sortieroperator .....	320
10.4.3	Optionen des Sortieroperators .....	322
10.5	Scheduling und Lastkontrolle von Transaktionen .....	324

<b>11</b>	<b>Implementierung von relationalen Operatoren</b>	327
11.1	Operatoren auf einer Relation	328
11.1.1	Planoperatoren zur Modifikation	328
11.1.2	Planoperatoren zur Selektion	329
11.2	Operatoren auf mehreren Relationen	331
11.3	Implementierung der Verbundoperation	333
11.3.1	Nested-Loop-Verbund	334
11.3.2	Sort-Merge-Verbund	335
11.3.3	Hash-Verbund	336
11.3.4	Semi-Verbund und Bitfilterung	340
11.3.5	Nutzung von typübergreifenden Zugriffspfaden	341
11.3.6	Vergleich der Verbundmethoden	342
11.4	Weitere binäre Operatoren	343
<b>12</b>	<b>Mengenorientierte DB-Schnittstelle</b>	<b>345</b>
12.1	Übersetzung von DB-Anweisungen	346
12.1.1	Allgemeine Aufgaben	346
12.1.2	Ausdrucksmächtigkeit mengenorientierter DB-Sprachen	349
12.2	Anbindung an Anwendungsprogramme	352
12.3	Anbindung mengenorientierter DB-Schnittstellen	357
12.4	Interndarstellung einer Anfrage	359
12.5	Anfrageoptimierung	362
12.5.1	Standardisierung einer Anfrage	363
12.5.2	Vereinfachung einer Anfrage	364
12.5.3	Anfragerestrukturierung	365
12.5.4	Anfragetransformation	367
12.5.5	Kostenmodelle und Kostenberechnung	370
12.6	Code-Generierung	379
12.7	Ausführung von DB-Anweisungen	385
12.7.1	Ausführung der vorübersetzten Zugriffsmodule	385
12.7.2	Behandlung von Ad-hoc-Anfragen	386

<b>Teil V: Transaktionsverwaltung</b> .....	389
<b>13 Das Transaktionsparadigma</b> .....	391
13.1 Die ACID-Eigenschaften.....	392
13.2 Benutzerschnittstelle.....	395
13.3 Integritätskontrolle.....	397
13.3.1 Arten von Integritätsbedingungen .....	398
13.3.2 Trigger-Konzept und ECA-Regeln.....	400
13.3.3 Implementierungsaspekte .....	403
<b>14 Synchronisation</b> .....	407
14.1 Anomalien im Mehrbenutzerbetrieb.....	408
14.1.1 Verlorengegangene Änderungen (Lost Update).....	408
14.1.2 Zugriff auf schmutzige Daten (Dirty Read, Dirty Write).....	408
14.1.3 Nicht-wiederholbares Lesen (Non-repeatable Read) .....	410
14.1.4 Phantom-Problem .....	411
14.2 Das Korrektheitskriterium der Serialisierbarkeit.....	412
14.3 Überblick zu Synchronisationsverfahren.....	415
14.4 Grundlagen von Sperrverfahren .....	417
14.4.1 Zwei-Phasen-Sperrverfahren .....	417
14.4.2 RX-Sperrverfahren .....	419
14.4.3 Behandlung von Sperrkonversionen.....	420
14.4.4 Logische vs. physische Sperren.....	421
14.5 Konsistenzstufen.....	423
14.5.1 Konsistenzstufen nach [GRAY76] .....	423
14.5.2 Cursor Stability.....	424
14.5.3 Konsistenzstufen in SQL92.....	425
14.6 Hierarchische Sperrverfahren .....	427
14.6.1 Anwartschaftssperren .....	428
14.6.2 Hierarchische Sperren in objektorientierten DBS .....	430
14.7 Deadlock-Behandlung .....	432
14.7.1 Deadlock-Verhütung .....	432
14.7.2 Deadlock-Vermeidung .....	433
14.7.3 Timeout-Verfahren.....	436
14.7.4 Deadlock-Erkennung.....	436
14.7.5 Abschließende Bemerkungen.....	438



14.8	Weitere Verfahrensklassen und Optimierungen .....	439
14.8.1	Optimistische Synchronisation .....	439
14.8.2	Zeitmarkenverfahren.....	444
14.8.3	Mehrversionen-Synchronisation .....	445
14.8.4	Synchronisation auf Hot-Spot-Objekten.....	448
14.9	Leistungsbewertung von Synchronisationsverfahren .....	451
14.9.1	Einflußfaktoren .....	451
14.9.2	Lastkontrolle .....	453
<b>15</b>	<b>Logging und Recovery .....</b>	<b>455</b>
15.1	Fehler- und Recovery-Arten .....	455
15.1.1	Transaktionsfehler.....	456
15.1.2	Systemfehler .....	457
15.1.3	Geräte- bzw. Externspeicherfehler.....	458
15.1.4	Katastrophen-Recovery.....	458
15.1.5	Grenzen der Recovery.....	458
15.2	Logging-Techniken .....	459
15.2.1	Physisches Logging .....	460
15.2.2	Logisches Logging.....	462
15.2.3	Physiologisches Logging .....	463
15.3	Abhängigkeiten zu anderen Systemkomponenten .....	464
15.3.1	Einfluß der Einbringstrategie .....	464
15.3.2	Einfluß des Sperrgranulats .....	466
15.3.3	Ausschreiben geänderter Seiten.....	466
15.3.4	WAL-Prinzip und Commit-Regel.....	468
15.3.5	Commit-Verarbeitung .....	469
15.4	Sicherungspunkte .....	471
15.4.1	Direkte Sicherungspunkte.....	472
15.4.2	Fuzzy Checkpoints.....	475
15.4.3	Klassifikation von DB-Recovery-Verfahren .....	477
15.5	Aufbau der Log-Datei .....	478
15.5.1	Log-Satzarten.....	478
15.5.2	Begrenzung des Log-Umfangs .....	478
15.6	Crash-Recovery.....	480
15.6.1	Überblick zur Restart-Prozedur .....	480
15.6.2	Redo-Recovery .....	482

15.6.3	Compensation Log Records (CLR) .....	484
15.6.4	Crash-Recovery beim Schattenspeicherkonzept .....	489
15.7	Geräte-Recovery .....	490
15.7.1	Erstellung vollständiger Archivkopien .....	491
15.7.2	Inkrementelles Dumping .....	492
15.7.3	Alternativen zur Geräte-Recovery .....	493
15.8	Verteilte Commit-Behandlung .....	494
<b>16</b>	<b>Erweiterungen des Transaktionskonzepts</b> .....	<b>499</b>
16.1	Beschränkungen des ACID-Konzepts .....	500
16.2	Transaktionen mit Rücksetzpunkten .....	502
16.3	Geschachtelte Transaktionen .....	503
16.3.1	Freiheitsgrade im Modell geschachtelter Transaktionen .....	505
16.3.2	Regeln der Zusammenarbeit in geschachtelten Transaktionen .....	507
16.3.3	Synchronisation geschachtelter Transaktionen .....	507
16.4	Offen geschachtelte Transaktionen .....	512
16.4.1	Synchronisationsprobleme .....	512
16.4.2	Kompensationsbasierte Recovery .....	513
16.5	Mehrebenen-Transaktionen .....	514
16.6	Langlebige Aktivitäten .....	517
16.6.1	Das Konzept der Sagas .....	518
16.6.2	ConTracts .....	520
16.7	Datenbankverarbeitung in Entwurfsumgebungen .....	522
<b>Teil VI:</b>	<b>Ausblick</b> .....	<b>527</b>
<b>17</b>	<b>Ausblick</b> .....	<b>529</b>
17.1	Universal Storage .....	530
17.1.1	SQL3-Standard .....	531
17.1.2	Java und SQLJ .....	532
17.1.3	Dynamische Erweiterbarkeit .....	533
17.1.4	Erweiterungsinfrastruktur .....	534
17.1.5	Universal Storage – alleiniges DBS-Entwicklungsziel? .....	535

17.2	Universal Access .....	536
17.2.1	Zugriff auf heterogene relationale Daten .....	537
17.2.2	Zugriffsvereinfachung bei heterogenen Datenquellen .....	538
17.2.3	DB-Techniken für das WWW .....	539
17.2.4	Nutzung von Persistenten Warteschlangen .....	540
17.3	Neue Architektur- und Verarbeitungskonzepte .....	542
17.3.1	Restrukturierung des DBS-Kerns .....	542
17.3.2	Client-seitige DBS-Unterstützung .....	543
17.4	Transaktionsverwaltung .....	545
<b>Literatur</b> .....		547
<b>Index</b> .....		569

