

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einleitung	13
1.1 Geoinformationssysteme und -dienste.....	13
1.1.1 Geoinformationssysteme.....	13
1.1.2 Offene Geoinformationssysteme.....	15
1.1.3 Geodienste.....	17
1.2 Datenbanksysteme	19
1.2.1 Aufbau von Datenbanksystemen.....	19
1.2.2 Datenbanksysteme versus Dateien.....	19
1.2.3 Relationale Datenbanksysteme	22
1.2.3.1 Tabellen	22
1.2.3.2 Beziehungen	24
1.2.3.3 Anfragen.....	25
1.2.3.4 Ergänzungen des relationalen Datenbankmodells.....	27
1.2.3.5 Prozedurale Erweiterungen	29
1.2.4 Objektrelationale Datenbanksysteme.....	30
1.2.4.1 Strukturierte Datentypen	30
1.2.4.2 Objektorientierung.....	30
1.2.4.3 Objekte in objektrelationalen Datenbanken	32
1.3 Geodatenbanksysteme	34
1.3.1 Anforderungen an Geodatenbanksysteme.....	34
1.3.2 Speicherung von Geodaten in Datenbanken	35
1.3.2.1 Zerlegung von geometrischen Attributen.....	35
1.3.2.2 Speicherung der geometrischen Attribute in Dateien.....	37
1.3.2.3 Speicherung der geometrischen Attribute als BLOBs.....	37
1.3.2.4 Objektrelationale Geodatenbanksysteme	38
1.3.3 Konkrete Geodatenbanksysteme.....	39
2 SQL	43
2.1 SQL für relationale Datenbanken.....	43
2.1.1 Datendefinition.....	43
2.1.2 Datenmanipulation	44
2.1.2.1 DML und DCL	44
2.1.2.2 Erzeugung von Schlüsselwerten.....	44
2.1.3 Beziehungen.....	45
2.1.4 Anfragen.....	46
2.1.4.1 Einfache Anfragen.....	47
2.1.4.2 Verbindende Anfragen	48
2.1.4.3 Gruppierung und Aggregation.....	50
2.1.4.4 Sichten	52
2.1.5 Indexerzeugung.....	52

2.2	PostgreSQL.....	52
2.2.1	Datenbankstruktur	53
2.2.1.1	Datenbank-Cluster	53
2.2.1.2	Physische Datenbankstruktur	54
2.2.1.3	Logische Datenbankstruktur.....	55
2.2.2	SQL	56
2.2.2.1	Datentypen.....	56
2.2.2.2	Materialisierte Sichten.....	57
2.2.2.3	Feldtyp.....	57
2.2.2.4	Verbundtyp	58
2.2.2.5	Geometrische Datentypen	59
2.2.2.6	JSON.....	60
2.2.2.7	Anfragepläne	63
2.3	Oracle.....	63
2.3.1	Datenbankstruktur	64
2.3.1.1	Physische Datenbankstruktur	65
2.3.1.2	Logische Datenbankstruktur.....	65
2.3.2	Oracle SQL.....	66
2.3.2.1	Datentypen.....	66
2.3.2.2	Tabelle „Dual“	67
2.3.2.3	RowID	67
2.3.2.4	Large Objects (LOBs)	67
2.3.2.5	JSON.....	68
2.3.2.6	Anfragepläne	69
2.3.3	Prozedurale Erweiterungen	70
2.3.4	Objektrelationale Erweiterungen	72
2.3.4.1	Felder	72
2.3.4.2	Klassen	75
2.3.4.3	Verwendung als Spaltenobjekte	75
2.3.4.4	Objekttabellen.....	78
2.3.4.5	Vererbung und Polymorphie	80
3	Datenmodelle für Geodaten.....	83
3.1	Geodaten	84
3.1.1	Thematische Eigenschaften.....	84
3.1.2	Geometrische Eigenschaften	86
3.1.3	Topologische Eigenschaften	87
3.1.4	Metainformationen	88
3.1.5	Standardisierung von Geodaten	88
3.2	Feature-Geometry-Modell	89
3.2.1	ISO 19107 Spatial Schema	89
3.2.2	Geography Markup Language (GML).....	90
3.3	Simple-Feature-Modell.....	93
3.3.1	Geometrieschema.....	94
3.3.1.1	Punkte und Linien.....	95
3.3.1.2	Flächen	97
3.3.1.3	Geometriesammlungen.....	98

3.3.2	Repräsentationsformen.....	100
3.3.2.1	WKT und WKB.....	100
3.3.2.2	GeoJSON.....	101
3.3.3	Basismethoden	102
3.3.4	Geometrische Funktionen	103
3.3.5	Topologische Prädikate.....	105
3.3.5.1	Boolesches Modell	106
3.3.5.2	Dimensionsmodell.....	108
3.3.5.3	Funktionen im Simple-Feature-Modell	110
3.3.6	Informationsschema	110
3.4	SQL/MM Spatial	110
3.4.1	Geometrieschema.....	112
3.4.1.1	Oberklasse „ST_Geometry“	112
3.4.1.2	Punkte.....	113
3.4.1.3	Linien.....	113
3.4.1.4	Flächen	114
3.4.2	Repräsentationsformen.....	115
3.4.3	Informationsschema	117
3.5	Räumliche Bezugssysteme	117
3.5.1	Kategorien von Koordinatenbezugssystemen	118
3.5.2	Beschreibung von Koordinatenbezugssystemen.....	120
3.5.2.1	Well-known Text.....	120
3.5.2.2	EPSG-Bezugssysteme	122
3.5.2.3	Informationsschema	122
3.6	Lineare Bezugssysteme	122
3.6.1	ISO 19148	123
3.6.2	Maßzahlen	125
4	Modellierung von Geodaten in SQL.....	127
4.1	PostGIS.....	127
4.1.1	Datentyp GEOMETRY.....	128
4.1.1.1	Deklaration und Konstruktoren	128
4.1.1.2	Grundfunktionalität	131
4.1.1.3	Geometrische Funktionen.....	136
4.1.1.4	Topologische Beziehungen	140
4.1.1.5	Koordinatenbezugssysteme und -transformationen	141
4.1.1.6	Geometrische Aggregatfunktionen.....	145
4.1.2	Datentyp GEOGRAPHY	147
4.1.2.1	Deklaration und Konstruktoren	147
4.1.2.2	Funktionalität.....	148
4.1.3	Lineare Bezugssysteme.....	149
4.1.3.1	Repräsentation	150
4.1.3.2	Anfragen	151

4.2	Oracle Spatial	153
4.2.1	Klasse SDO_GEOMETRY	153
4.2.1.1	Deklaration und Konstruktoren	153
4.2.1.2	Informationsschema	162
4.2.1.3	Grundfunktionalität	165
4.2.1.4	Validieren und Korrigieren der Geometrie.....	169
4.2.1.5	Geometrische Funktionen.....	171
4.2.1.6	Prüfung topologischer Prädikate	175
4.2.1.7	Koordinatenbezugssysteme	177
4.2.1.8	Koordinatentransformationen.....	181
4.2.1.9	Geometrische Aggregatfunktionen.....	182
4.2.2	Klasse ST_GEOMETRY	184
4.2.2.1	Deklaration und Konstruktoren	184
4.2.2.2	Grundfunktionalität	185
4.2.2.3	Geometrische Funktionen.....	189
4.2.2.4	Prüfung topologischer Prädikate	191
4.2.2.5	Koordinatenbezugssysteme	191
4.2.3	Lineare Bezugssysteme.....	193
4.2.3.1	Repräsentation	193
4.2.3.2	Anfragen	196
5	Räumliche Anfragebearbeitung	201
5.1	Räumliche Basisanfragen	201
5.2	Mehrstufige Anfragebearbeitung.....	203
5.2.1	Charakteristika von Geodaten	203
5.2.2	Prinzip der mehrstufigen Anfragebearbeitung	203
5.3	Räumlicher Index	204
5.4	Filterung über Approximationen	205
5.4.1	Konservative und progressive Approximationen.....	206
5.4.2	Einelementige Approximationen	207
5.4.2.1	Konservative Approximationen.....	207
5.4.2.2	Progressive Approximationen	208
5.4.3	Mehrelementige Approximationen	209
5.5	Räumliche Anfragen in SQL	211
5.5.1	Anfragebearbeitung in PostGIS	211
5.5.1.1	Erzeugung eines räumlichen Index	211
5.5.1.2	Filterung	211
5.5.1.3	Verfeinerungsschritt	214
5.5.2	Anfragebearbeitung in Oracle Spatial.....	216
5.5.2.1	Erzeugung eines räumlichen Index	216
5.5.2.2	Filterung über SDO_FILTER.....	217
5.5.2.3	Verfeinerungsschritt über SDO_RELATE.....	219
5.5.2.4	SDO_WITHIN_DISTANCE.....	221

6	Indexierung von Geodaten	223
6.1	Indexierung in Datenbanksystemen	223
6.1.1	B- und B ⁺ - Bäume	225
6.1.1.1	B-Bäume	225
6.1.1.2	B ⁺ -Bäume	228
6.1.1.3	Gemeinsame Indexierung mehrerer Attribute	230
6.1.2	Generalized Search Tree	230
6.1.3	Hash-Verfahren	232
6.1.3.1	Wahl der Hash-Funktion	232
6.1.3.2	Kollisionsbehandlung	234
6.1.3.3	Lineares Hashing	234
6.1.4	Block Range Index (BRIN)	236
6.2	Indexierung von Geodaten	237
6.2.1	Clipping	239
6.2.2	Transformation in den höherdimensionalen Raum	240
6.2.3	Einbettung in den eindimensionalen Raum	242
6.2.4	Überlappende Blockregionen	244
6.2.5	Mehrschichtentechnik	245
6.2.6	Fazit	245
6.3	Binäre Raumpartitionierung und Quadtrees	246
6.3.1	Binäre Raumpartitionierung	246
6.3.2	Quadtrees	247
6.3.3	Bucket BSP und Bucket Quadtrees	249
6.3.4	Lineare Quadtrees	249
6.3.4.1	Datenraumbezogener linearer Quadtree	249
6.3.4.2	z-Werte einheitlicher Auflösung	250
6.3.4.3	z-Werte unterschiedlicher Auflösung	252
6.3.4.4	Hilbert-Ordnung	253
6.3.5	Nutzung in PostGIS	254
6.3.5.1	Räumliche Ordnungen	254
6.3.5.2	SP-GiST-Index	255
6.3.5.3	Block Range Index	256
6.3.6	Nutzung in Oracle Spatial	257
6.3.6.1	Fixed Indexing	257
6.3.6.2	Hybrid Indexing	259
6.3.6.3	Metadaten und Indextabelle	260
6.4	Gridfiles	263
6.4.1	Struktur und Suchanfragen	263
6.4.2	Dynamisches Verhalten	264
6.4.3	Speicherung von Rechtecken	267
6.4.3.1	Punkttransformation	267
6.4.3.2	Clipping	268
6.4.4	Organisation des Grid Directorys	269
6.5	R-Bäume	272
6.5.1	R-Baum	272
6.5.1.1	Datenstruktur des R-Baums	272
6.5.1.2	Basisalgorithmen des R-Baums	273

6.5.2	R*-Baum	277
6.5.3	Weitere Varianten	281
6.5.3.1	R ⁺ -Baum.....	281
6.5.3.2	Hilbert-R-Baum.....	282
6.5.4	R-Bäume in PostGIS	283
6.5.4.1	Indexerzeugung	283
6.5.4.2	Clusterindex.....	284
6.5.4.3	Index über GeoJSON.....	284
6.5.5	R-Bäume in Oracle Spatial.....	285
6.5.5.1	Metadaten	285
6.5.5.2	Funktionsbasierter R-Baum.....	286
6.5.5.3	Index über GeoJSON.....	287
7	Komplexe Basisanfragen.....	289
7.1	Räumlicher Verbund.....	289
7.1.1	Räumlicher Verbund ohne Index	290
7.1.2	Räumlicher Verbund zwischen R-Bäumen.....	291
7.1.2.1	Optimierung.....	292
7.1.2.2	Verarbeitungsvarianten.....	294
7.1.3	Räumlicher Verbund mittels z-Ordnung.....	295
7.1.4	Nutzung in Datenbanken.....	296
7.1.4.1	Räumlicher Verbund in PostGIS	296
7.1.4.2	Räumlicher Verbund in Oracle Spatial.....	297
7.2	Nächste-Nachbarn-Anfrage	300
7.2.1	Algorithmus von Hjaltason und Samet	301
7.2.2	Nutzung in Datenbanken.....	303
7.2.2.1	NNQ in PostGIS	303
7.2.2.2	NNQ in Oracle Spatial.....	304
8	Geometrische Algorithmen.....	309
8.1	Algorithmische Geometrie	309
8.1.1	Algorithmische Entwurfsmethoden	310
8.1.1.1	Inkrementelle Methode.....	310
8.1.1.2	Teile und Herrsche	311
8.1.1.3	Plane Sweep.....	312
8.1.2	Behandlung numerischer Probleme	313
8.1.2.1	Epsilon-Umgebung	315
8.1.2.2	Verwendung alternativer Datenrepräsentationen	316
8.2	Konvexe Hülle.....	318
8.2.1	Berechnung der konvexen Hülle.....	318
8.2.1.1	Inkrementelle Methode.....	318
8.2.1.2	Teile und Herrsche	321
8.2.2	Minimal umgebende konvexe Polygone.....	324
8.3	Inklusionsprobleme	324
8.3.1	Punkt-in-Polygon-Test	324
8.3.1.1	Algorithmus nach Jordan.....	324
8.3.1.2	Winkelsummentest	325

8.3.2	Polygon-in-Polygon-Test	326
8.4	Schnittprobleme.....	327
8.4.1	Schnitt von Rechtecken.....	327
8.4.1.1	Plane-Sweep-Algorithmus.....	327
8.4.1.2	Intervallbaum.....	329
8.4.2	Schnitt von Strecken	332
8.4.2.1	Schnittpunkte zwischen achsenparallelen Strecken	332
8.4.2.2	Schnittpunkte zwischen beliebig ausgerichteten Strecken	332
8.4.2.3	Schnittpunkte zwischen Strecken zweier Mengen	335
8.4.3	Schnitt von Polygonen	337
8.4.3.1	Algorithmus von Margalit und Knott	337
8.4.3.2	Plane Sweep zur Verschneidung von Mengen von Polygonen	340
8.5	Objektzerlegung.....	343
8.5.1	Trapezzerlegung.....	343
8.5.2	Triangulation.....	344
8.5.2.1	Triangulation monotoner Polygone.....	344
8.5.2.2	Triangulation einfacher Polygone	346
8.5.2.3	Delaunay-Triangulation.....	347
8.5.2.4	Triangulationen in PostGIS	348
8.5.2.5	Triangulationen in Oracle Spatial.....	349
8.5.3	Verwaltung der Zerlegungskomponenten.....	350
9	Anwendungsprogrammierung	351
9.1	Zugriff auf Datenbanken	351
9.1.1	Datenbankzugriffsschnittstellen.....	351
9.1.2	Datenbankkopplung an eine Programmiersprache.....	351
9.1.3	Zugriff auf die Daten.....	352
9.2	Java und JDBC	354
9.2.1	JDBC-Treibertypen.....	355
9.2.2	Versionen und Einbindung der JDBC-API	356
9.2.3	Nutzung der JDBC-API	357
9.2.3.1	Aufbau der Datenbankverbindung	357
9.2.3.2	Ausführen von Anfragen	359
9.2.3.3	Datenmanipulation	360
9.2.3.4	Übersetzen und Ausführen des Java-Programms	361
9.3	Zugriff auf Geodaten	361
9.3.1	Zugriff auf Geodaten in PostGIS	361
9.3.1.1	Zugriff über Well-known Text	361
9.3.1.2	Zugriff über Well-known Binary.....	362
9.3.1.3	Zugriff über die Klassen PGgeometry und PGgeography.....	362
9.3.2	Zugriff auf Geodaten in Oracle Spatial.....	364
9.3.2.1	Zugriff über Well-known Text und Well-known Binary	364
9.3.2.2	Zugriff auf SQL-Objekte.....	364
9.3.2.3	Geometrieklasse JGeometry.....	365
9.3.2.4	Weitere Zugriffsmöglichkeiten	367
9.3.3	Zugriff auf Geodaten über GeoTools.....	368

10 Topologie	369
10.1 Grundbegriffe	369
10.1.1 Netzwerke und Graphen.....	370
10.1.2 Flächenhafte Modelle.....	371
10.2 Topologische Datenmodelle	372
10.2.1 Feature-Geometry-Modell.....	372
10.2.2 SQL/MM Spatial	373
10.3 Netzwerkdatenbanken	379
10.3.1 Analyseoperationen.....	379
10.3.1.1 Dijkstra-Algorithmus.....	380
10.3.1.2 A*-Algorithmus.....	384
10.3.1.3 Berechnung kürzester Wege in Netzwerkhierarchien	384
10.3.2 Physische Organisation	385
10.4 Topologie in PostGIS	387
10.4.1 Topologieschema	388
10.4.2 Datentyp TopoGeometry.....	392
10.5 Topologie in Oracle Spatial.....	396
10.5.1 Netzwerk-Datenbankschema.....	396
10.5.1.1 Datenrepräsentation.....	396
10.5.1.2 Analyseoperationen	401
10.5.1.3 Zerlegung und Hierarchien von Netzwerken	403
10.5.1.4 Ergänzungen	403
10.5.2 Flächenhaftes Topologie-Datenbankschema	403
10.5.2.1 Datenrepräsentation.....	403
10.5.2.2 Nutzung über SQL.....	405
10.5.2.3 Nutzung über PL/SQL.....	411
10.5.2.4 Nutzung über Java	417
10.5.2.5 Direkte Erzeugung von topologischen Geometrien	419
10.5.2.6 Anfragen.....	420
11 Rasterdaten	423
11.1 Konzepte.....	423
11.2 Speicherung von Rasterdaten durch BLOBs	426
11.2.1 Abspeichern von Rasterdaten.....	426
11.2.2 Lesen von Rasterdaten	427
11.3 PostGIS Raster.....	428
11.3.1 Erzeugung und Speicherung von Rasterdaten.....	428
11.3.1.1 Rasterdaten über raster2pgsql.....	429
11.3.1.2 Rasterdaten aus BLOBs.....	430
11.3.1.3 Rasterdaten aus GEOMETRY.....	431
11.3.1.4 Metadaten und Beschränkungen.....	432

11.3.2	Operationen auf Rasterdaten	433
11.3.2.1	Abfrage von Eigenschaften	433
11.3.2.2	Umrechnung zwischen Welt- und Pixelkoordinaten	434
11.3.2.3	Zugriff auf Rasterdaten.....	435
11.3.2.4	Kachelung und räumliche Indexierung	437
11.3.2.5	Rasterverarbeitung und Bildpyramide.....	438
11.3.2.6	Export	440
11.4	Oracle Spatial GeoRaster.....	441
11.4.1	Datenmodell und Speicherung von Rasterdaten	441
11.4.1.1	Die Klassen SDO_GEOASTER und SDO_RASTER.....	441
11.4.1.2	Anlegen von Tabellen.....	443
11.4.1.3	Laden von Rasterdaten	444
11.4.1.4	Daten in SDO_GEOASTER und SDO_RASTER.....	447
11.4.2	Operationen auf Rasterdaten	448
11.4.2.1	Räumliche Indexierung und Anfragen	448
11.4.2.2	Kachelung.....	448
11.4.2.3	Abfrage von Rasterzellen	449
11.4.2.4	Ausschnittbildung.....	451
11.4.2.5	Bildpyramide	452
11.4.2.6	Kompression.....	453
11.4.2.7	Export von Rasterdaten	454
11.4.2.8	Zugriff über die Java-API.....	455
12	3D-Geodatenbanken.....	457
12.1	Datenmodelle.....	458
12.1.1	Feature-Geometry-Modell.....	459
12.1.1.1	3D-Körper und 3D-Topologie.....	459
12.1.1.2	3D-Oberflächen	459
12.1.1.3	Dreiecksvermaschungen.....	460
12.1.2	Simple-Feature-Modell	462
12.1.3	SQL/MM Spatial.....	464
12.2	Anfragebearbeitung	465
12.2.1	Räumliche Basisanfragen und Indexstrukturen	465
12.2.2	Algorithmische Geometrie.....	466
12.3	3D in PostGIS.....	466
12.3.1	Datenrepräsentation und Funktionen	466
12.3.1.1	Punkte, Linienzüge und Polygone in 3D.....	466
12.3.1.2	Körper.....	469
12.3.1.3	Punktwolken	471
12.3.2	Dreiecksvermaschungen	472
12.3.3	Räumliche Anfragen	478
12.4	3D in Oracle Spatial	482
12.4.1	Datenrepräsentation und Anfragen	482
12.4.1.1	3D-Punkte, 3D-Linienzüge und planare Polygone in 3D.....	482
12.4.1.2	Räumliche Anfragen.....	484
12.4.1.3	3D-Flächen und Körper.....	485

12.4.2	Punktwolken.....	487
12.4.2.1	Datenstrukturen und Tabellen	488
12.4.2.2	Speichern einer Punktwolke	489
12.4.2.3	Anfragen	490
12.4.3	Dreiecksvermaschungen	491
12.4.3.1	Datenstrukturen und Tabellen	491
12.4.3.2	Berechnen und Speichern einer Dreiecksvermaschung	492
12.4.3.3	Anfragen	493
12.4.3.4	Rasterbildung.....	495
12.4.4	Zugriff über die Java-API	496
13	Weiterführende Themen.....	499
13.1	Spatial Data Mining.....	499
13.1.1	Data Mining	499
13.1.2	Spatial Data Mining	499
13.1.3	PostGIS	501
13.1.4	Oracle Spatial	504
13.2	Freiformkurven.....	507
13.2.1	Feature-Geometry-Modell.....	508
13.2.2	SQL/MM Spatial.....	510
13.2.3	Oracle Spatial.....	510
13.3	Spatio-temporale Datenbanken.....	513
13.3.1	Datenmodelle	513
13.3.1.1	ISO 19108 Temporal Schema	514
13.3.1.2	Datenmodell von Güting et al.....	515
13.3.1.3	ISO 19141 Schema for Moving Objects	516
13.3.2	Basisanfragen	518
13.3.3	Indexe.....	519
13.3.4	TPR-Baum	520
13.3.5	Trajektorien in PostGIS	522
13.4	Geodienste	525
13.4.1	Web Feature Service und Filter Encoding	525
13.4.2	Web Coverage Service.....	529
13.4.3	Geodienste und mobile Anwendungen	529
13.5	Internet der Dinge.....	530
13.5.1	Eingebettete Datenbanksysteme.....	532
13.5.2	OGC Sensor Web Enablement.....	532
13.5.3	OGC SensorThings API.....	534
13.5.4	Datenstrommanagementsysteme.....	537
14	NoSQL-Datenbanksysteme.....	539
14.1	Einführung	539
14.1.1	Big Data	539
14.1.2	Cloud Computing.....	540
14.1.3	Skalierbarkeit	542
14.1.4	NoSQL-Datenbanksysteme.....	546

14.2 MongoDB	548
14.2.1 BSON	548
14.2.2 Grundfunktionalität	549
14.2.3 Räumliche Anfragen	552
14.2.4 Gruppierung und Aggregation	554
14.3 Neo4j	559
14.3.1 Datenspeicherung und einfache Anfragen	559
14.3.1.1 Knoten	560
14.3.1.2 Kanten.....	561
14.3.1.3 Punktdaten	564
14.3.1.4 Datenimport, Integritätsbedingungen und Indexe	565
14.3.2 Netzwerkanalysen	567
14.3.2.1 Bestimmung von Nachbarn	567
14.3.2.2 Erreichbarkeit und Netzwerkverfolgung	568
14.3.2.3 Kürzeste Wege.....	569
14.3.3 Räumliche Anfragen	570
14.3.3.1 Räumlicher Index	570
14.3.3.2 Anfragen.....	571
Literaturverzeichnis	573
Abkürzungsverzeichnis	583
Übersetzung englischer Begriffe	589
SQL-Index	595
Stichwortverzeichnis	603