

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Beiträge der Dissertation . . . . .	2
1.3	Überblick über die Dissertation . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>5</b>
2.1	Überblick . . . . .	5
2.2	Anwendungsszenario . . . . .	5
2.2.1	Überblick . . . . .	5
2.2.2	Entwurfsdaten für den Softwareentwurf . . . . .	5
2.2.3	Werkzeuge für den Softwareentwurf . . . . .	7
2.2.4	Entwurfsaufgaben beim Softwareentwurf . . . . .	7
2.3	Aufgaben und Ziele von Entwurfsumgebungen . . . . .	8
2.3.1	Überblick und Motivation . . . . .	8
2.3.2	Architektur . . . . .	9
2.3.3	Datenhaltung . . . . .	9
2.3.4	Werkzeugintegration . . . . .	10
2.3.5	Entwurfsabläufe . . . . .	11
2.4	Aufgaben von Transaktionen in Entwurfsumgebungen . . . . .	11
2.4.1	Überblick . . . . .	11
2.4.2	Gewährleistung von Konsistenz . . . . .	12
2.4.3	Behandlung von Nebenläufigkeit . . . . .	13
2.4.4	Kooperatives Arbeiten . . . . .	13
2.4.5	Fehlerbehandlung . . . . .	14
2.5	Zielsetzung . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Objektorientierte Datenbanksysteme</b>	<b>17</b>
3.1	Überblick . . . . .	17
3.2	Einführung in Datenbanksysteme . . . . .	17
3.3	Eigenschaften objektorientierter Datenmodelle . . . . .	18
3.3.1	Motivation . . . . .	18
3.3.2	Komplexe Objekte und Beziehungen . . . . .	18
3.3.3	Methoden . . . . .	19
3.3.4	Objektidentität und Encapsulierung . . . . .	19
3.3.5	Typen, Klassen und Vererbung . . . . .	20
3.4	Programmierspracheneinbettung . . . . .	20
3.4.1	Überblick . . . . .	20
3.4.2	Die ODMG-Spezifikation . . . . .	20
3.4.3	Architektur eines ODMG-Datenbanksystems . . . . .	22

<b>4</b>	<b>Grundlagen von Standard-Transaktionen</b>	<b>25</b>
4.1	Überblick	25
4.2	Aufgaben von Transaktionen	25
4.3	Die ACID-Eigenschaften	27
4.4	Formales Modell für Transaktionen	28
4.4.1	Grundlegende Definitionen	28
4.4.2	Schedules	29
4.4.3	Eigenschaften von Schedules	29
4.5	Fehler in Transaktionssystemen	31
4.6	Geschachtelte Transaktionen	32
<b>5</b>	<b>Synchronisation und Recovery für Standard-Transaktionen</b>	<b>35</b>
5.1	Überblick	35
5.2	Synchronisationsverfahren für Standard-Transaktionen	35
5.2.1	Überblick	35
5.2.2	Sperrverfahren	36
5.2.2.1	Grundlegende Konzepte	36
5.2.2.2	Deadlocks und Livelocks	36
5.2.2.3	Das Zweiphasen-Sperrverfahren	37
5.2.2.4	Das hierarchische Sperrverfahren	38
5.2.3	Zeitstempelverfahren	39
5.2.4	Optimistische Verfahren	39
5.2.5	Synchronisation geschlossen geschachtelter Transaktionen	40
5.3	Recoveryverfahren für Standard-Transaktionen	41
5.3.1	Überblick	41
5.3.2	Aufzeichnen von Recoveryinformationen	43
5.3.3	Undo/Redo-Strategien	44
5.3.4	Checkpointing	45
5.3.5	Sicherungspunkte	45
5.3.6	Recovery für Sekundärspeicher-Recoveryereignisse	45
5.3.7	Recovery für Kommunikations-Recoveryereignisse	46
5.3.8	Recovery geschlossen geschachtelter Transaktionen	47
<b>6</b>	<b>Grundlagen von Nichtstandard-Transaktionen</b>	<b>49</b>
6.1	Überblick	49
6.2	Anforderungen an Nichtstandard-Transaktionen	50
6.2.1	Überblick	50
6.2.2	Langlebigkeit	50
6.2.3	Kooperation	50
6.2.4	Konsistenz	51
6.2.5	Kontrollfluß	51
6.2.6	Objekte und Versionen	51
6.2.7	Performance	51
6.3	Einbeziehung von Semantik	52
6.3.1	Überblick	52
6.3.2	Semantik von Operationen	52
6.3.3	Konsistenzbedingungen	54
6.3.4	Vor- und Nachbedingungen	55
6.3.5	Unterbrechungspunkte	55

6.4	Offene Schachtelung . . . . .	56
6.4.1	Überblick . . . . .	56
6.4.2	Mehrschichten-Transaktionen . . . . .	56
6.4.3	Transaktionen in objektorientierten Systemen . . . . .	58
6.4.4	Andere Formen . . . . .	61
6.5	Workspace-Konzept . . . . .	61
6.6	Versionierung . . . . .	62
6.7	Event-/Trigger-Mechanismen . . . . .	63
6.8	Kontrollfluß . . . . .	64
6.8.1	Überblick . . . . .	64
6.8.2	Skriptbasierte Verfahren . . . . .	64
6.8.3	Grammatiken . . . . .	65
6.9	Das Meta-Modell ACTA zur Beschreibung von Transaktionsmodellen . . . . .	65
<b>7</b>	<b>Synchronisation und Recovery für Nichtstandard-Transaktionen</b>	<b>69</b>
7.1	Überblick . . . . .	69
7.2	Synchronisationsverfahren für Nichtstandard-Transaktionen . . . . .	69
7.2.1	Überblick . . . . .	69
7.2.2	Flexibilisierung und Erweiterung von Sperrverfahren . . . . .	70
7.2.2.1	Nicht-Zweiphasiges Sperren . . . . .	70
7.2.2.2	Flexible Sperrmodi . . . . .	70
7.2.2.3	Versionsbasierte Verfahren . . . . .	72
7.2.2.4	Sperrverfahren für komplexe Objekte . . . . .	72
7.2.3	Synchronisation über Operationssemantik . . . . .	74
7.2.3.1	Semantische Sperren . . . . .	74
7.2.3.2	Synchronisation von Mehrschichten-Transaktionen . . . . .	74
7.2.3.3	Synchronisation in objektorientierten Systemen . . . . .	75
7.2.4	Synchronisation über Konsistenzbedingungen . . . . .	75
7.2.4.1	Das prädikatweise Zweiphasen-Sperrverfahren . . . . .	75
7.2.4.2	Synchronisation über Vor- und Nachbedingungen . . . . .	75
7.2.5	Strukturorientierte Verfahren . . . . .	76
7.2.5.1	Kooperative Synchronisation . . . . .	76
7.2.5.2	Restrukturierung . . . . .	76
7.2.5.3	Heterogene Schachtelung . . . . .	77
7.2.5.4	Explizite Kooperationsbeziehungen . . . . .	78
7.2.6	Ablauforientierte Verfahren . . . . .	79
7.2.6.1	Persistente Abläufe . . . . .	79
7.2.6.2	Explizite Spezifikation . . . . .	79
7.2.7	Anwendungsorientierte Verfahren . . . . .	80
7.2.8	Verfahren zur Unterstützung von Kooperation . . . . .	81
7.2.9	Vergleich von Synchronisationsverfahren . . . . .	82
7.3	Recoveryverfahren für Nichtstandard-Transaktionen . . . . .	83
7.3.1	Überblick . . . . .	83
7.3.2	Flexibilisierung beim Zurücksetzen von Transaktionen . . . . .	83
7.3.2.1	Zurücksetzen von Komponenten-Transaktionen . . . . .	83
7.3.2.2	Partielles und selektives Zurücksetzen . . . . .	83
7.3.3	Recovery über Operationssemantik . . . . .	84
7.3.3.1	Semantikbasiertes Zurücksetzen (Kompensation) . . . . .	84

7.3.3.2	Semantikbasierte Wiederholung . . . . .	86
7.3.3.3	Recovery bei offener Schachtelung und Mehrschichten-Transaktionen . . . . .	87
7.3.4	Strukturorientierte Verfahren . . . . .	87
7.3.4.1	Spezielle Komponenten-Transaktionen . . . . .	87
7.3.4.2	Restriktionen der Interaktion . . . . .	88
7.3.5	Ablauforientierte Verfahren . . . . .	88
7.3.5.1	Persistente Abläufe . . . . .	88
7.3.5.2	Explizite Spezifikation . . . . .	89
7.3.6	Anwendungsorientierte Verfahren . . . . .	89
7.3.7	Vergleich von Recoveryverfahren . . . . .	89
<b>8</b>	<b>Vergleich von existierenden Transaktionsmodellen</b>	<b>91</b>
8.1	Überblick . . . . .	91
8.2	Vergleichskriterien . . . . .	91
8.3	Vergleich von Transaktionsmodellen . . . . .	94
8.3.1	Überblick . . . . .	94
8.3.2	Konventionelle Transaktionen . . . . .	94
8.3.3	Geschlossen geschachtelte Transaktionen . . . . .	94
8.3.3.1	Grundmodell von Moss . . . . .	94
8.3.3.2	ReLaX . . . . .	94
8.3.3.3	Der Ansatz von Härder und Rothermel . . . . .	95
8.3.4	Offen geschachtelte Transaktionen . . . . .	95
8.3.4.1	Mehrschichten-Transaktionen . . . . .	95
8.3.4.2	Transaktionsmodell für Publikationsumgebungen . . . . .	95
8.3.4.3	Sagas . . . . .	95
8.3.4.4	ConTracts . . . . .	95
8.3.5	Mischformen zwischen geschlossener und offener Schachtelung . . . . .	96
8.3.5.1	Das Flex-Transaktionsmodell . . . . .	96
8.3.5.2	Das ATM-Modell . . . . .	96
8.3.5.3	Das DOM-Transaktionsmodell . . . . .	96
8.3.6	Entwurfstransaktionsmodelle . . . . .	97
8.3.6.1	Entwurfstransaktionen nach Kim et al. . . . .	97
8.3.6.2	Gruppentransaktionen . . . . .	97
8.3.6.3	CAD-Transaktionen . . . . .	97
8.3.6.4	DAMOKLES . . . . .	97
8.3.6.5	Flexibles Transaktionsmodell für den Softwareentwurf . . . . .	98
8.3.6.6	Das CONCORD-Modell . . . . .	98
8.3.6.7	Kooperative Transaktionen für Entwurfsdatenbanken . . . . .	98
8.3.6.8	Das CoAct-Modell . . . . .	99
8.3.7	Baukasten- und Metamodelle . . . . .	99
8.3.7.1	Der Transaktionsbaukasten . . . . .	99
8.3.7.2	ACTA-basierte Ansätze . . . . .	100
8.3.8	Fazit des Vergleichs . . . . .	100
<b>9</b>	<b>Das Transaktionsmodell für Entwurfsumgebungen PODEST: Anforderungen und Konzepte</b>	<b>105</b>
9.1	Überblick . . . . .	105
9.2	Allgemeine Aspekte . . . . .	106
9.2.1	Überblick . . . . .	106

9.2.2	Anwendergruppen	106
9.2.3	Schnittstelle	107
9.2.4	Konfigurierbarkeit und Erweiterbarkeit	108
9.2.5	Modellierung von Daten	110
9.2.6	Modellierung von Abläufen	111
9.3	Entwurfstransaktionen	112
9.3.1	Allgemeine Eigenschaften	112
9.3.1.1	Aufgabe von DTs	112
9.3.1.2	Schachtelung von DTs	112
9.3.1.3	Workspace-Konzept	112
9.3.1.4	Nebenläufigkeit von DTs	113
9.3.1.5	Konsistenz	114
9.3.2	Synchronisation	115
9.3.2.1	Synchronisationsprotokolle	115
9.3.2.2	Kooperation zwischen DTs	115
9.3.2.3	Konfigurierbarkeit und Bildung von Subsystemen	116
9.3.2.4	Berücksichtigung von Abhängigkeiten	116
9.3.3	Recovery	117
9.3.3.1	Partielle und Selektive Recovery	117
9.3.3.2	Berücksichtigung von Abhängigkeiten	118
9.3.3.3	Konfigurierbarkeit	118
9.3.3.4	Bildung von Subsystemen	119
9.3.3.5	Persistenz	119
9.4	Werkzeugtransaktionen	120
9.4.1	Allgemeine Eigenschaften	120
9.4.1.1	Aufgabe von TTs	120
9.4.1.2	Schachtelung von TTs	120
9.4.1.3	Zuordnung zu DTs	121
9.4.1.4	Nebenläufigkeit von TTs	121
9.4.1.5	Integration mit dem Datenbanksystem	122
9.4.1.6	Konsistenz	122
9.4.2	Synchronisation	123
9.4.2.1	Synchronisationsprotokolle	123
9.4.2.2	Kooperation zwischen TTs	123
9.4.2.3	Konfigurierbarkeit	124
9.4.2.4	Berücksichtigung von Abhängigkeiten	124
9.4.3	Recovery	125
9.4.3.1	Objekt- und operationsbasierte Recovery	125
9.4.3.2	Berücksichtigung von Abhängigkeiten	125
9.4.3.3	Konfigurierbarkeit	126
9.4.3.4	Persistenz	126
9.5	Gesamtüberblick	127
9.5.1	Unterschiede zwischen DTs und TTs	127
9.5.2	Architektur von PODEST	128
9.6	Zusammenfassung	129
<b>10</b>	<b>Grundlagen der Synchronisation und Recovery in PODEST</b>	<b>131</b>
10.1	Überblick	131

10.2	Integration mit dem objektorientierten Datenbanksystem . . . . .	131
10.2.1	Überblick . . . . .	131
10.2.2	Entwurfsobjekte . . . . .	132
10.2.3	Beziehung zu Datenbanktransaktionen . . . . .	132
10.2.4	Einbettung in das Datenbanksystem . . . . .	134
10.2.5	Abbildung auf eine oder mehrere Datenbanken . . . . .	135
10.3	Abhängigkeiten zwischen Objekten . . . . .	136
10.3.1	Überblick . . . . .	136
10.3.2	Berücksichtigung von Operationen . . . . .	136
10.3.3	Berücksichtigung schemakonformer Beziehungen zwischen Objekten . . . . .	137
10.4	Synchronisation und Kooperation . . . . .	138
10.4.1	Synchronisationsprotokolle und Sperrmodi . . . . .	138
10.4.2	Kooperationsformen . . . . .	140
10.4.3	Berücksichtigung von Abhängigkeiten . . . . .	142
10.5	Recovery . . . . .	143
10.5.1	Grundlegende Aspekte . . . . .	143
10.5.2	Recoveryereignisse . . . . .	143
10.5.2.1	Recoveryereignisse auf der Ebene von Datenbanktransaktionen . . . . .	143
10.5.2.2	Recoveryereignisse im Ablauf einer Transaktion . . . . .	144
10.5.2.3	Recoveryereignisse in einer terminierten Transaktion . . . . .	144
10.5.2.4	Recoveryereignisse bei der Abwicklung von Kooperationsprotokollen . . . . .	145
10.5.3	Alternativen für die Recovery . . . . .	145
10.5.3.1	Definition von Restriktionen . . . . .	145
10.5.3.2	Selektive Recovery . . . . .	145
10.5.3.3	Einbeziehung von Transaktionssemantik . . . . .	147
10.5.4	Objektbasierte Recovery . . . . .	147
10.5.4.1	Objektbasierte Recovery innerhalb einer Transaktion . . . . .	147
10.5.4.2	Objektbasierte Recovery bei nebenläufigen Transaktionen . . . . .	147
10.5.4.3	Objektbasierte Recovery bei geschachtelten Transaktionen . . . . .	149
10.5.4.4	Commit-Reihenfolge . . . . .	150
10.5.4.5	Berücksichtigung von Abhängigkeiten . . . . .	150
10.5.4.6	Transitivität von Abhängigkeiten . . . . .	152
10.5.4.7	Zusammenfassung der Eigenschaften objektbasierter Recovery . . . . .	152
10.5.5	Operationsbasierte Recovery . . . . .	153
10.5.5.1	Grundlegende Betrachtungen . . . . .	153
10.5.5.2	Spezifikation von inversen Methoden . . . . .	153
10.5.5.3	Geschachtelte Methoden . . . . .	154
10.5.5.4	Kompensation auf Kopien . . . . .	156
10.5.5.5	Kaskadierende Kompensation . . . . .	156
10.5.5.6	Optimierung von kaskadierender Kompensation . . . . .	159
10.5.5.7	Kompensierbarkeit . . . . .	159
10.5.5.8	Zusammenfassung der Eigenschaften operationsbasierter Recovery . . . . .	160
10.5.6	Vergleich von Recoveryverfahren und Kombinationsmöglichkeiten . . . . .	161
10.6	Zusammenfassung . . . . .	164
<b>11</b>	<b>Spezielle Aspekte der Synchronisation und Recovery in PODEST</b>	<b>165</b>
11.1	Überblick . . . . .	165
11.2	Werkzeugtransaktionen . . . . .	165

11.2.1	Allgemeine Eigenschaften von Werkzeugtransaktionen	165
11.2.2	Synchronisation von Werkzeugtransaktionen	167
11.2.2.1	Synchronisationsverfahren	167
11.2.2.2	Sperrmodi	167
11.2.2.3	Zusammenarbeit von TTs und DTs	168
11.2.2.4	Kooperationsformen	169
11.2.3	Recovery von Werkzeugtransaktionen	170
11.2.3.1	Überblick	170
11.2.3.2	Recoveryereignisse für TTs	170
11.2.3.3	Ansätze für die Recovery von TTs	171
11.2.3.4	Objektbasierte Recovery	172
11.2.3.5	Operationsbasierte Recovery	172
11.3	Entwurfstransaktionen	173
11.3.1	Allgemeine Eigenschaften von Entwurfstransaktionen	173
11.3.2	Synchronisation von Entwurfstransaktionen	174
11.3.2.1	Synchronisationsverfahren	174
11.3.2.2	Sperrmodi	175
11.3.2.3	Kooperationsformen	175
11.3.3	Recovery von Entwurfstransaktionen	179
11.3.3.1	Überblick	179
11.3.3.2	Recoveryereignisse für DTs	179
11.3.3.3	Ansätze für die Recovery von DTs	181
11.3.3.4	Objektbasierte Recovery innerhalb einer DT	181
11.3.3.5	Operationsbasierte Recovery für DTs	182
11.3.3.6	Recovery bei Kooperationsprotokollen	182
11.3.3.7	Restriktionen und Bildung von Subsystemen	184
11.4	Systematische Aufstellung der Abhängigkeiten	186
11.4.1	Überblick	186
11.4.2	Basisabhängigkeiten	186
11.4.2.1	Einführung	186
11.4.2.2	Abhängigkeiten zwischen Operationen	187
11.4.2.3	Abhängigkeiten zwischen Objekten	188
11.4.2.4	Wechselwirkungen zwischen Operationen und Objekten	188
11.4.2.5	Abhängigkeiten auf Transaktionsebene	189
11.4.3	Höherwertige Abhängigkeiten	189
11.4.3.1	Einführung	189
11.4.3.2	Abhängigkeiten auf Basis von Operationen	190
11.4.3.3	Abhängigkeiten auf Basis von Objekten	191
11.4.4	Zusammenfassung und Vergleich von Abhängigkeiten	193
11.5	Konfigurationsmöglichkeiten in <code>PODEST</code>	194
11.5.1	Grundlegende Betrachtungen	194
11.5.2	Konfigurationsparameter	195
11.5.3	Wechselwirkungen zwischen Konfigurationsbereichen	197
11.5.4	Kombination von Verfahren	198
11.5.4.1	Synchronisation	198
11.5.4.2	Recovery	200
11.5.5	Unterstützung bei der Konfiguration	200

11.6 Zusammenfassung . . . . .	201
<b>12 Realisierung des Transaktionsmodells PODEST</b>	<b>203</b>
12.1 Überblick . . . . .	203
12.2 Dienste des Systems . . . . .	203
12.3 Architektur des Systems . . . . .	205
12.3.1 Gesamtarchitektur . . . . .	205
12.3.2 Objektorientiertes Datenbanksystem . . . . .	205
12.3.3 Aufbau der Klassenbibliothek . . . . .	206
<b>13 Abgrenzung zu anderen Ansätzen</b>	<b>209</b>
13.1 Überblick . . . . .	209
13.2 Entwurfstransaktionsmodelle . . . . .	209
13.3 Baukasten- und Metamodelle . . . . .	211
13.4 Geschachtelte Transaktionen und Mischformen . . . . .	212
13.5 Ansätze außerhalb von Transaktionsmodellen . . . . .	212
13.6 Zusammenfassung . . . . .	214
<b>14 Ergebnisse der Dissertation und offene Fragen</b>	<b>215</b>
14.1 Beitrag der Dissertation zum Forschungsgebiet . . . . .	215
14.2 Offene Fragen und zukünftige Arbeiten . . . . .	216
<b>A Beispiel für die Anwendung von PODEST</b>	<b>219</b>
A.1 Überblick . . . . .	219
A.2 Modellierung des Anwendungsszenarios . . . . .	219
A.2.1 Modellierung von Entwurfsobjekten . . . . .	219
A.2.1.1 Datenschema und Klassenhierarchie für Entwurfsobjekte . . . . .	219
A.2.1.2 Anwendungsspezifische Methoden für Entwurfsobjekte . . . . .	220
A.2.1.3 Verwaltung von Entwurfsobjekten . . . . .	221
A.2.2 Einsatz von TTs und Realisierung von Werkzeugen . . . . .	221
A.2.3 Definition von DT-Typen . . . . .	223
A.2.4 Instantiierung der Entwurfsobjekte und der DT-Hierarchie . . . . .	224
A.2.5 Beispiel für den Einsatz von DTs/TTs . . . . .	225
A.2.6 Selektive Recovery . . . . .	227
A.2.6.1 Partiiell-selektive Recovery . . . . .	227
A.2.6.2 Voll-selektive Recovery . . . . .	228
A.2.7 Realisierung anwendungsspezifischer Transaktionskonzepte . . . . .	229
A.3 Zusammenfassung . . . . .	230
<b>B Überblickstabellen</b>	<b>231</b>
B.1 Abkürzungsverzeichnis . . . . .	231
B.2 Die Programmiersprache C++ . . . . .	232
B.3 Der ODMG-Standard . . . . .	233
B.4 Entwurfs- und Werkzeugtransaktionen . . . . .	234
B.5 Anforderungen an das Transaktionsmodell . . . . .	235
<b>C Index</b>	<b>237</b>
<b>D Literaturverzeichnis</b>	<b>243</b>