

Inhaltsverzeichnis

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

- Teil II: Speichersystem**
- 2 Konzepte und Komponenten der E/A-Architektur**
- 2.1 Die großen Einflußfaktoren
- 2.2 Nutzung von Speicherhierarchien.....
 - 2.2.1 Aufbau einer Speicherhierarchie
 - 2.2.2 Arbeitsweise einer Speicherhierarchie
- 2.3 Halbleiterspeicher.....
 - 2.3.1 Hauptspeicher
 - 2.3.2 Cache-Speicher.....
 - 2.3.3 Erweiterter Hauptspeicher.....
 - 2.3.4 Solid State Disks.....
- 2.4 Aufbau und Arbeitsweise von Magnetplatten
- 2.4.1 Aufzeichnungskomponente
- 2.4.2 Positionierungskomponente
- 2.4.3 Sequentieller vs. wahlfreier Zugriff
- 2.4.4 Platten-Controller
- 2.5 Organisationsformen für Magnetplatten.....
 - 2.5.1 Disk-Farm.....
 - 2.5.2 Disk-Array
- 2.6 Maßnahmen zur E/A-Optimierung.....
- 2.7 Überblick über die weiteren Speichermedien.....
 - 2.7.1 Magnetbänder.....
 - 2.7.2 Optische und magneto-optische Speicher
- 3 Dateien und Blöcke**
- 3.1 Aufgaben der Externspeicherverwaltung
- 3.2 Realisierung eines Dateisystems.....
 - 3.2.1 Dateikonzept.....
 - 3.2.2 Dateisystem
- 3.3 Blockzuordnung bei Magnetplatten.....
 - 3.3.1 Statische Dateizuordnung.....
 - 3.3.2 Dynamische Extent-Zuordnung.....
 - 3.3.3 Dynamische Blockzuordnung
 - 3.3.4 Versetzungsverfahren.....
 - 3.3.5 Log-strukturierte Dateien
- 3.4 Kontrolle der E/A-Operationen

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
4	Segmente und Seiten	91
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
5	DB-Pufferverwaltung	107
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

Teil III: Zugriffssystem	147
6 Speicherungsstrukturen	147
6.1 Freispeicherverwaltung.....	147
6.2 Adressierung von Sätzen	147
6.2.1 Externspeicherbasierte Adressierung	147
6.2.2 Hauptspeicherbasierte Adressierung – Swizzling	147
6.3 Abbildung von Sätzen.....	155
6.3.1 Speicherung von linearen Sätzen.....	155
6.3.2 Techniken der Satzdarstellung	157
6.3.3 Darstellung komplexer Objekte.....	157
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
7 Eindimensionale Zugriffspfade	177
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

8	Typübergreifende Zugriffspfade	227
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
9	Mehrdimensionale Zugriffspfade	243
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	299
9.7.1	Struktur und Eigenschaften des GiST	300
9.7.2	Die wesentlichen Parameter	301
9.7.3	Spezialisierung durch Schlüsselmethoden	302
9.7.4	Weitergehende Forschungsaspekte	303
9.8	Zusammenfassung und Vergleich.....	304

Teil IV: Datensystem 299

10 Satzorientierte DB-Schnittstelle 299

10.1	Objekte und Operatoren.....	300
10.2	Aufgaben und Funktionen des DB-Katalogs.....	300
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

11 Implementierung von relationalen Operatoren 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

12 Mengenorientierte DB-Schnittstelle	345
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 Interdardarstellung 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-Gcnerierung.....	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
Teil V: Transaktionsverwaltung	389
13 Das Transaktionsparadigma	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
14 Synchronisation	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.....	417
14.4	Grundlagen von Sperrverfahren	417
14.4.1	Zwei-Phasen-Sperrverfahren.....	417
14.4.2	RX-Sperrverfahren	417
14.4.3	Behandlung von Sperrkonversionen.....	420
14.4.4	Logische vs. physische Sperren.....	421
14.5	Konsistenzstufen.....	422
14.5.1	Konsistenzstufen nach [GRAY76]	422
14.5.2	Cursor Stability.....	422
14.5.3	Konsistenzstufen in SQL92.....	422
14.6	Hierarchische Sperrverfahren	422
14.6.1	Anwartschaftssperren	422
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
15	Logging und Recovery	455
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
16	Erweiterungen des Transaktionskonzepts	499
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

Teil VI: Ausblick	53
17 Ausblick	537
17.1 Universal Storage.....	537
17.1.1 SQL3-Standard	537
17.1.2 Java und SQLJ.....	537
17.1.3 Dynamische Erweiterbarkeit	537
17.1.4 Erweiterungsinfrastruktur.....	537
17.1.5 Universal Storage – alleiniges DBS-Entwicklungsziel?	537
17.2 Universal Access	537
17.2.1 Zugriff auf heterogene relationale Daten	537
17.2.2 Zugriffsvereinfachung bei heterogenen Datenquellen	537
17.2.3 DB-Techniken für das WWW	537
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
Literatur	547
Index	569