Zusammenfassung Objekt- und dokumentzentrierte Informationssysteme

Philipp Jäcks

23. Januar 2016

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung

- Einsatz hierarchischer DB ab 1970
- Relationale DB Einsatz ab 1980; hierarchische DB bleiben bestehen
- OO DB Einsatz ab Ende 80er; relationale DB bleiben bestehen
- XML DB Einsatz ab 2000; alle alten DB bleiben
- heute: hierarchische DB speichern meisten unternehmenskritischen Daten; gefolgt von Relationalen
- OO und XML DB aber in jedem guten relationalen System enthalten
- OO DBMS: ab Ende 80er; Startup Unternehmen; komplexes DB-Modell; später unvollkommener, inkonsistenter Standard
- Trend OO DBMS: instabil, bei read-write-Transaktionen wenig performant; unvollständig (Zugriffsrechte, Recovery, Sichten, Integritätsbedingungen); verschwinden wieder vom Markt
- Objektrelationale DB: Relationale DB integrieren OO Konzepte -> überholen OO DBMS

1.1 Entwicklung der Datenbankmodelle

Relationenmodell, RDBSs: Objekte dargestellt durch Zeilen in Tabellen

SET OF RECORD
A_1: Standard−Datentyp$_1$
...
A_n: Standard−Datentyp$_n$
END;

Objekttypen	Eigenschaft
Personen	*Name* (bestehend aus *Vor-* und *Nachname*) *Adresse* (bestehend aus *PLZ*, *Ort*, *Straße* und *Hausnummer*) *Hobbies* (bestehend aus einer Menge von *Hobbies*) *Geburtsdatum*

Tabelle 1: Beispiel: Modellierung von Personen

In RDBS:

- Eigenschaften *Name, Adresse* in Komponenten zerlegen
- Eigenschaft *Hobbies* auslagern (1NF)

Vorname	Nachname	PLZ	Ort	Straße	Hausnr	Gebdat

Vorname	Nachname	PLZ	Gebdat	Hobby

- Eigenschaften *Vorname, Nachname, PLZ* und *Geburtsdatum* sollen Schlüssel sein

Eigenschaften relationaler DB

- Starre Strukturen (Relationenschemata)
- Einfache Strukturen (nur Tabelle, 1NF)
- Für einfache Attributwerte (Zahlen, Zeichenketten, also Standard-Datentypen)
- Mit fester Semantik (Built-in Funktionen für Std-Typen)
- Austausch von Daten (etwa im Web) erschwert: Trennung Schema (Relationenschema) und Instanz (Relation), zum Versand muss beides zusammengefasst werden

Entwicklung: OO DB

- Forschung Ende 80er, Hype 90er => Nischenprodukt für neue Anwendungen; Ende 90er in RDBS
- Konzepte: komplexe Strukturen (statt nur Tabellen nun auch beliebig strukturierte Objekte)
  Komplexe Attributwerte (Typen können konstruiert werden)
  mit variabler Semantik (Methoden können def. werden)

Entwicklung: XML DB

- Forschung 90er, Hype Anfang 00er => Nischenprodukt für bestimmte Anwendungen; XML-Konzepte im objekrelationalen SQL-Standard
- Konzepte: Ausgangspunkt Dokumentbeschreibungssprache (Markup-Sprache) statt starrer Datenstruktur
  Variable Strukturen zur Beschreibung von Daten und Dokumente
  Komplexe Strukturen mit variabler Semantik mgl
  Austauschformat im Web zum Dokument- und Datenaustausch

Entwicklung: Digitale Bibliotheken (ab 2000)

- XML-Dokumente (oder andere Dokumentformate, pdf, doc... oft textlastig) langfristig speichern

- Auffindbar machen über strukturierte Metadaten (etwa in XML oder im relationalen DB-Modell)
- Spezielle Anforderungen: Dokumente haben Wert, können gekauft werden (E-Commerce)
  Dokumenten weltweit eindeutig identifiziert
  Identifier sind persistent, nicht flüchtig, obwohl Dokument vergriffen oder gesperrt sein kann
  Versionierung der Dokumente
- Suche nach Features in Texten (Stichworte,..) oder nach strukturierten Metadaten

Entwicklung: Multimedia DB (ab 95)

- Dokumente nicht nur textlastig, sondern Bild, Audio, Video, 2D/3D-Geoobjekt,...
- Problem: Features sind nicht nu Stichworte, sondern
  Bei Bildern: Farben und Farbverteilungen, erkannte Objekte wie Gesichter, Muster, Strukturen,..
  Bei Videos: Schnitte, Szenen, Bewegungen,...
  Bei Audio: speziell Musik, Melodien, Dynamik, Rhythmus,...
  Bei Geoobjekten: Enthaltensein, Schnittflächen,...

Darstellung komplexer Objekte: OODBS
In OO DBS sind nicht nur Std-Typen für Eigenschaften von Objekten erlaubt, sondern auch wdh Anwendung von Typkonstruktoren.

```
CLASS Personen
        TYPE TUPLE
                (Name: TUPLE
                        (Vorname: STRING,
                        Nachname: STRING),
                Adresse: TUPLE
                        (PLZ: INTEGER,
                        Ort: STRING,
                        Strasse: STRING,
                        Hausnummer: INTEGER),
                Hobbies: SET (Hobby: STRING),
                Geburtsdatum: DATE)
```

Objektidentität

- RDBS: Schlüsselwerte können sich ändern, Identität eines Objektes geht evtl verloren
- OODBS:
  - Objekte ex unabhängig von Werten ihrer Eigenschaften, d.h. Identität bleibt gleich, während sich Eigenschaften ändern

- in technischen Anwendungen: teilweise Objekte nicht durch äußere Eigenschaften unterscheidbar (Bsp: Menge von Schrauben gleicher Art)
- Entscheidung evtl durch Position, aber nicht durch Namen

Ist-Hierarchie (Vererbung)

- Fehlt in RDBS; quasi nur über viele Fremdschlüssel simulierbar
- OODBS:
  - Objekttypen in Vererbungshierarchie mgl

```
CLASS Studenten INHERITS Personen
      TYPE TUPLE
           (Matrikelnummer: INTEGER,
           Studienfach: STRING,
           Vater: Personen,
           Mutter: Personen,
           ...)
```

  - Vererbung (Studenten sind spezielle Personen) und Komponentenobjekte (Vater und Mutter sind Personen)

Methoden statt Host-Prozeduren

- RDBS: spezielle Prozeduren und Funktionen von *außen* aufgesetzt
  SQL Ausdruck oder sogar Programm in höheren Programmierspraceh
  Bsp: Alter einer Person aus Geburtsdatum: Sicht in SQL auf Basistabelle oder C-Programm mit eingebetteter SQL-Anfrage
- OODBS: neben Eigenschaften auch die mit ihnen durchführbaren Methoden in die Objekttyp-Definition einkapseln und vererben
  Bsp: Alter ist in Definition erklärt (Interface, getrennt davon Impl)

Dokumente

- Text- oder große Multimediadokumente: groß, unstrukturiert/maximal semistrukturiert, variabel strukturiert (Text nicht immer starr in Kapitel/Abschnitt/...)
- in RDBS:
  - als CLOB oder BLOB (völlig unstrukturiert), Metadaten extrahieren in relationale Tabelle (Autor, Titel, Format, Länge...)
  - oder *schreddern*: Dokument in kleinste Anteile zerlegen und in relationaler Tabelle speichern mit folgenden Problemen
    Relation sieht starre Struktur vor
    Relation muss Ordnung der kleinste Anteile bewahren bei der Rekonstruktion des gesamten Dokuments

- in XML DB:
  - von unstrukturiert bis voll strukturiert (auch variabel)
  - Markup-Sprache für Dokumente geeignet
  - evtl stark strukturierte Anteile in Relationen gespeichert -> Side Tables

1.2 Nachteile relationaler DB

Komponenten DB-Modell

- **Strukturell:** Datenstrukturen für Anwendungsobjekte, Konzepte, Modellierung von Beziehungen zw Anwendungsobjekten, Integritätsbedingungen
  im Relationenmodell: Relationen (Tabellen) für alles, Schlüssel, Fremdschlüssel
- **Operationenteil:** Generische Operationen auf Datenstrukturen und Beziehungen
  im Relationenmodell: Relationenalgebra, SQL-Anfragen und SQL-Updates
- **Höhere Konzepte:** Metainformationen und objektspezifische Operationen,..
  im Relationenmodell: höchstens Data Dictionary, sonst nichts

Vorteile im Relationenmodell

- **Strukturteil:** einfache, einheitliche Beschreibung der Anwendungsdaten
  Exaktes, mathematisches Fundament
- **Operationeteil:**
  - Deskriptivität: was, nicht wie; mengenorientiert
  - Abgeschlossenheit: Ergebnis ist wieder eine Relation
  - Adäquatheit: alle Konzepte des Strukturteils unterstützt
  - Optimierbarkeit: System kann selbst schnellere Auswertungsreihenfolge finden
  - effiziente Impl: jede Operation der Relationenalgebra effizient implementierbar
  - Sicherheit: jede syntaktisch richtige Anfrage liefert Ergebnis
  - Orthogonalität: Alle Operationen beliebig miteinander kombinierbar

Nachteile Datenmodellierung

- Komplexe Attribute: Wertemengen oder mehrere Komponenten nur über Fremdschlüssel simulierbar
- Beziehungen: immer über Fremdschlüssel dargestellt

Nachteile Datenbankentwurf

- Methoden:

  - Informale Methoden: Entity-Relationship Modell abbilden in Relationenschemata
    Schwach bei komplexen Attributen (simuliert über n:m-Beziehungen)
  - Formale Algorithmen: Attribute und Abhängigkeiten bestimmen Relationenschemata
    Normalformen, Abhängigkeitstreue, ...
    Entwurf ohne Semantik, Abhängigkeiten reichen nicht zur Anwendungsbeschreibung
  - Allgemeine Schwächen: Ergebnis verliert mühsam erfasste Semantik

- mangelnde Semantik: Beschreibung der Semantik mit Abhängigkeiten zw Attributen (funktional[1], mehrwertig)
  Reale Bsp komplizierter: CIM-Datenbank, Ventilfeder, Anlasserzahnkranz,.. (was bestimmt sich funktional oder mehrwertig)
  vernachlässigt: Verbund- und Inklusionsabhängigkeiten

Nachteile Anfragesprache
Strukturmangel im Ergebnis
Beispiel: Dreifacher Verbund zur Rekonstruktion EINES Buches

Nachteile Anfrageoperationen
Anfragen an komplexe Attribute

- keine Unterstützung komplexer Strukturen in Anfrageformulierung
- Notwendigkeit expliziter Verbundoperationen

Nachteile Update-Operationen
Identifikation der Objekte über sichtbare Schlüssel -> Kein Unterschied zw Umzug, Kauf neues Auto
OODBS: Objekte eindeutig identifizierbar -> Unterschied zw Umzug und Autokauf

[1] Attribute bestimmen eindeutig den Wert anderer Attribute, dann spricht man von funktionaler Abhängigkeit

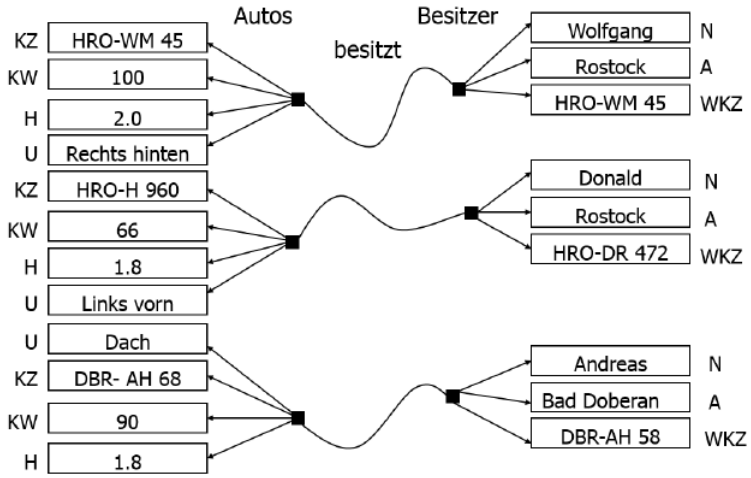


Abbildung 1: Update Operation in OODBS

Klassifikation der Probleme

- Art des Problems:
  Systemspezifisch (konkret am System, bspw MySQL)
  Sprachspezifisch (SQL, jeweiliger Sprachstandard)
  Modellspezifisch (liegt am Relationenmodell)

- Schwere des Problems
  Umständlich oder ineffizient (Formulierung von Anfragen)
  Zusätzliche Tricks notwendig (Darstellung komplexer Objekttypen)
  nicht machbar (bestimmte Arten von Anfragen)

2 Objektorientierte Modelle und Operationen

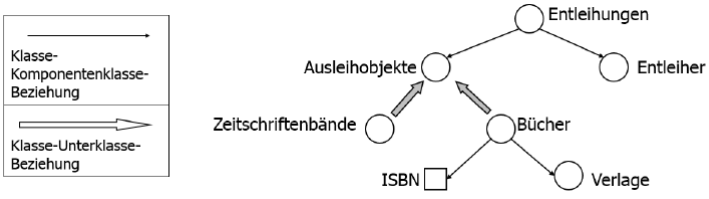
2.1 Konzepte objektorientierter Programmiersprachen

- starker Einfluss der OO DB-Modelle durch OO Systeme
- **Entwurfsphasen**
  1. Identifiziere Objekte der Anwendung
  2. Beschreibe Objekte der Anwendung
  3. Identifiziere Beziehungen und Gemeinsamkeiten zw Objekten
  4. Fasse Objekte mit gemeinsamen Eigenschaften zu Klassen zsm
  5. Identifiziere Beziehungen zw Klassen
  6. Bilde Klassenhierarchien
  7. Implementiere die Funktionen einzelner Klassen
  8. Entwickle Programme aus Objektbeschreibungen

  Phase 2 bis 4 möglichst mit *abstrakten Datentypen*
  Typen: generischer Typ T, beschreibt Menge von Objekten, ein Objekt heißt Instanz
  Funktionen: Operationen durch Signatur beschrieben (Typen des Def.- und Bildbereichs); formal seiteneffekt-frei (verändern nie ein Argument)
  Vorbedingungen: insbesonderefür partielle Fkt (bsp: Kelleroperation top(), nur anwendbar, wenn Keller nicht leer)
  Axiome: Semantikbeschreibung von Fkt, Festlegung des Verhaltens

2.1.1 Prinzipien des OO Entwurfs

- Klassen sind ADT-Implementierungen (meist ohne Axiome, Vorbedingungen)
- Beziehungen zw Klassen:
  Klasse - Komponentenklasse: wird zur Implementierung einer anderen Klasse benutzt
  Komponentenobjekt: im Zustand eines anderen Objekts
  Klasse- Unterklasse: steuert die Vererbung von Attributen und Methoden



Attribute und Methoden
Komponenten eines Objekttyps

- Attribute: Eigenschaften von Objekten
- Methoden: auf Objekten durchführbare Funktionen

Einkapselung

- Schnittstelle (public): Methodensignatur (Eingabe, Ausgabe) -> Protokoll einer Botschaft
- Implementierung (private): Attribute und Methodenimplementierung
- Methodenaufruf: Senden einer Botschaft mit *Objekt.Methode* -> Objekt ist Empfänger der Botschaft
- Klasse: Menge von Objekten mit gleichen Attributen und Methoden
  Programmiersprachen: Klasse ist Implementierung eines ADT
  DB: Klasse ist Objektfabrik (und -lager)

Konstruktor und Destruktor
Zum Erzeugen (Konstruktor; zusätzlich Initialisierung des Objekts) und Löschen eines Objekts (Destruktor)

Zuweisung:
Unterscheidung zw Wert und Referenzsemantik

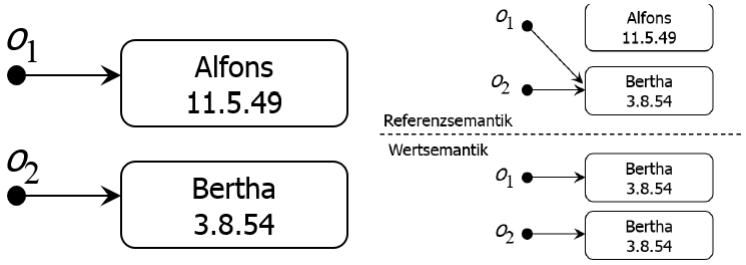


Abbildung 2: Unterscheidung Zuweisung Wert- und Referenzsemantik

Kopieren

- Flaches kopieren: lediglich Verweis auf die Referenz des zu kopierenden Objektes; Originalobjekt und Kopie teilen sich Attribute
- Deep Copy: zusätzliche Kopie der Attribute -> Original und Kopie teilen sie nicht

Identität

- Objekte identisch: gleiche Referenz
- Objekte oberflächlich gleich: gleichen Zustände

- Objekte in der Tiefe gleich: rekursiv gleiche Zustände

Typisierung

- statisch: Typ jedes Ausdrucks zur Übersetzungszeit bekannt
- streng: keine Typfehler zur Laufzeit (Bsp: C++, Eiffel)

Vererbung

- Weitergabe von Attributen und Methoden von Ober- zu Unterklasse

Begriff	Haupteigenschaft
Spezialisierung	Integritätsbedingungen: Objektmenge der Unterklasse ist Teilmenge der Objektemenge in der Oberklasse
IST-Hierarchie	wie Spezialisierung
Typhierarchie	Gleiches Verhalten: jedes Objekt des Untertyps verhält sich wie eines des Obertyps Alle Attribute und Methoden des Obertyps sind auf Objekte des Untertyps anwendbar Substitution: jedes Objekt des Untertyps kann für bel. Objekt des Obertyps eingesetzt werden
Klassenhierarchie	Vererbung der Implementierung: Unterklasse wird mit Hilfe der Datenstrukturen für Attribute und Implementierung von Methoden aus der Oberklasse impl

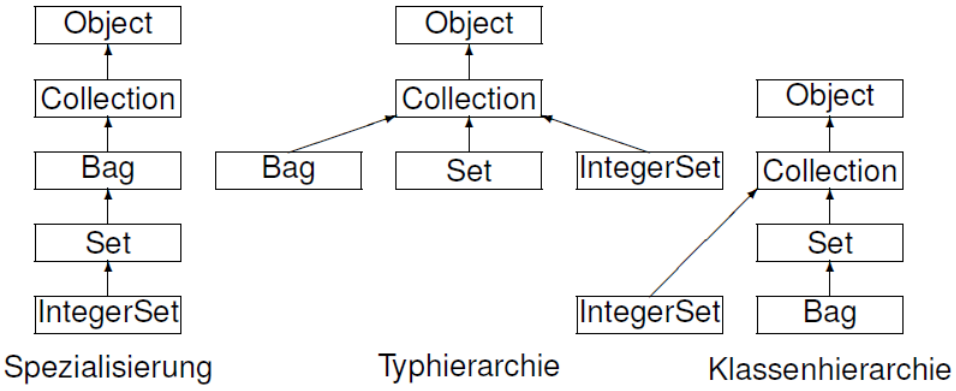


Abbildung 3: Vererbung Unterschiede am Bsp

- Mehrfachvererbung: Klasse darf mehrere Oberklassen haben
  Probleme: Konflikte bei gleicher Methodensignatur -> Vermeidung oder Auflösung bspw. durch REDEFINE einer Methode

Overriding

- Oberklasse: Methode M, Implementierung MI1
- Normalfall der Vererbung: Unterklasse erbt Methode M, Implementierung MI1
- **Overriding:** Unterklasse erbt Methode M, ersetzt Implementierung durch MI2 => erfordert dynamisches Binden
- Varianten des Overriding:
  - *Ersetzung:* völlige Ersetzung von MI1 durch MI2
    Bsp: Eiffel REDEFINE
  - *Verfeinerung:* MI1 wird von MI2 aufgerufen

Polymorphismus und dynamisches Binden

- Methode polymorph: kann auf Objekte unterschiedlicher Klasse angewandt werden => Wiederverwendbarkeit
  Bsp: Addition -> unterschiedliche Impl je nach Datentyp
- dazu notwendig: dynamisches Binden:
  Auflösung eines Methodenaufrufs (dessen Impl) zur Laufzeit anhand des Objekttyps

Vergleich OOPL und OO DB-Modelle Zusätzlich in OODMS notwendig:

Eigenschaft	OOPL	OODM
Attribute, Methoden, Typisierung	untypisiert oder wenig orthogonales Typkonzept; mengen oft durch generische Klassen simuliert	orthogonales Typkonzept zur Darstellung komplexer Werte
Einkapselung	Attribute sollen privat sein	Attribute und Datentypen wahlweise bekannt -> Unterstützung von Anfragen und Zugriffspfaden
Klassen	Implementierung eines ADT	Objektfabrik und -lager, das automatisch verwaltet wird
Konstruktoren & Destruktoren	Objekt wird erzeugt und "klebt" an seiner Klasse	Objekt wird erzeugt, kann aber zu mehreren Klassen gehören und diese auch wechseln
Vererbung	Klassenhierarchie = Vererbung der Impl	Klassenhierarchie = Spezialisierung Typhierarchie = Erweiterung der anwendbaren Attribute, Methoden

generische Operationen: sicher, optimierbar, deskriptiv; Definieren Relationen, dynamische Klassen; in OOPLs simuliert: Methoden auf Mengen(=generische Klassen)
Transaktionskonzept, Flexible Speicherungsstruktur

2.2 Einschub

2.2.1 "Reines" OO programmieren mit Smalltalk

Eigl nur konkrete Umsetzung des vorherigem anhand von Smalltalk. Denke nicht, das dies prüfungsrelevant ist.

- Alle Elemente der Sprache sind Objekte => Kommunikation dazwischen nur Botschaften
- ausschließlich dynamisches Binden
- **Klassen**
  - Klasse ist Instanz ihrer Metaklasse
  - besteht aus: Instanzvariablen (Zustand jedes Objekts)
    Klassenvariablen (Zustand der Klasse als Objekt)
    Instanzmethoden (kann jedes Objekt der Klasse ausführen)
    Klassenmethoden (kann die Klasse ausführen)
  - Klassenhierarchie: Baum mit Wurzel *Object*
- Smalltalk kennt nicht:
  Typisierung
  Mehrfachvererbung
  Gesteuerte Vererbung
  Öffentliche Attribute
  Statisches Binden

2.2.2 Ist C++ streng typisiert?

streng typisiert = keine Typfehler zur Laufzeit
Problem (?) bei

- statisch erzeugten Objekten
- Zuweisung mit Wertsemantik
- Vererbung und Overriding

Fazit: Fehler nicht nachweisbar in neuen Versionen

2.3 Ein objektorientiertes Datenbankmodell: Überblick

Definiton 1

Ein OODBS ist ein System, das

- auf einem OODM basiert

- erweiterbar ist (zumin. konzeptuell)
- weitere DB-Eigenschaften besitzt,
  - Persistenz
  - Speicherungsstrukturen, Zugriffspfade
  - Transaktionen, Concurrency Control
  - Recovery
- neben generischen Operationen (etwa Anfragesprache) auch eine komplette Programmier-Umgebung beeinhaltet.

Beispiel in O_2 - Methoden, Vererbung

```
CLASS Studenten INHERITS Personen
        TYPE TUPLE
                (Matrikelnummer: INTEGER,
                .....)
        METHOD Zur_Verfuegung: REAL END

METHOD BODY Zur_Verfuegung: REAL IN CLASS Studenten
        { RETURN (SELF.Vater.Zur_Verfuegung +
         SELF.Mutter.Zur_Verfuegung) * 0.1;\}
```

2.4 Strukturteil eines OODM

Definition 2 - Strukturteil OODM

Der Strukturteil eines objektorientierten Datenbankmodells besteht aus

- Typen und Typkonstruktoren
- Objektidentität
- Klassen und Typen
- Beziehungen zwischen Klassen
- Klassen- und Typhierarchie
  - Strukturvererbung
  - Mehrfachvererbung
  - Konfliktauflösung bei Mehrfachvererbung
- Integritätsbedingungen

2.4.1 Typkonstruktoren

Definition 6 - Typen und Typkonstruktoren

An Typen stehen im OODM zur Verfügung:

- Standard-Datentypen *integer, string,...,* die für das OODM elementar und vordefiniert sind
- ADT *DATE, TIME, ...,* die mit ilfe von Typen und Typkonstruktoren gebildet wurden entweder vordefiniert oder benutzerdefiniert sind

sowie alle Typen, die mit den obigen Typen und

- Typkonstruktoren *TUPLE OF, SET OF, LIST OF, BAG OF, ARRAY OF*

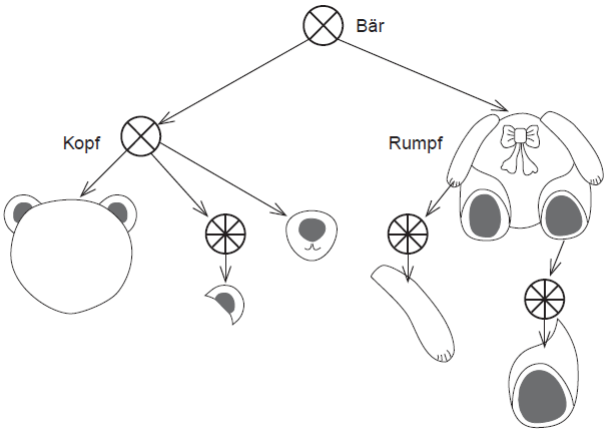
definiert wurden. Die Typkonstruktoren sind dabei orthogonal anwendbar.

- Nach Beeri: SET OF, TUPLE OF orthogonal anwendbar (komplexe Werte)
- Geschachtelte Relationen (NF2-Relationen): SET OF TUPLE OF (Relationenkonstruktor)
- Komplexe Werte und geschachtelte Relationen äquivalent vom Informationsgehalt her

  SET OF (TUPLE OF (Name: TUPLE OF(...)))
- Relationenmodell: nur SET OF TUPLE OF <Standard-Datentyp>
- OOPL: nicht typisiert; nicht orthogonal; einige Konstruktoren nur simulierbar
- rekursive Typdefinitionen (Personen: SET OF TUPLE OF (...Freunde: Personen)) nicht erlaubt, besser durch Objektidentität auflösen (sonst endlos)
- Simulation der Typkonstruktoren in C++
  - statt Typkonstruktor: generische Klasse
  - Nachteile: nicht fest verdrahtet im System; kann redefiniert werden
    Duplikateliminierung nicht automatisch mgl; Semantik einer Menge nicht bekannt
- **Operationen**
  - Tupelkonstruktor: Komponentenzugriff; Test auf (Un-)Gleichheit
  - Mengenkonstruktor: Zugriff auf ein Element: Iteratoren
    Test auf ein Element
    Vergleich von Mengen mit $=, \neq, \subset\subseteq$, und deren Negationen
    Mengenoperationen Vereinigung, Durchschnitt und Differenz

- Listenkonstruktor: Zugriff auf erstes (first), nächstes (next), letztes (last) Element
  Teilliste erstellen ohne erstes Element (tail)
  Iterator zum Durchlaufen der Liste in vorgegebener Reihenfolge
  Konkatenation von Listen

- **Grenzen**
  - Redundanzen bei nichthierarchischen Strukturen
  - geschachtelte Relationen können redundanzfrei nur rein hierarchische Objektmengen darstellen
  - darum Objektidentität notwendig



2.4.2 Objektidentität

Definition 3 - Objektidentität

Eine Objektidentität ist ein *abstrakter* Wert, der für jedes Objekt der Datenbank

- bei Erzeugen dieses Objektes vom System vergeben wird,
- systemweit eindeutig ist,
- unveränderbar ist,
- von außen nicht sichtbar ist.

- daher Beziehungen zw Objekten darstellbar, etwa eine gemeinsame Komponentenobjekte

- bei einigen System von außen sichtbar: dann gelöschte Objektidentitäten nicht wiederverwendbar

- **Unterscheidung Werte - Objekte**

Objekt	Wert
nicht druckbar	druckbar
anwendungsabhängige Abstraktion	anwendungs*un*abhängige Abstraktion
müssen erzeugt und definiert werden	müssen *nicht* erzeugt und definiert werden
trägt selsbt keine Information	trägt Information
werden beschrieben	beschreiben etwas

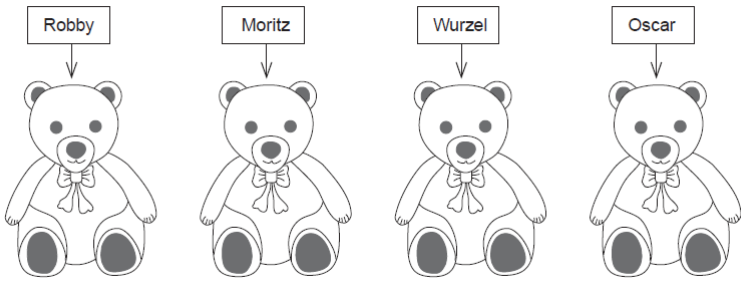
  Danach sind Werte Element von unstrukturierten (atomaren), konkreten Menge, den Domänen von Std-Typen etwa oder
  strukturierten Mengen, die mittels TUPLE OF, SET OF, LIST OF oder anderen Typkonstruktoren erzeugt werden (in denen dann neben Werten auch wieder Objekte vorkommen können)

- **Zuordnung Objekte - Zustände**
  - Zustand eines Objekte o
    - komplexe Werte
    - andere (Komponenten-)Objekte (o heißt dann zusammengesetztes Objekt)
  - Darstellung von Objekten mit Zustand
    Objekt (kleiner Kreis), Zurodnung des Zustands (Pfeil), Zustand (Oval)
    geschachtelte Relationen mit spezieller Spalte für Objektidentitäten (Objektrelationen)

- **Unterschiede, Einordnungen**
  - Relationenmodell
    - Objekte nur über siuchtbare Schlüssel und Fremdschlüssel zu identifizieren
    - veränderbar
    - nur relationenweit eindeutig
    - vom Nutzer vergeben
  - OOPLs
    - Objektidentität meist physischer Zeiger, der aber veränderbar ist
    - ein Objekt kann nicht in mehreren Klassen mit der gleichen Identität auftauchen

- **Realisierungen**
  - Abstrakte Objekte
    - Elemente einer globalen Menge abstrakter Objekte

    - Elemente verschiedener, disjunkter, abstrakter Domänen
  - Surrogat-Attribute
    - beste Implementierung von abstrakten Objekten
    - als konzeptuelle Objektidentität mit Vorsicht zu behandeln (Sichtbarkeit, Änderbarkeit, funktionale Beziehungen zu Zuständen)
  - Namen
    - zur Zusatz-Identifikation einiger Objekte geeignet
    - problematischer Test auf Identität (mehrere Namen für ein Objekt)
  - direkte oder indirekte Referenzen
    - nur als Implementierungshilfsmittel geeignet
    - indirekte Referenzen sind flexibler (Verschiebbarkeit von Objekten)



2.4.3 Klassen und Typen

Definition 4 - Klassen, Zustände, Zustandstypen

eine Klasse besteht aus

- einer abstrakten Domäne (der Wertevorrat der Objektidentitäten)
- einer Extension (auch: Instanz), also der aktuellen Objektmenge = Menge bislang erzeugter und noch nicht gelöschter Objekte (= Persistenz)
- einem zugeordneten Zustandstype (mit Typen und Typkonstruktoren)
- einer Zuordnung von Zuständen zu Objekten

- ein Objekte kann in mehreren Klassen vorkommen (mehrere ROllen spielen: Person, Student, Angestellter,...)
- spielt dann mehrere Rollen durch Ober- und Unterklassen

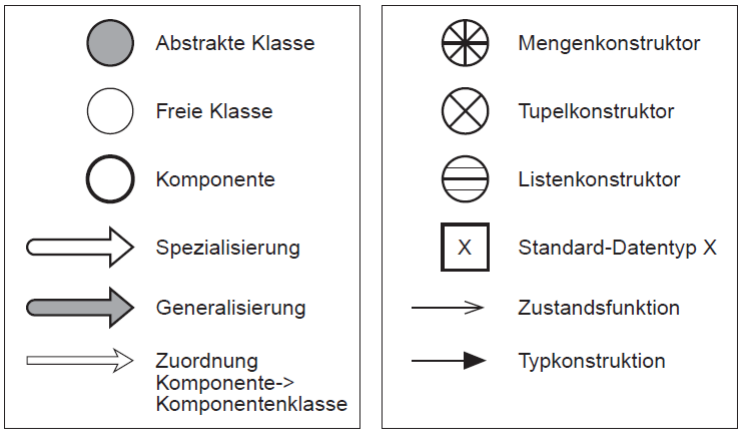


Abbildung 4: Grafische Symbole für OODM

- **Beispiel**
  Der Klasse *Bücher* ordnen wir die folgenden Informationen zu:
  - die abstrakte Domäne $\{\alpha_1, \alpha_2, \ldots\}$, *Bücher* ist abstrakte Klasse (s.u.)
  - die Extension (aktuelle Objektmenge), zunächst leer, nach zehnmaliger Anwendung der Erzeugungsfunktion CREATE etwa $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_1 0$
  - den Zustandstyp

```
TUPLE OF (
        ISBN: STRING,
        Titel: STRING,
        Verlag: Verlage,
        Autoren: LIST OF (Autor: STRING),
        Stichworte: SET OF (Stichwort: STRING),
        Versionen: SET OF (TUPLE OF (Auflage: integer,
)
```

    der jedem Buch α ein Tupel zuordnet, das unter anderem wieder ein Objekt der Klasse *Verlag* beinhaltet.

- **Unterschiede und Einordnungen**
  - Relationenmodell: Relation sammelt Werte, keine Objekte
  - OOPLs: keine Instanz, wird meist explizit in Variable vom SET OF- Typ gesammelt
    Objekte nur in einer klasse
    kann keine unterschiedlichen Rollen spielen

- zwei Arten von Klassen
  Abstrakte Klasse: wird eine abstrakte Domäne zugeordnet; hier gibt es Kon-

struktoren, hier werden Objekte in der DB erzeugt
Freie Klasse: wird *keine* abstrakte Domäne zugeordnet, erhält Domäne durch Vererbung, hier gibt es keine Konstruktoren, hier werden schon in der DB bestehende Objekte neu aufgenommen

2.4.4 Beziehungen zwischen Klassen

Definition 5 - Beziehungen

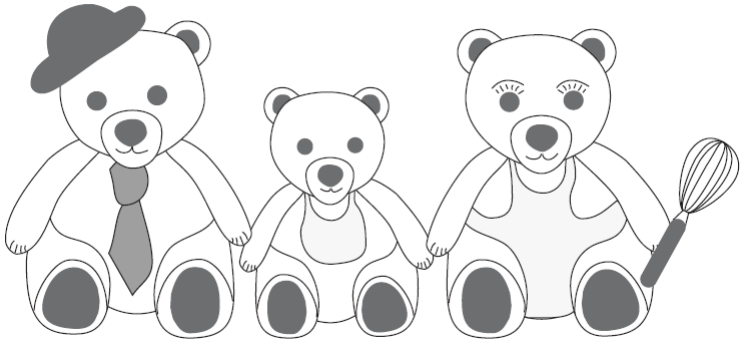
Eine Klasse kann in Beziehung zu anderen Klassen, ein Objekt in Beziehung zu anderen Objekten stehen. Hat eine Klasse K_1 eine Komponentenklasse K_2, so nennt man die Objekte in $K : 1$ zusammengesetzte Objekte mit den zugehörigen Komponentenobjekten aus K_2. Komponentenklassen können folgende Eigenschaften haben:

- *gemeinsam (shared)* oder *privat*
  - gemeinsam: ein Komponentenobjekt in vielen zusammengesetzten Objekten
  - private: ein Komponentenobjekt in maximal einem zusammengesetzten Objekt (ACHTUNG: nicht OOPL Einkapselung privat)
  - Bsp: Verlage gemeinsam in Bücher, Motor privat in Autos
- *abhängig* oder *unabhängig*
  - abhängig: Komponentenobjekt wird gelöscht, wenn (letztes) zugehöriges zusammengesetztes Objekt gelöscht wird
  - unabhängig: Komponentenobjekt bleibt auch in diesem Fall bestehen
  - Bsp: Entleiher unabhängig von Entleihungen; Eltern abhängig in Studenten
- *eingekapselt* oder *nicht eingekapselt*
  - eingekapselt: Zugriff auf Komponentenobjekt nur über zusammengesetztes Objekt
  - nicht eingekapselt: Zugriff auf Komponentenobjekt auch direkt mgl
  - Bsp: Kleinteile eingekapselt in Fahrzeuge

- **Operationen**
  - Zugriff auf Komponentenklassen/Komponenteobjekte mit dot-Operator in Pfadausdrücken
  - für diese kann man evtl. auch Invertierung anwenden
- **Unterschiede**

  - statt asymmetrischer bezihung von zusammengesetztem Objekt zu Komponentenobjekt auch symmetrisch mgl:
  - Relationships wie im ER-Modell: 1:1, 1:n, n:m

- **Einordnung**
  - Relationenmodell: alle Relationships mgl; Komponentenklassen nur simuliert (privat, unabhängig)
  - OOPLs: 1:n-Relationships durch Komponentenklassen; Komponentenklassen meist mit fixierter Semantik



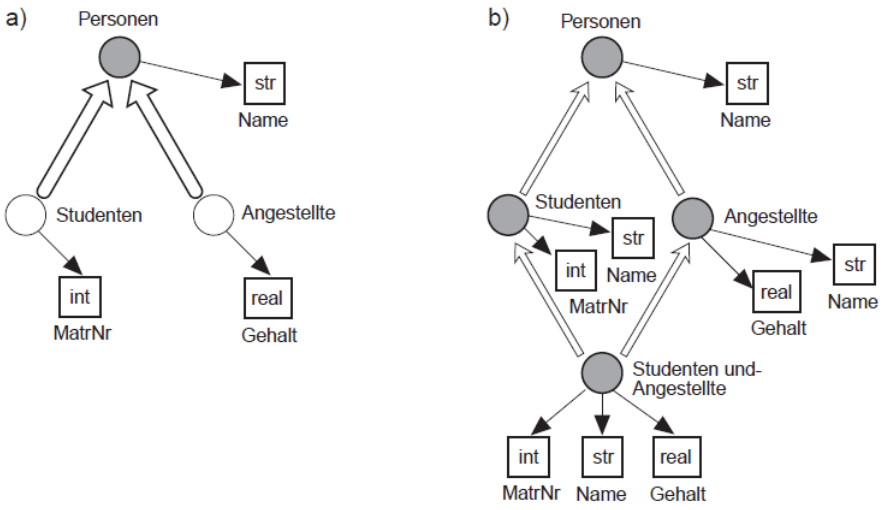
2.4.5 Strukturvererbung

Definition 6 - Strukturvererbung: Klassen- und Typhierarchie

K_1 Unterklasse von K_2, wenn Extension zu K_1 Teilmenge der Extension zu K_2

T_1 Untertyp von T_2, wenn T_1 mehr Komponenten hat als T_2 (Definition vereinfacht für T Tupeltyp)

- nach DB-Entwurf: beide Hierarchien parallel
- nach Anfragen: Hierarchien müssen nicht mehr übereinstimmen
- **Einordnung:**
  - OOPLs: K_1 Unterklasse von K_2m wenn K_1 die Methoden von K_2 erbt (nutzt die Impl. von K_2)
  - etwa mgl: BAG Unterklasse von SET, da BAG Impl von SET nutzt, konzeptuell ist SET Unterklasse von BAG



a): Sicht Klassenhierarchie; b): Sicht Typhierarchie

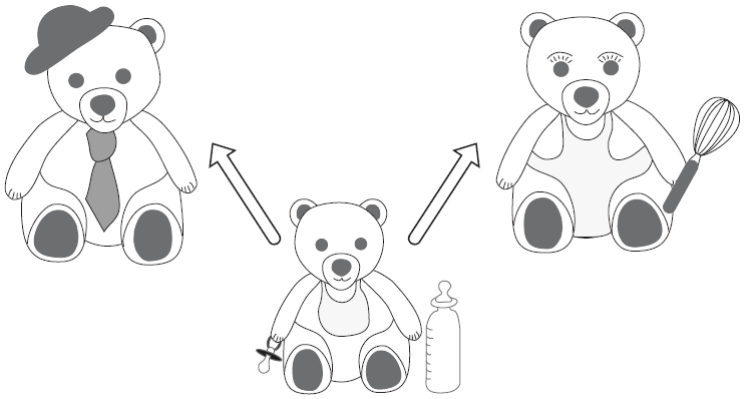
Begriffe	Bedeutung in OOPLs	Bedeutung in OODMs
Klassenhierarchie	Vererbung der Implementierung	Integritätsbedingungen
Typhierarchie	Gleiches Verhalten, mehr anwendbare Attribute	Gleiches Verhalten, mehr anwendbare Attribute
IST-Hierarchie	Integritätsbedingung	Integritätsbedingung und gleiches Verhalten
Spezialisierung	wie IST-Hierarchie	Festlegung der Domäne von Oberklassen
Generalisierung	invers zu Spezialisierung	Festlegung der Domäne von Oberklassen
allgemein	ohne Wertvererbung	mit Wertvererbung

- **OODB-Begriffe**
- **Spezialisierung und Generalisierung**
  in OODB: beides spezieller Arten der Klassenhierarchie
  - Spezialisierung
    - Oberklasse (abstrakt oder frei) gegeben
    - Unterklassen sind Teilmengen (frei)
  - Generalisierung
    - Unterklassen (abstrakt oder frei) gegeben
    - Oberklasse ist Vereinigung (frei)
  - Beispiele

    - Spezialisierung von Personen (abstrakt) zu Studenten (frei)
    - Spezialisierung von Studenten (frei) zu Hilfsassistenten (frei)
    - Generalisierung von Studenten und Angestellte (beide frei) zu Entleiher (frei)
    - Generalisierung von Angestellte (frei) und Geräte (abstrakt) zu Haushaltspositionen (frei)

- **Problem: Mehrfachvererbung**
  Lösung wie in OOPLs

- **Flache und tiefe Extension**
  - flach: alle Extensionen sind disjunkt (in OOPLs üblich)
  - tief: simuliert Mehrfachzugehörigkeit von Objekten zu Klassen
  - aber kein allgemeines Inklusionsprinzip (da disjunkter Durchschnitt)
  - Objekte werden immer in speziellster Klasse erzeugt



2.4.6 Integritätsbedinungen

Definition 7 - Integritätsbedingungen

Schlüssel

- vererbte Schlüssel (bei Personen definieren, bei Unterklassen nicht nötig)
- komplexe Schlüssel (Titel und Menge von Autoren bei Büchern)
- Schlüssel von Komponenten (Titel von Buch und Name von Verlag)
- andere Identifizierungsmechanismen (Klassenzugehörigkeit)

Kardinalitäten

- Nullwerte oder nicht
- Beziehungen 1:1, 1:n, m:n, meist asymmetrisch simuliert: Klassen und Komponentenklassen
- Mengenkardinalitäten (student darf max 10 Bücher ausleihen, muss min drei VL hören); Vorsicht: unentscheidbar

Integritätsbedingungen an die Strukturvererbung

- Überdeckungsbedingung: außer Angestellten, Studenten gibt es keine weiteren Personen
- Disjunktheitsbedingung: Angestellte, Studenten sind disjunkt

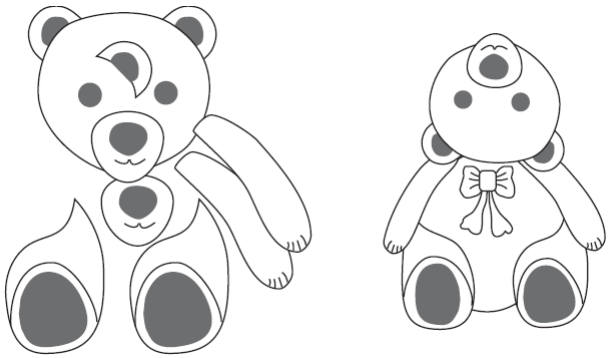


Abbildung 5: Auswirkung fehlender Integritätsbedingungen

2.5 Operationenteil eines objektorientierten Datenbankmodells

- min die Möglichkeiten wie in SQL
- relationale Semantik: man extrahiert Werte aus Zuständen von Objekten
  Ergebnis ist geschachtelte Relation
- objekterzeugende Semantik:: man erzeugt neue Objekte als Anfrageergebnis mit Zuständen, die von vorhandenen Objekten extrahiert wurden
  Ergebnis ist eine dynamisch erzeugte Klasse
- objekterhaltende Semantik: man erhält eine Auswahl der in der DB vorkommenden Objekte mit neuen Zuständen
  Ergebnis ist dynamisch erzeugte Ober/Unterklasse

- **Einordnung, Unterschiede**
  - Relationenmodell: generische Anfragen und Updates auf flachen Relationen
  - OODBSs: Standard-Methoden auf COLLECTION-Klassen (Selektionen mit sehr einfachen Selektsionsprädikaten)
    OSQL mit relationaler Semantik (nicht so mächtig wie Std-SQL)
- Taxonomie generischer Operationen

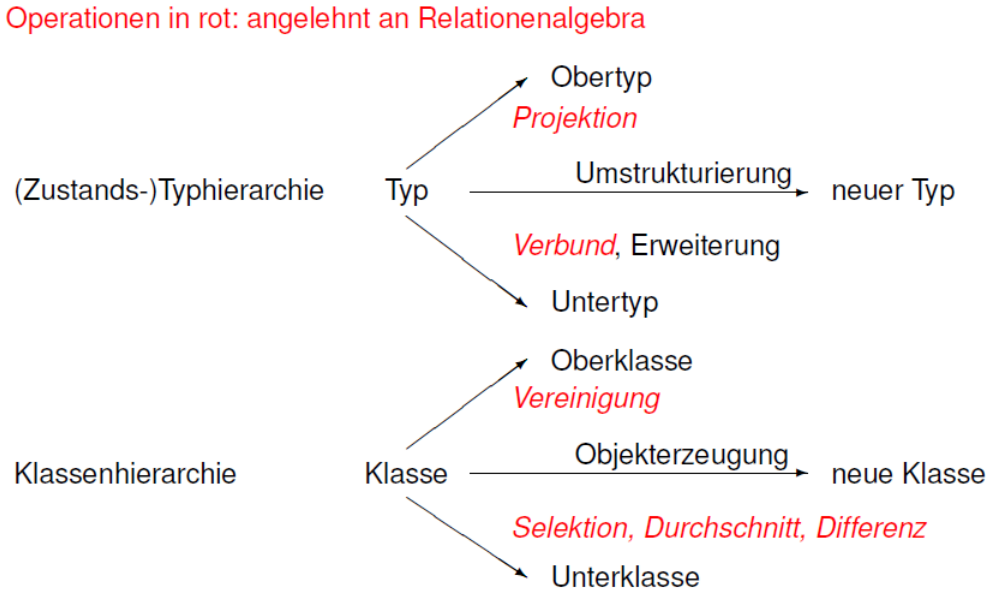


Abbildung 6: Taxonomie generischer Operationen

- Relationale Operationen
  - Relationenalgebra
  - Minimale geschachtelte Algebra (auf geschachtelten Relationen)
  - orthogonal geschachtelte Algebra
  - PNF-Algebra (auf geschachtelten Relationen in PNF = Partitioned Normal Form): bewahren Schlüssel, können also auch Objektidentitäten (und damit Objektrelationen) bewahren
- **Anfragen:** klassenbasiert oder extensionsbasiert
  - **Klassenbasierte Anfragen**
    - bei objekterhaltender Semantik: man erhält eine Auswahl der in der DB vorkommenden Objekte mit neuen Zuständen
    - Ergebnis ist dynamisch erzeugte Ober/Unterklasse

- **Extensionsbasierte Anfragen**
  - bei objekterhaltender Semantik: man erhält eine Auswahl der in der DB vorkommenden Objekte mit neuen Zuständen
  - Ergebnis ist eine neue Extension einer bereits bestehenden Klassen
- Beispiel:
  - Selektion auf Klasse Studenten nach Studiengang 'Informatik'
  - Klassenbasiert: Unterklasse Informatiker von Klasse Studenten
  - Extensionsbasiert: Neue Extension Informatiker zur existierenden Klasse Studenten

2.6 Höhere Konzepte eines objektorientierten Datenbankmodells

- höhere Konzepte: formal nur in Prädikatenlogik höherer Ordnung beschreibar (Struktur- und Operationenteil in 1. Ordnung)
- Methoden:
  Schnittstellen, Impl, Einkapselung, Vererbung, Overriding, Mehrfachvererbung, Konfliktauflösung
- Metaklassen
- **Methoden**
  - Anfrage- und Update-Methoden
    Anfragen liefern neues (abgeleitetes Attribut) bel. Typs
    Updates liefern Fehlercode, Seiteneffekt: Änderung des Zustands des aktuellen Objekts
  - Schnittstelle: Ein- und Ausgabeparameter, ihre Typen
    Impl: meist in OOPL (eingekapselt)
  - Folgende Konzepte wie in OOPLs
    Vererbung, Overriding, Einkapselung, Mehrfachvererbung, Konfliktauflösung

- **Varianten der Einkapselung**

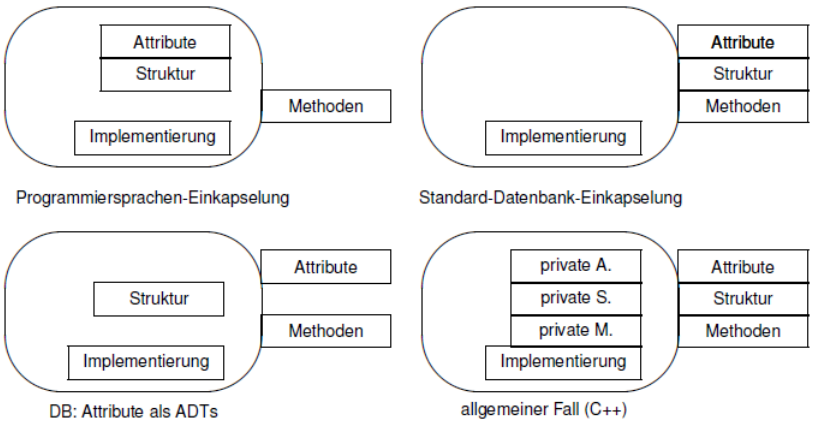
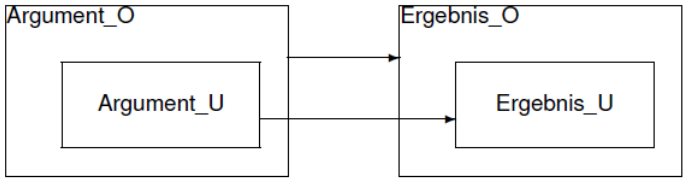
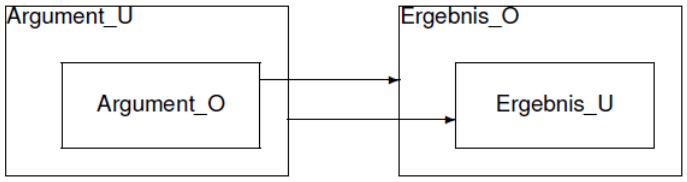


Abbildung 7: Varianten der Einkapselung

- **Overriding von Schnittstellen**
  bisher: Ersetzen von Impl.
  jetzt auch: kontrolliertes Ersetzen von Schnittstellen
  Notation: O - Methode der Oberklasse; U - Methode der Unterklasse



Kovarianz: Argument- und Ergebnistyp wird Untertyp

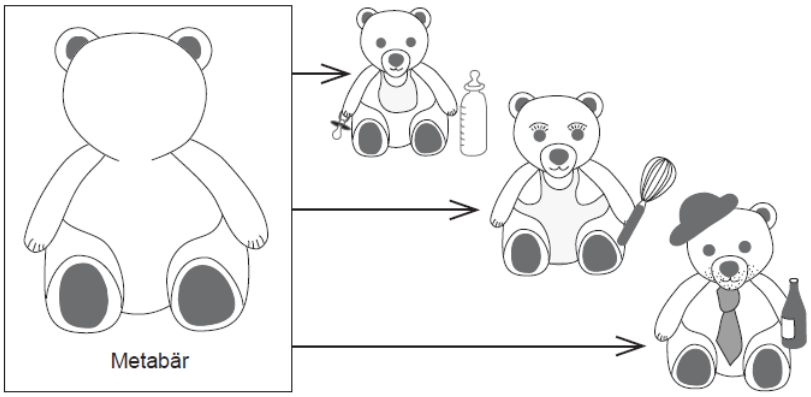


Kontravarianz: Argumenttyp wird Obertyp, Ergebnistyp wird Untertyp

- **Ko- und Kontravarianz**
  - Kovarianz (Eiffel)
    Argument(typ) + Ergebnis(typ) wird jeweils Untertyp
    sinnvoll, aber nicht typsicher

- Kontravarianz
  Argument(typ) wird Obertyp, Ergebnis(typ) wird Untertyp
  nicht sinnvoll, aber typsicher
- No-Varianz (C++)
  Argument(typ) und Ergebnis(typ) bleiben unverändert

- **Metaklassen**
  - Klassen werde als Objekte (Instanzen) einer höheren Klasse (Metaklasse) aufgefasst
  - dem Objekt (der Klasse) können dann Zustände zugewiesen werden, auf dem Objekt (af der Klasse) können Methoden ausgeführt werden
  - in OOPLs:
    Klassenattribute statt Instanzattribute
    zb C++ statische Var mit static
  - Anwendung: setzen Defaultwerte
  - Anwendung: Methodendefinition
    höhere Konzepte = Beschreibbar in Prädikatenlogik $>$ 1. Ordnung



- **Instanzbeziehungen**
  - neben Klasse-Unterklasse Beziehung (IST, INHERIT, Strukturvererbung, Klassenhierarchie) und
  - Klasse-Komponentenklasse-Beziehung (IS_PART_OF) auch
  - IS_INSTANCE_OF: Klasse-Instanz-Beziehung oder kurz Instanzbeziehung

- **Einige formale Definitionen**

Definition 8 - Typen, Typenkonstruktoren

Ein Typ ist ein Standard-Datentyp T, dem eine unstrukturierte Menge $dom(T)$ zugeordnet wird, oder ein konstruierter Typ:

- $T = \text{tuple of}(A_1 : T_1, \ldots, A_n : T_n)$, wobei $T_1, \ldots, T_n$ wiederum Typen sind und $dom(T) = dom(T_1) \times dom(T_n)$ gilt,
- $T = \text{set of}(T_1)$ (oder auch $T = \text{set of}(A_1 : T_1)$), wobei T_1 wiederum ein Typ ist und $dom(T) = \rho(dom(T_1))$ gilt,
- $T = \text{list of}(T_1)$ (oder auch $T = \text{list of}(A_1 : T_1)$), wobei T_1 wiederum ein Typ ist und $dom(T) = T_1^*$ gilt.

Definition 9 - abstrakte Domäne und Objektidentitäten

Sei $\mathbb{D}_\mathbb{A}$ eine Menge disjunkter, unendlicher Mengen D_A. Dann nennen wr jedes D_A eine abstrakte Domäne. Jedes Element von D_A ist eine Objektidentität (oder ein (abstraktes) Objekt).

Definition 10 - Zustandstyp und Zustand

Jedem (abstrakten) Objekt (oder jeder Objektidentität) wird ein komplexer Typ T als Zustandstyp funktional zugeordnet. Der Zustand eines Objektes ist dann eine Instanz seines Zustandstyps.

Definition 11 - Klasse, Abstrakte Klasse, Extension

Ein gegebener Anwendungs-Objekttyp wird durch eine Klasse K aus der Menge aller Klassen $\mathbb{K}$ repräsentiert. Jeder Klasse wird eine Domäne, eine Extension, ein Zustandstyp und eine Zustandsfunktion zugeordnet. Wird K eine abstrakte Domäne als Domäne zugeordnet, so bezeichnen wir K als abstrakte Klasse. Die Zuordnung geschieht über die Funktion dom mittels $dom : \mathbb{K} \to \mathbb{D}_\mathbb{A}$. Die aktuelle Extension einer Klasse $o(K)$ ist eine Teilmenge von $dom(K)$. Wird K keine abstrakte Domäne zugeordnet, so heißt K freie Klasse.

Definition 12 - Zustandstyp einer Klasse, Zustandsfunktion

Jeder Klasse K wird ein Zustandstyp T_K funktional zugeordnet, der ein Standard-Datentyp, wiederum eine Klasse oder ein komplexer Typ ist. Ist im Zustandstyp eine Klasse enthalten, so wird diese Klasse Komponentenklasse von K genannt. Jedem Objekt α aus der Extension $o(K)$

wird mittels der Zustandsfunktion ZUSTAND ein Element w von T_K zugeordnet. Dabei ist das Element von T_K aus der Domäne des Typs bei Standard- und komplexen Typen und aus der Extension der Klasse bei Komponentenklassen. w wird Zustand von α genannt.

Definition 13

Die Menge aller Klassen $\mathbb{K}$ sei partitioniert in die Menge aller abstrakten Klassen $\mathbb{K}_{\mathbb{A}}$ und die Menge aller freien Klassen $\mathbb{K}_{\mathbb{F}}$. Die Menge aller Spezialisierungen ist eine binäre Relation *spec* über Klassen. Für jedes Element $K_1 spec K_2$ gilt, dass K_1 eine freie Klasse sein muss.
Die Menge aller Generalisierungen ist eine binäre Relation *gen* über Klassen. Für jedes Element $K_1 gen K_2$ gilt, dass K_2 eine freie Klasse sein muss.
Die reflexive und transitive Hülle von $spec \cup gen$ wird mit $\leq$ bezeichnet und Klassenhierarchie genannt. Es wird zusätzlich gefordert, dass $\leq$ eine partielle Ordnung auf Klassen ist. Für jede freie Klasse K definieren wir die Domäne durch

$$dom(K) := \cap_{(K,K_i) \in spec} o(K_i) \text{ oder } dom(K) := \cup_{(K_i,K) \in gen} o(K_i)$$

wobei $o(K_i)$ die Extension der Klasse K_i ist. Im zweiten Fall wird oft die Überdeckungsbedingung, also $o(K) = \cup_{(K_i,K) \in gen} o(K_i)$ gefordert.

Man beachte, dass in der letzten Definition jeder Klasse genau eine wohldefinierte Domäne zugeordnet wird, falls folgende Zusatzeinschränkungen getroffen werden (die in den Modellen IFO und EXTREM vorhanden sind):

- Jede freie Klasse taucht wenigstens einmal entweder auf der linken Seite eines *spec*-Tupels oder auf der rechten Seite eines *gen*-Tupels auf.
- Jeder Pfad aus *spec*-Tupeln, der in einer bestimmten Klasse K startet, endet in derselben Klasse K'.
- Die binäre Relation $spec \cup gen^{-1}$ ergibt einen gerichteten, azyklischen Graphen. Man beachte, dass zur Kontrolle der Azyklizität die Richtung der *gen*-Tupel umgedreht werden muss. Andreas

Die entsprechende Typhierarchie kann nun aus der Klassenhierarchie abgeleitet werden: alle in Oberklassen spezifizierten Attribute sind implizit auch für die Unterklassen definiert. Zunächst gehen wir davon aus, dass die jeweiligen Attributmengen disjunkt sind.

Definition 14 - Vervollständigter Zustandstyp, Typhierarchie

Sei $K \leq K_1, K \leq K_2, \ldots K \leq K_p$ gegeben, dabei seien $K_1, K_2, \ldots, K_p$ alle direkten Oberklassen von K. Dann ist der vervollständigte Zustandstyp von K der Tupeltyp, der durch Konkatenation der vervollständigten Zustandstypen von $K_1, K_2, \ldots, K_p$ entsteht. Dann gilt: Ist $K \leq K'$, dann ist der vervollständigte Zustandstyp von K Untertyp vom vervollständigten Zustandstyp von K'. Die Zustandstypen stehen dann bezüglich $\leq$ in einer Typhierarchie zueinander.

2.7 Klassifikation objektorientierter Datenbanksysteme

- Entwicklungsrichtungen
  OO Datenbankprogrammiersprachen (OODBPLs)
  Objektrelationale Datenbanksysteme (ORDBMSs)
  Neuentwicklungen

- Andere Einteilung
  OO (OODGMSs): OODBPLs; Neuentwicklungen (native OODBMSs)
  Objektrelational (ORDBMSs): erweitert relational (nur Typkonstruktoren und Objektidentität); voll objrektrelational; offen, Wrapper oder Mapper

- Entwicklungen und Herausforderungen
  - OOPLs → OODBSs: OOPL erweitern um
    Strukturteil: Extension, Persistenz, Typen,...
    Operationenteil
    Speicherungsstrukturen, Zugriffspfade, Transaktionen, Concurrency Control
  - RDBSs → OODBSs: relationales DBS erweitern um
    Strukturteil (Typkonstruktoren, Objektidentität, Klassen, Klassen-/Typhierarchie)
    Methoden, Vererbung, Overriding
  - Völlige Neuentwicklungen
    nicht OOPL oder relationales Datenmodell als Basis; eigenes OODM

- **OODBPLs**
  - Basis: C++, Smalltalk, CLOS, Java
  - Standard: ODMG-Bindings
  - Bsp: ObjectStore
    setzt Persistenzkonzept von Atkinson um (siehe Kap 5)
    Effizienz bei Zugriffen auf komplexe Objekte
  - Nachteile: kein Operationenteil, kein Sichtkonzept
    nur Strukturteil (eingeschränkte Implementierungshierarchie) und Verhaltensteil verwirklicht

dadurch starke Einschränkungen in Anwendungsmodellierung
keinen Ebenentrennung: Speicherstrukturen, Sperren sichtbar

- **ORDBMS**
  - Basis: Relationenmodell
  - Standard: SQL:1999,..., SQL:2011
  - Objektrelationale DBS
    Relationen mit Klassen, Methoden, Klassen- und Typhierarchie
    Bsp: POSTGRES, alle großen RDBMS wie Oracle, DB2

- Wann ist ein System objektrelational?
  umstrittene Quadrantenqualifikation nach Stonebreaker besser: nach Standard SQL:1999

	einfache Daten	komplexe Daten
Anfragen	relationale DB	Objektrelationale DB
keine Anfragen	Dateisysteme	Objektorientierte DB

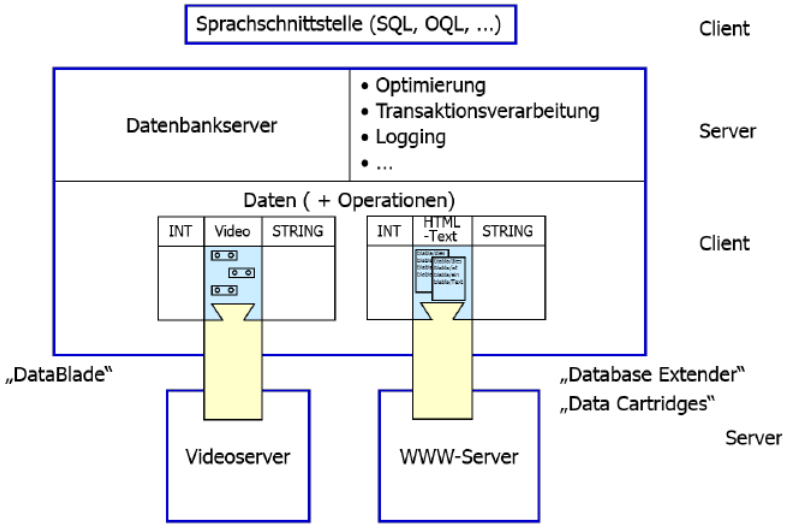
oder SLQ:2003

Kriterien		objektrelationale DBS
Bestandteile	Konzepte	
Strukturteil	Typkonstruktoren	√
	Objektidentität	√
	Klassen	(√)
	Beziehungen	(√)
	Strukturvererbung	√
	Integritätsbeding.	√
Operationenteil	generische	√
	extensionsbasiert	√
	klassenbasiert	
Höhere Konzepte	Metaklassen	
	Methoden	√
	Vererbung	√
	Overriding	(√)
	Einkapselung	(√)

- **Objektrelationale Strukturen**
  - relationales Datenmodell
  - Drei-Ebenen-Architektur: volle Datenunabhängigkeit und Flexibilität mgl
  - als Typen jedoch ADTs mit Typhierarchie, Methoden, evtl Overriding
  - Objektidentitäten, Klassen oder Relationen (Tabellen)
  - Klassen- oder Relationenhierarchien (Tabellenhierarchien)
  - jedoch grundlegender Datentyp (auch für Anfragen): Relationen

  drei Architekturen objektrelational
  - OO-Schnittstelle auf RDBS: Wrapper (zb hibernate)

- RDBS mit internen ADT-Erweiterungen: halboffen (DB2, Oracle)
- RDBS mit externen ADT-Erweiterungen: offenes ORDBMS (Informix)



Beispiele: objekt-relationales Datenbanksystem Informix, Oracle, DB2

- **Nachteile objektrelationaler Systeme**
  - weiterhin Impedance Mismatch zu OOPL-Umgebungen
  - oft Etikettenschwindel (nur DBS mit ADTs): noch große Unterschiede zw geplantem Standard SQL4, verabschiedetem Standard SQL:2003 und realen ORDBMS
  - Anfragen/Sichtkonzept unterstützen relationale, aber nicht di eobjektorientierten Anteile im Modell
  - Persistenzprinzip eingeschränkt: nur Tupel in Relationen persistent
- **Neuentwicklungen**
  - Basis: eigenes OODM
    nicht: Relationen mit Objekttypen und Objektidentität
    nicht OOPL-Klassen wie C++ und Smalltalk
  - O_2
    zunächst OODM wie in VL
    danach Klassenhierarchie durch Typhierarchie ersetzt
    danach Verzicht auf Extensionen
    aber: Persistenz durch Namenskonzept, Erreichbarkeit
  - **ITASCA**
  - **OSCAR**
  - keine dieser Entwicklung hat überlebt (Stand 2015)

- Wie sieht es aktuell aus?
  Relationale DBSs → OODBSs? PostgreSQL, IBM DB2 ab V2, Oracle ab V8
  aktuelle Richtungen: NoSQL, Postrelationale DBS, Dokumentorientierte DBS

3 Der ODMG-Standard

3.1 Modelle für OODBPL

- Attribute und Methoden, Typisierung
  OOPLs: untypisiert oder wenig orthogonales Typkonzept, Mengen oft durch generische Klassen simuliert
- Einkapselung
  OOPLs: Attribute sollen privat sein
- Klassen
  OOPLs Klasse ist Implementierung eines ADT
- Konstruktoren und Destruktoren
  OOPLs: Ein Objekt wird erzeugt und *klebt* an seiner klasse
- Vererbung
  OOPLs: Klassenhierarchie = Vererbung der Implementierung

3.2 der ODMG-Standard

- ODMG = Object Database Management Group
- Struktur: Objektmodell, ODL und OQL, Sprachanbindung (C++, Java)
- seit 2006 ist V4 geplant, 2014 Arbeit eingestellt

Produkt	ODL	OQL	C++	Smalltalk
GemStone	(< √ >)			√
MICRAM	√		(√)	
O_2		√	√	√
Objectivity	(√)	(√)	(√)	(√)
ObjectStore			√	√
ODBMS				< √ >
Omniscience	< √ >	(√)	< √ >	
POET		(< √ >)	√	
UniSQL		√	< √ >	< √ >
Versant			√	

- **Grundkonzepte**
  - Objekte: Zustand direkt Bestandteil des Objektes (atomare und strukturierte Objekte); früher mutable objects
  - Literale: Werte (atomar oder strukturiert), früher immutable objects
  - Eigenschaften von Objekten: Attribute und Beziehungen
    Attribute: Werte oder Objekte
    Beziehungen: Objekte

Beziehungen vs. objektwertige Attribute: Beziehungen immer mit inversen Referenzen, bei objektwertigen Attributen nicht

- Verhalten von Objekten: wird mit Operationen beschrieben (Methoden(-Schnittstellen))
- Typen: sammeln Objekte mit gemeinsamen Eigenschaften und gemeinsamen Verhalten

- Unterscheidung Schnittstelle und Implementierung
  pro Schnittstelle diverse Impl.; nicht nur bei Methoden, sondern auch im Strukturteil
- Typ durch Schnittstelle und mehrere Impl beschrieben
- Klasse ist eine konkrete Impl. dieses Typs
  Impl. des Strukturteils (Repräsentation der Attribute durch Datenstrukturen oder Methoden)
  Impl. des Verhaltensteils durch eine Menge von Methoden
- Def. von Schnittstellen und Impl
  Für Schnittstellendef. ODL oder PL-ODL
  Def. der Impl. sprachabhängig (C++, Java,...)

- Typhierarchie: Strukturvererbung und Vererbung von Methoden (in ODMG: Operationen; Substituierbarkeitsprinzip), Overriding
- Implementierungshierarchie: auf Klassen auch Impl.hierarchie (Wortsymbol extends); keine Mehrfachvererbung
- Instanzen: Instanz eines Typs ist (erzeugtes) Objekt von diesem Typ; virtuelle Typen (abstrakte Typen, abstract types in ODMG) haben keine Instanzen
- Extension: aktuelle Objektmenge einer Klasse; definierbar für jede Klasse; alle Instanzen des Typs werden Elemente der Extension
- tiefe Extension: Extension einer Unterklasse Teilmenge der Extension der Oberklasse (aber kein Rollenkonzept)
- Schlüssel: gilt für Extension der Klasse

3.3 Der Strukturteil und höhere Konzepte des ODMG-Standards

- Objekte haben Objektidentität und evtl Namen
- Lebensdauer eines Objektes zur Erzeugungszeit festgelegt
- **Objektidentität**
  Test auf Identität: Operation *same_as*

Erzeugung von Objekten durch Konstruktor-Operation (vordef. Schnittstelle: factory interfaces)
persistente und transiente Objekte können zu einem Typ gehören und können auch mit den gleichen Operationen manipuliert werden

- **Namen**
  Objektidentität nach außen nicht sichtbar
  falls keine Extension: benannte Objekte sind DB-Einstiegspunkte

- **Collection-wertige Objekte**
  - OODM: Objekte immer unstrukturiert (atomar)
  - ODMG: die beiden Bestandteile zusammengezogen (nicht bei tupelwertigen Zuständen: atomare Objekte mit einem tupelwertigen Zustandstyp)
  - ODMG-Objektmodel nähert sich den OOPL-Modellen wie C++, Java an
    Set<T>, Bag<T>, ... T bestimmt Elementtyp der Collection
  - vordef. Operationen
    Erzeugung: new_of_size (in long size)
    über die collection factory interfaces, initiale Größe durch size
    Tests: cardinality, is_empty, contains_element
    Update-Operationen: insert_element, remove_element
    Iteratoren: create_iterator,..
    ....

- **Werte oder Literale**
  - atomatore Typen
    (unsigned) long/short, float, double, bollean, char, string, enum
  - komplexe Typen (collection-wertig)
    set<t>, bag<t>, list<t>, array<t>, dictionary<t,w>
  - komplexe Typen (tupelwertig)
    vordef. Tupeltypen date, time, interval, timestamp
    Typ struct mit Operationen set_element,..

- **Schnittstellen**
  def. mit interface Klausel der ODL
  Atribute
  - können mit Werten oder Methoden realisiert (gute Einkapselung)
  - Bsp:

```
interface PERSON_S
        {
attribute long PANr;
...       ...
attribute date Geburtsdatum;
```

```
attribute unsigned short Alter;
}
```

- Impl. von Alter ist noch völlig frei
- Attribut: unidirektionale Referenz zu Komponententyp

Beziehung

- bidirektionale Referenz zu Komponententyp (Konsistenzchecks)
- Beispiele

```
interface Student_S : Person_S {
attribute long Matrnr;
...      ...
attribute Person_S Mutter;
relationship Angesteller_S Betreuer
        inverse Angesteller:S::Betreut;}
```

  korrespondierende Klausel des Betreuers in Typ Angestellter_S

```
interface Angestellter_S : Person_S {
attribute long Angnr;
...      ...
relationship Set<Student_S> Betreut
        inverse Student_S::Betreuer}
```

- ist 1:n Beziehung; 1:1 und n:m über Typen steuern

Operationen
durch Signatur (Namen der Operation, name und Typ der Argumente und Ergebnis, Namen ovn Ausnahmen)
Vererbung, Overriding (Overloading genannt), dynamisches Binden

Konzept in OODM	Konzept in ODMG
Wert	Literal
Objekt	atomares Objekt
Objekt mit `Collection` als Zustandstyp	`Collection`-wertiges Objekt
Tupelkonstruktor	Wertetyp `struct`
Mengenkonstruktor	Wertetyp `set`
	Objekttyp `Set`
Listenkonstruktor	Wertetyp `list`
	Objekttyp `List`
...	...
Klasse	Objekttyp und Extension
Implementierung eines Typs	Klasse
Instanz	Extension
Schlüssel	Schlüssel
virtuelle Klasse	abstrakter Typ
vordefinierter ADT	vordefinierter `struct`-Typ
Attribut	Attribut
Anfrage-Methode	Abgeleitetes Attribut oder Operation
Klasse—Komponentenklasse-Beziehung	Objektwertiges Attribut
diese auch mit inverser Beziehung	Beziehung
Klassenhierarchie	nicht verwirklicht
Typhierarchie	Typhierarchie
Implementierungshierarchie	`extends`-Hierarchie auf Klassen
Methode	Operation
Methodenimplementierung	Methode
Overriding	Overloading

Abbildung 8: Zusammenfassung Vergleich

3.4 Die ODL des ODMG-Standards

- definiert Schnittstellen, Klassen

```
interface <Name> : <Obertypen>
        {<Schnitstellenspezifikation>}
class <Name> extends <Oberklassen> : <Obertypen>
        (extent <Extension>
        keys <Schluesselmenge>)
        {<Schnittstellenspezifikation>}
```

- Schnittstellenspezifikation

```
[readonyl] attribute
        <Typ>
        <Attributname>

relationship
        <Typ>|<Collection-Typ>< <Typ_1> >
        <Attribut_1>
        inverse <Typ_2>::<Attribut_2>

/* fuer Operationen:
<Typ>| void
        <Operationenname>
        (<Param_1>, ..., <Param_n>)
        raises (<Ausnahmen>)
```

- Definition der Parameter

```
on | out | inout
<Typ><Parametername>
```

- Typ- und Impl.hierarchie

	Typhierarchie	Implementierungshierarchie
Obertyp	Schnittstelle	Klasse
Untertyp	Schnittstelle oder Klasse	Klasse
Art der Vererbung	Mehrfachvererbung	Einfachvererbung

- Klassenhierarchie ermöglicht keine Mehrfachvererbung

3.5 Der Operationenteil und die OQL des ODMG-Standards

- Object-Query-Language ist Anfragesprache basierend auf SFW-Block von SQL-92
- zusätzlich: komplexe Werte, Objektidentitäten, Pfadausdrücke über Komponentenobjekte hinweg, Methoden, Overriding von Methoden
  nicht nur Mengen, sondern allgemeien Collection
  neben dem SFW-Block auch bel. andere Anfrageblöcke
- funktionale, orthogonale Sprache
- Grundprinzip einer Anfrage: Ausgangspunkt -> Name eines atomaren, strukturierten oder Collection-wertigen Objektes oder Wertes
  Name der Extension des Typs Person

  ```
  Personen
  ```

  ist gültige Anfrage (Collection-wertiges Objekt)
- **SFW-Block** wird zum Filtern von Mengen eingesetzt wie bei

  ```
  select distinct struct (f: s.Studienfach, b: s.Betreuer)
  from Studenten s
  where s.Adresse.Ort = 'Rostock'
  ```

  In dieser Anfrage wird die Extension Studenten nach dem Wohnort 'Rostock' gefiltert.
  Adresse kein Attribut des Typs Student, aber vom Obertyp Person vererbt
  Ort Komponenten des Strukturierten Attributs Adresse, mit Pfadausdruck erreichbar
- Relationale und objekterzeugende Anfragen
  - relationale Anfrage: letzte Anfrage nach Rostocker Studenten

- objekterzeugende Anfrage: statt des Typkonstruktors struct Objektkonstruktor (In ODL def. Typen)

```
Person (PANr: 8883494,
        Name: struct (Vorname: 'Otto', Nachname: 'Ohnr
```

  erzeugt neues Objekt vom Typ Person
  Objekte hier jedoch nur für bestehende Typen
  keine dynamische Typisierung und Klassifizierung

- Objekterhaltende Anfragen
  - Objektidentitäten der Rostocker Studenten in einer Multimenge aufsammeln

```
select s
from Studenten s
where s.Adresse.Ort = 'Rostock'
```

  - keine dynamische Klassifizierung oder Typisierung des Anfrageergebnisses
  - extensionsbasierte, keine klassenbasierte Anfrage
  - Rostocker Studenten bilden neue Extension vom Typ Student als Anfrageergebnis, jedoch keine dynamisch erzeugte Unterklasse von Student
  - auch Typ der Objekte nicht veränderbar

- **Orthogonalität**
  - auf jede Collection Anfrageioerationen anwendbar

```
select z.Fach
from Huho.Zeugnis z
```

    liefert eine Multimenge von STRINGs, die Prüfungsfächer des Studenten Hugo
  - Menge von Prüfungsfächern aller Studenten

```
select distinct z.fach
from Studenten s, s.Zeugnis z
```

- **Nullwerte**
  - Gewöhnungsbedürftig: Behandlung von undef. Objekten
  - Laufzeitfehler bei

```
select s.Betreuer
from Studenten s
```

    falls Betreuer mindestens eines Studenten nicht def.
  - korrekte oder 'sichere' Anfrage wäre gewesen

```
select s.Betreuer
from Studenten s
where is_defined (s.Betreuer)
```

- **Ausnutzung von Typkonstruktoren und Klassenhierarchie**
  - OQL erlaube direkt Vergleich von Mengen

    ```
    select b
    from b in Buecher
    where set(RDBS, lehrbuch) >= b.Stichworte
    ```

    OQL bietet Mengenoperationen an, aber folgende nicht erlaubt

    ```
    Ausleihobjekte union Geraete
    ```

    nur Mengen mit gleichen oder vergleichbaren Elementtypen können vereinigt werden (alle in Anfragen auftretenden Klassen müssen def. sein, Typ des Ergebnisses muss eindeutig sein)
  - Unvergleichbare Klassen können mehr als eine kleinste gemeinsame Oberklasse haben: Eindeutigkeit nicht gegeben
  - haben sie überhaupt keine gemeinsame Oberklasse, ist das Ergebnis nicht einmal darstellbar
- Pfadausdrücke einmal anders: geschachtelte Anfrage; relationale Anfrage
- weitere Klauseln
  - Quantoren for all und exists
  - Sortierung sort und Gruppierung group by mit having
  - Aggregatfunktionen im Umfang von SQL
  - Def. temporärer Relationen mit defined
  - Operationen zur Typkonvertierung wie listtiset und flatten
  - Aufruf bel. Methoden in jeder Klausel
  - völlige Orhtogonalität

    ```
    max(select Gehalt from Angestellte)
    ```

    im Gegensatz zu Standard-SQL erlaubt

3.6 Umsetzung in OODBPL-Systemen

- OODBPL: üblicherweise auf ODMG basierend
- einige Umsetzungen:
  O_2: ODMG-OQL
  Ontos: eigenes Object SQL...

- ODMG Sprachanbindung
  - einheitliches Typsystem zw Programmiersprache und DB:
    Die für die ODL-Konzepte erzeugten PL-Klassen mit ihren Methoden können persistente oder transiente Objekte aufnehmen; ODL-Klassen bilden Teil der PL-Klassenbibliothek.
  - Einbettung erfolgt in Syntax der Programmiersprache; soll den "impedance mismatch" relationaler Embedded-SQL-Versionen vermeiden
  - Ergänzungen der Klassenbibliotheken so klein wie mgl halten; Methoden fü deskriptive Anfragen und Transaktionsverwaltung hinzufügen
  - BD- und OOPL-Teile frei kombinierbar
  - persistente und transiente Objekte können zu einer Klasse gehören
- Fazit: ODMG Einschränkungen
  - Objekt fixiert in einer einzigen Klasse (keine Mehrfachzugehörigkeit, kein Klassenwechsel)
  - kein orthogonales Typkonzept
  - Programmiersprachensemantik statt Datenbanksemantik
  - nur extensionsbasierte Anfragen, keine klassenbasierten Anfragen
  - Mehrfachvererbung: nur Interfaces, keine Implementierung
  - Persistenzprinzip: jedes Binding reagiert anders
- Planung in ODMG nicht behandelt -> siehe VL Folien (halte ich nicht für prüfungsrelevant)
- ODMG Stand 2015
  - seit 2006 geplant, 2014 eingestellt
  - JDO als einzige Sprachanbindung von Java zu OODBMS
  - seit 2006 JPA als Sprachanbindung von Java zu RDBMS

4 Das objektrelationale Modell

4.1 Einführung in objektrelationale Konzepte

- Vergleich ORDM zu RDM:
- Typen, Typkonstruktoren und ADT (statt nur Standard-Datentypen im RDM)
- Objektidentitäten (statt nur sichtbare, änderbare, lokale Schlüssel im RDM)
- Tabellen (geschachtelt und mit Objekten statt nur flach und mit Werten im RDM; statt Klassen im OODM-Sinne)
- Untertypen (Typhierarchie)
- Untertabellen (statt nur Fremdschlüssel im RDM, statt Klassenhierarchie im OODM-Sinne)
- Komponentenobjekte (statt nur Fremdschlüssel im RDM); Pfadausdrücke (statt vieler Verbunde im RDM)
- Anfragen und Sichten (analog zum RDM)
- Methoden (In SQL: UDMs) (statt nur Anwendungsprogramme auf Sichten im RDM)

4.2 Der SQL:1999/SQL:2003 Standard

- **Objektrelationale Konzepte:**
- user defined types (UDTs)
- user defined functions (UDFs), User defined Methods (UDMs)
- Prozeduren, Funktionen, Methoden: Unterschiede bei Überladen und Overriding
- LOBs (Large Objects) und Locators für Laden von großen Daten bei effizienter Pufferausnutzung
- Typkonstruktoren (row, reference, array) (andere Collection-Konstruktoren: SQL:2003)
  row: Tupelkonstruktor
  array: einziger Collection Konstruktor
  reference: Komponentenobjekt
- Typ-, Tabellenhierarchien, Sichthierarchien (Object Views)
- **Conformance Level**
- SQL:1999 Kern ist
  SQL-92-Entry + einige Konzepte aus Transitional, Intermediate, Full Level + Kernkonzepte von SQL:1999-Foundation

- SQL:2003-Packages
  Enhanced Datetime Facilities
  Enhanced Integruty Management...
  Basic Object Support (eingeschränkte strukturierte und Referenz-Typen, Typkonzept, Typ-Test-Prädikate), LOB-Unterstützung mit Locators)
  Enhanced Object Support (alle Typkonstruktoren, Methoden, Tabellenhierarchie, Cast-Operatoren, Locators für komplexe Attributwerte)

4.3 Der Strukturteil des ORDB-Modells

- **Typen**
  - Standard-Datentypen
  - Typkonstruktoren (unbenannte Typen)
  - UDT: Datentyp
    Name, Repräsentation, Beziehung zu anderen Typen
    distinct types
    strukturierte (benannte) Tupeltypen: create type
    strukturierte (benannte) Objekttypen: create type

- **Prozeduren, Funktionen, Methoden**
  - UDF: Funktion (Methode, Prozedur)
    Name, Signatur, Resultat, Impl
    Prozedur: kein Überladen, statisches Binden
    Funktion: Überladen, statisches Binden
    Methoden: Überladen und Overriding, dynamisches Binden

- **unbenannter Typkonstruktor row type**
  - Tupeltyp hat keinen Namen, enthält Tupelwerte
  - Tupeltyp als Wertebereich eines Attributs in einer Tabelle
  - wird nur an dieser Stelle verwendet
  - keine speziellen Funktionen, Methoden definierbar

```
create table Personen   (PANr integer,
Partner ref(Person),
Wohnung row
        (PLZ integer,
        Ort varchar(30),
        ....
        )
)
```

- **Unbenannter Typkonstruktor array type**

- einziger Collection Typkonstruktor in SQL:1999
- maximale Länge wie bei varchar mgl
- Operationen: Zugriff über Positionsnummer
  Kardinalität, Vergleich, Konstruktoren,...

```
create table Personen   (PANr integer,
        Partner ref(Person),
        Wohnung row
                (PLZ integer,
                Ort varchar(30),
                ....
                )[4]
)
```

  eine Person kann bis zu 4 Personen haben

- **Unbenannter Typkonstruktor multiset type**
  - ab SQL:2003 Multimengen-(Bag)-Konstruktor
  - Test, ob Multimenge eine Menge ist: is a set
  - Multimenge M_1 in eine Menge umwandeln: set(M_1)
  - Element, Kardinalität, Teilmultimenge, Vereinigung, Durchschnitt, Differenz

```
create table Personen   (PANr integer,
        Partner ref(Person),
                Wohnung row
                (PLZ integer,
                Ort varchar(30),
                ....
                ) multiset
)
```

- **UDT: Distinct Types**
  - final: keine Untertypen definierbar
  - definierbar: Vergleichsoperatoren, Casts, Methoden und Funktionen

```
create type T1 as integer final
create type T2 as integer final
```

  erstellt zwei unvergleichbare Typen (zb Alter und Gewicht)

- **UDT: strukturierter (benannter) Typ**
  - können überall verwendet werden, auch als Parametertypen
  - Persistenz: Konstruktorfuntkion Adresse() liefert Instanz des Typs (Default-Werte) oder insert

```
create type Adresse as (PLZ, integer,...) not final

create type Person as (PANr integer, Partner ref(Perso
```

- **UDTs: nicht-instantiierbar**
  - virtuelle Typen: in OOPLs: abstrakte Klassen
  - keine Instanzen definierbar
  - nicht-instantiierbare Typen in SQL:2003

```
create type T1 as (...)
        not instantiable not final
```

- **Typen als Attributtypen: UDTs und Typkonstruktoren**
  - mit create type erzeugte Typen:
  - können mit Methoden angereichert werden
  - können mit Untertypen verfeinert werden (falls not final)
  - können als Attributtypen verwendet werden: Methoden sind dann auf Attribute anzuwenden
  - können als Tabellentypen (Relationenschema) verwende werden: Methoden sind dann auf Objekte(oder Tupel) anzuwenden

  - mit Typkonstruktoren row, array, multiset erzeugte Typen werden nur für Attribute eingesetzt
  - keine Methoden und Untertypen definierbar

- **UDTs: Tupeltypen und Objekttypen**
  - mit create type erzeugte Typen:
  - können Tupeltypen für Tabellen sein (relationale, evtl geschachtelte Tabelle ohne Objektidentitäten): Tabelle besteht aus (Tupel-)Werten
  - können Objekttypen für Tabellen sein (Objekttabelle oder Objektrelation mit Objektidentitäten): Tabelle besteht aus (Tupel-)Objekten
  - Beispiel: Tupeltyp

```
create type Adresse as (PLZ integer, ...)
        not final;
```

  - Beispiel Objekttyp (durch Referenztypspezifikation)

```
create type person as (PANr integer, Partner ref(Perso
        not final
        ref is system generated;
```

Referenztypspezifikation von Objekttypen

* ref is system generated
  Echte Objektidentität nach OODM, aber Eindeutigkeit nur in Tabelle
* ref from (Attributliste)
  etwa PANr, dann Objektidentität funktional bestimmt
* ref using Typ
  etwa integer, dann durch Benutzer zugewiesen

- **Untertypen**
  - Einfach- oder Mehrfachvererbung(letzteres erst ab SQL4)
  - Instantiierbarkeit und Abschluss
  - nur Methoden dynamisch gebunden, nicht Funktionen

```
create type Hiwi under Angestellter as (...)
        instantiable not final ...
```

- **Tabellen: Objektidentitäten**
  - Typen ergänzen um OID => objektrelationale Tabellen
  - objektrelationale Tabelle (auch Objekttabelle) ersetzt Begriff der Klasse, sie haben
    Objektidentitäten durch OIDs
    eine Extension (die Relation)
    einen Zustandstyp (mit of eingeleitet)

```
create table Angestellte of Angestellter
        (ref is oid system generated)
```

- **Objektidentitäten und ihre Referenzgenerierungsart**
  - Referenzgenerierungsart der Tabelle muss zu Referenztypspezifikation des Typs passen
    ref is name_der_oid-spalte system generated muss zu ref is system generated in Typ passen
    ref is name_der_oid-spalte derived muss zu ref from (Attributliste) in Typ passen
    ref is name_der_oid-spalte user generated muss zu ref using Typ in Typ passen
  - bei derived muss Attributliste primary key oder (unique und not null) sein
  - Die oid-Spalte hat dann folgenden Typ:
    ref(Typname)scope(Tabellename)
  - abstrakte Domäne der Objektidentität ist für den Typ spezifiziert

  - die aktuelle Objektmenge (Extension) wird durch scope auf die aktuell in der Tabelle vorhandenen OIDs eingeschränkt

- parallel zur Typhierarchie mit under auch **Tabellenhierarchien**
  - aufgrund der Isomorphie von Typ- und Tabellenhierarchie auch hier nur Einfachvererbung erlaubt
  - Untertabelle ist Teilmenge der Obertabelle (projiziert auf die Spalten der Obertabelle)
  - Untertabelle kann nichtredundant /redundant definiert bzw gespeichert werden:
    nichtredundant, split instance
    redundant, repeat class

4.4 Der Operationenteil des ORDB-Modells

- **Die SFW-Klausel im objektrelationalen SQL**
  - strukturidentisch mit SQL: SELECT FROM WHERE GROUP BY HAVING
  - und Aggregatfunktionen, Sortierung, Umbenennung, Mengenoperationen, Verbundoperationen,.. auch vom relationalen SQL
  - zusätzlich: tiefe vs. flache Extension
    navigierende Anfragen (Pfadausdrücke)
    Anfragen mit Methodenaufrufen
    typspezifische Anfragen (etwa mit Collection-Attributen)
  - Anfragen an Tabelle auch an Untertabelle
    select ... from Angestellte...
    liefert auch Hiwis
  - Einschränkungen der Substituierbarkeit mgl
  - Pfadausdrücke für Komponentenobjekte:
    Referenzen mit scope verwendbar; Methoden; Dereferenzieren liefert Objekt mit Zustand

- **Object Views: Sichthierarchien**
  - objekterhaltende Sichten

```
create view Keine_Hiwis of Angestellter
    as select ... from only (Angestellte)
```

  - abgeleitete Sichten auf referenzierten (Komponenten-)Tabellen:
  - Anfrageergebnisse können dynamisch in neuen Sichthierarchien eingeordnet werden
  - letzteres verwirklicht dynamische Typisierung und Klassifizierung *per Hand*

4.5 Höhere Konzepte des ORDB-Modells

- **Methoden und Konstruktoren**

```
create type Angestellter as
        (Basisgehalt decimal(9,2),
        ...)
        instantiable not final
        method Endgehalt()
                returns decimal (9,2);

create method Endgehalt() for Angestellter
        <Methodenrumpf>;

create type Hiwi under Angestellter as
        (...)
        instantiable not final
        overriding method Endgehalt()
                reutnrs decimal(9,2);
```

  Konstruktorfunktion *Adresse()* liefert Instanz des Typs (Default-Werte) oder insert

- **UDF: Methodendefinition**
  - Methoden sind Funktionen, die an einen UDT gebunden sind
  - impliziter self-Parameter, Signatur und Impl getrennt
  - Signaturen müssen identisch sein
    No-Varianz (statt Ko- und Kontravarianz)
    kein multple dynamic dispatch
  - Methodenaufruf mit Dot-Notation

Konzept in OODM	Konzept in SQL:1999/SQL:2003
Wert Objekt Tupelkonstruktor Mengenkonstruktor Arraykonstruktor Multimengenkonstruktor Listenkonstruktor ...	Tupel ohne OID Tupel mit OID Row-Type, strukturierter Typ (UDT) nicht vorhanden Array-Type Multiset-Type nicht vorhanden ...
Klasse Implementierung eines Typs Instanz Schlüssel virtuelle Klasse vordefinierter ADT	Objekttabelle (Schema; OID) — Relation (Menge von Tupeln mit OID) Schlüssel **`not instantiable`** Distinct Type (UDT)
Attribut Anfrage-Methode Klasse—Komponentenklasse-Beziehung mit inverser Beziehung	Attribut vom Typ ODT Prozedur, Funktion, Methode (UDF) Reference-Type —
Klassenhierarchie Typhierarchie Implementierungshierarchie	Tabellenhierarchie **`under table`** Typhierarchie **`under type`** —
Methode Overriding	(Prozedur, Funktion,) Methode (UDF) Overriding

Abbildung 9: Zusammenfassender Vergleich OODM und Standard Konzepte

4.6 Umsetzung in ORDBMS

- fehlende Umsetzung in ORDBMS: viele Teile des Standards fehlen bzw. sind abweichend davon umgesetzt
- Typkonstruktoren kaum vorhanden und nicht orthogonal umgesetzt
- Klassen- und Typhierarchie teilweise nur eine von beiden umgesetzt
- Objektidentitäten: nicht alle drei Optionen der Referenzgenerierung umgesetzt

....

4.7 Fazit und Vergleich

- **Modellierung - das Manta-Problem**
  - Rollen, Rollenwechsel, Mehrfachzugehörigkeit von Objekten zu Klassen
  - Typ- und Klassenhierarchie (wie OODM, ORDM)
- **Sichten - das Manta-Problem**
  - Klassen durch Anfragen und zusätzliche Strukturdefinitionen dynamisch ableiten
  - diese Sichtklassen wie Basisklassen nutzbar machen
- **Datenunabhängigkeit - das Fahrrad-Problem**
  - Drei Ebenen Konzept gilt fü DBMS, nicht für RDBMS
  - je nach Anwendungssituation, flexible Speicherstrukturen intern ermöglichen

- impedance mismatch mindern
- Persistenz: Extension und Fortpflanzung
- **Mehrfachzugehörigkeit von Klassen**
  - keine Lösung (in OODBPL): Rollenobjekte als Komponente jedem Objekt mitgeben
    Nachteile: Objekte und ihre ROllen bilden dann keine Klassen- und Typhierarchie
    Rollen erweitern dann nicht den Typ
    Vererbung und Overriding dann nicht nutzbar
    so simulieren kann man es auch relational
  - keine Lösung (in OODBPL und manchen ORDBMS)
    tiefe Extension simuliert Mehrfachzugehörigkeit
    aber kein allgemeines Inklusionsprinzip (disjunkter Durchschnitt)
    Objekte werden immer in speziellster Klasse erzeugt
- **Manta-Problem**

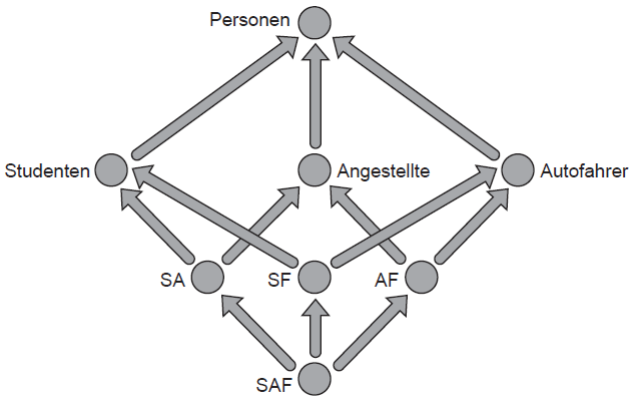


Abbildung 10: Mantra Problem Beispiel

Lösung:

  - im Schema Klasse K definieren
  - mit klassenbasierten Anfragen definiert man dynamisch die Unterklassen
  - in diesen Sichtklassen wird dann die von Klasse K vererbten Methoden jeweils geeignet redefiniert
  - Falls Objekt in mehreren Klassen, dann Konfliktauflösemethode spezifizieren

- **Einschänkungen ODMG** siehe 3.6
- **Einschränkungen SQL:2003**

- Standard nicht vollständig
  Bsp: Typkonstruktoren schrittweise eingeführt und nicht orthogonal
- Klassen und Typhierarchie müssen isomorph (bijektiv - eineindeutig) sein
- impedance mismatch: Objekttabellen und Java-Klassen
- keine persistente Programmierumgebung nach Atkinson (siehe Kap 5)
- Mehrfachvererbung nicht vorhanden
- Anfragen nur extensionsbasiert

5 Objektorientierte Anfragen und Implementierungskonzepte

5.1 Objektorientierte Anfragesprachen: Kriterien und Grundlagen

- allgemeine Prinzipien SQL-artiger Anfragesprachen
- OO Konzepte (Typkonstruktoren, Komponentenobjekte, Vererbung, Methodenaufrufe,..) unterstützen
- möglichst kompatibel zum Standard-SQL (???)
- relationale, objekterzeugende (?) und objekterhaltende (???) Semantik
- Kriterien für Anfragesprachen erfüllen
- **Kriterien Anfragesprachen**

Kriterium	**Erklärung**	**Manifesto**	**OQL**
Deskriptive Sprache	Die Sprache soll nicht navigierend sein, einen Zugriff auf eine Menge von Objekten ermöglichen	✓	✓
Optimierbarkeit	Die Sprache soll nach (etwa algebraischen) Regelsystemen konzeptuell optimierbar sein	✓	✓
Effizienz	Die wenigen Grundoperationen sollen mit einer geringen Komplexität implementierbar sein.	✓	✓
Orthogonalität	Die beliebigen Grundoperationen sollen beliebig miteinander kombinierbar sein.	○	✓
Erweiterbarkeit	Bei Erweiterung des OODMs soll auch die SPrache leicht erweiterbar sein.	○	○
Abgeschlossenheit	Das Ergebnis jeder Anfrageoperation soll wieder konsistent im Strukturteil des Datenbankmodells darstellbar sein.	○	✓
Adäquatheit	Alle Konstrukte des Datenbankmodells sollen ausgenutzt werden, für alle Strukturen muss es Anfrageoperationen geben.	○	○
Sicherheit	Jede Anfrage soll ein endliches Ergebnis liefern.	○	○
Vollständigkeit	Es soll zumindest die Mächtigkeit relationaler Anfragesprachen erreicht werden.	✓	✓
Formale Semantik	Die Operationen der Sprache sollen formal definiert sein.	○	✓

- **Einschub: Generische Update-Operationen**

- generische Updates (5 Typen statt 3 relational)
- Updates auf Extension einer Klasse:
  * Erzeugen mit create oder new (in abstrakter Klasse)
  * Löschen mit forget, destroy oder delete (in abstrakter Klasse)
  * Einfügen mit insert, add oder gain in Objektmenge einer anderen (freien) Klasse
  * Herausnehmen mit remove oder lose aus Objektmenger einer (freien) Klasse
- Updates auf Zuständen (Tupel, Mengen, Listen, Standard-Datentypen)

- **Relationale Operationen**
  - Algebren für Relationen mit Typkonstruktoren
  - Minimale geschachtelte Algebra
  - Orthogonale geschachtelte Algebra
  - Algebren für spezielle geschachtelte Relationen: PNF-Algebra
    PNF geeignet als ALgebra für Objektrelationen: Sicherung der Eindeutigkeit der Objektidentität auch im Ergebnis (Grundlage für objekterhaltende Anfragen)
  - Instanz einer Klasse: Objektrelation
  - jetzt: Objektrelation als geschachtelte Relation auffassen:
    Ergebnis einer Anfrage: geschachtelte Relation, nicht Objektrelation
    Eingabe: Klassen in Klassenhierarchie mit komplexen Zustandstypen
    AUsgabe: Elemente (Werte) eines komplexen Typs
  - Operationen:
    Relationenalgebra und NEstung, Entnestung (minimal)
    jede Relationenalgebra-Operation homogen erweitert (orthogonal)

- **Minimale geschachtelte Algebra**
  - Projektion, Selektion (evtl Bedingungen auch an Collections), Verbund, Mengenoperationen und Umbenennung aus Relationenalgebra; zusätzlich:
  - *Nestung:* Eine Nestung $v[(A_1, \ldots, A_n); A](r(R))$ fasst die Attribute $A_1, \ldots, A_n$ des Relationenschemas R zu einen neuen Attribut A zusammen, d.h. A ist definiert als $set(tuple(A_1, \ldots, A_n))$. Mehrere $(A_!, \ldots, A_n)$-Tupel werden zu einer Menge zusammengefasst, wenn die Werte der Tupel in der Relation r auf den restlichen Attributen des Relationenschemas (also auf $R - \{A_1, \ldots, A_n\}$) übereinstimmen.
  - *Entnestung:* Eine Entnestung $\mu[A](r(R))$ löst das Nest A auf, d.h. falls A als $set(tuple(A_1, \ldots, A_n))$ definiert ist, sind im Ergebnis die Attribute $A_1, \ldots, A_n$ im Relationenschema enthalten. Die Einzelnen Tupel der Attributwerte von

A werden zusammen mit den zugehörigen Attributwerten der restlichen Attribute von R zu neuen Tupeln verbunden.

- Entnestung mach Nestung rückgängig; Umkehrung gilt nicht immer
- minimale Algebra umständlich: meist Entnestung, Operationen, Nestung
- Bsp: siehe VL Folien 5-8 bis 5-11

- **Orthogonale geschachtelte Algebra**
  - Bsp: Algebra von Schek und Scholl
  - Projektion und Selektion werden rekursiv:
    Projektion, Selektion in Projektionsliste
    Projektion, Selektion in Selektionsbedingung
  - Bsp: Innerhalb der Projektionsliste das komplexe Attribut *Belegschaft* auf das in ihm enthaltene Attribut *Nachname* projizieren:

$$\pi[Institut, \pi[Nachname](Belegschaft)](r')$$

  - jede bel. Kombination (P - Projektion, S - Selektion: P in P, P in S, S in P, S in S) erlaubt
  - auch Prädikate auf Collections: $\subset, \in$

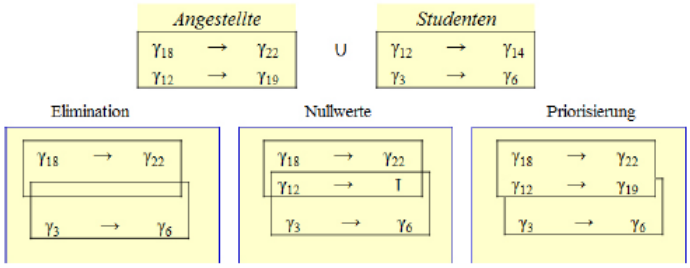
- **ALgebren für spezielle geschachtelte Relationen**
  - statt Objektrelationen $\rightarrow$ geschachtelte Relation
  - jetzt Objektrelation $\rightarrow$ Objektrelationen
  - Algebra auf PNF-Relation (Partitioned Normal Form; müssen PNF-Eigenschaft erhalten)
  - Projektion muss flachen Schlüssel bewahren (flach: 1NF; Attribut vom Std-Typ)
  - Verbund muss gerichtet sein ((Typ-)Erweiterung statt Verbund)
  - Vereinigung wird rekursiv

- **Eigenschaften von PNF-Relationen**
  - Bsp: r' ist PNF-Relation, da auf jeder der drei Ebenen ein flaches Attribut Schlüssel ist
  - PNF-Relationen können immer durch vollständige Entnestung als flache Relationen dargestellt werden und ohne Verlust von Informationen zur ursprünglichen PNF-Relatoin zurückgenestet werden
  - Konsequenz: PNF-Relationen vermeiden das Problem der ersten Übungsaufgabe
  - PNF-Relationen entsprechen auf der ersten Stufe der Semantik von Objektrelationen: Objektidentität muss für Objektrelation Schlüssel sein

- **Fazit** Algebren für geschachtelte Relationen
  Orthogonale Algebra: gute Basis für relationale Anfragen an Objektrelationen
  PNF-Algebra: gute Basis für objekterhaltende Anfragen an Objektrelationen

5.2 Beyond OQL: Objekterzeugende und objekterhaltende Anfragen

- **Objekterzeugende Operationen:**
  - **implizites Erzeugen**
    - Erzeugung nicht steuerbar und nicht sichtbar
    - jede Operation, jede Anfrage objekterzeugend
    - Bsp: Selektion nach Rostocker Studenten erzeugt neue Klasse von Objekten, die aber keine Studenten mehr sind
  - **freies Erzeugen**
    - Erzeugung steuerbar und sichtbar
    - einige Operationen beinhalten Kennung zur Erzeugung von Objekten
    - NAchteil: Prozess kann in rekursiven Anfragen nicht kontrolliert werden
  - **Objekterzeugende Funktionen** (insb. bei Rekursion nötig)
    - bei Erzeugung wird angegegebn, zu welchen Werten Objektidentitäten erzeugt werden
    - Erzeugung ist Funktion, daher in Rekursion zu kontrollieren
- **Objekterhaltende Operationen:**
  - **Auflösung von Inkonsistenzen**
    - Problem nicht nur bei Entnestung (Änderung von Zustandstypen), sondern Objekte mit lokalen Zuständen in Objektrelationen
      Beispiel:
      - Angestellter γ_{12} hat Komponentenobjekt Verantwortlicher γ_{19}
      - Person γ_{12} hat Komponentenobjekt Verantwortlicher γ_{33}
      - nach Vereinigung von Angestellten und Personen setzt sich speziellerer Zustand (γ_{19}) durch (Overriding)
      - Aber Problem: Konflikte in unvergleichbaren Klassen
      - Angestellter γ_{12} hat Komponentenobjekt Verantwortlicher γ_{19}
      - Student γ_{12} hat Komponentenobjekt Verantwortlicher γ_{14}
      - Nach Vereinigung von Angestellten und Studenten Konflikt zwischen zwei Verantwortlichen, kein Overriding mgl
    - Auflösetechnik:



- Elimination (Living in a Lattice)
- Nullwerte (F-Logic)
- Priorisierung (IQL)

– **statische/dynamische Typen** (statisch: extensionsbasierte Anfragen) und **statische/dynamische Klassifizierung** (statisch: extensionsbasierte Anfragen)

  * Statische Typen:
    neue Objektmengen (Extensionen) zusammenstellen, aber Typen können nicht verändert werden
    etwa in ODMG-OQL
  * Dynamische Typen
    Zustandstypen können eingeschränkt, erweitert, umstrukturiert werden
    Typinferenz in Programmiersprachen; ist relativ einfach lösbar
  * dynamische Klassifizierung
    genaue Einordnung in die Klassenhierarchie unabhängig von aktueller Instanz
    im allgemeinen unentscheidbar

  Beispiel: Probleme dynamische Klassifizierung

  * Wie muss ich folgende Anfrageergebnisse in der Klassenhierarchie einordnen?
  * Q_1: Selektion nach 'Fußball' IN Hobbies;
    Q_2: Selektion nach 'Tennis' IN Hobbies;
  * unter Personen, nebeneinander
  * aber nicht, wenn Integritätsbedingung gilt: alle Fußballspieler müssen auch Tennisspieler sein
  * dann Ergebnis von Q_1 Unterklasse vom Ergebnis Q_2
  * Q_3: Selektion nach Alter $= 19$
    Q_4: Selektion nach Alter > 17 AND ALter < 19
  * Q_3 und Q_4 liefern dieselbe Ergebnisklasse
  * falls Alter vom Typ integer

* nicht bei Typ Real, Float, Decimal, dann Q_4 Oberklasse von Q_3
* Q_5 Selektion nach Methode Schlumpf = true
  Q_6 Selektion nach Methode Schlampf = true
* unentscheidbar, falls Methodenimplementierungssprache turing-vollständig

5.3 Client-Server-Architekturen von OODBMS

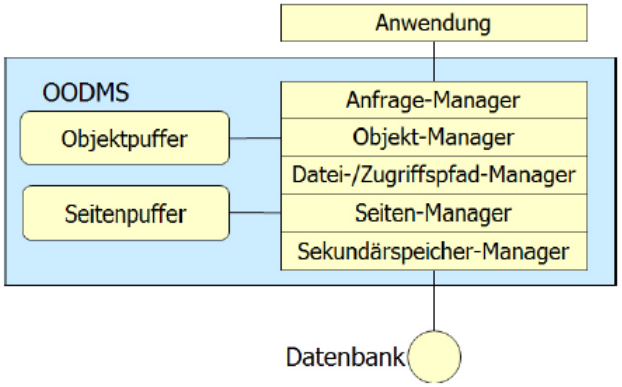


Abbildung 11: Client-Server-Architektur von OODBMS

- modifizierte Fünf-Schichten-Architektur (Objekt-Manager und Objektpuffer zusätzlich)
  - Sekundärspeicher-Manager: Verwaltung des Sekundärspeichers, Transport von Seiten in den Hauptspeicher
  - Seiten-Manager: verwaltete Seitenpuffer und Sperren (von Seiten)
  - Datei/Zugriffspfad-Manager: Objektidentitäten der Objekte in Seitenadressen umrechnen
  - Objekt-Manager
    * Seitenstrukturen in Objektstrukturen umwandeln, Komponentenbeziehungen und Vererbungsbeziehungen materialisieren
    * falls duales Pufferkonzept: Objektstrukturen auch im eigenen Objektpuffer verwalten
    * Objektidentitäten generieren und verwalten
    * SPerren auf Objektebene verwalten
  - Anfrage-Manager oft in OODBS nicht vorhanden, sondern in Anwendungs-Client integriert

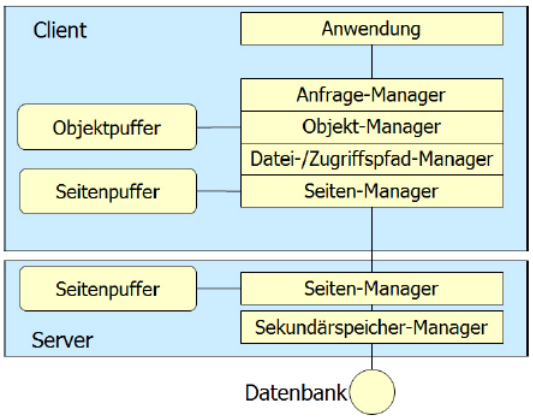


Abbildung 12: Seiten Server

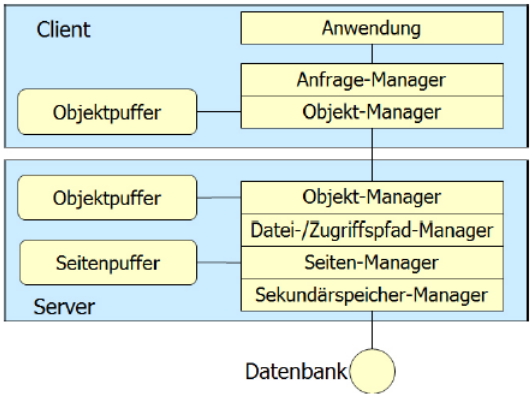


Abbildung 13: Objekt Server

5.4 Persistenz

Definition von Atkinson

Fähigkeit der Daten (Werte oder Objekte), beliebige Lebensdauern (so kurz wie möglich oder so lang wie nötig) anzunehmen, dazu die folgenden Prinzipien einhalten

Typ-Orthogonalität: Daten bel. (auch komplexer) Typen sollen persistent gemacht werden können.

Unabhängigkeit der Programme von der Persistenz: Programm sollen unverändert bleiben, wenn die Daten ihre Lebensdauer ändern.

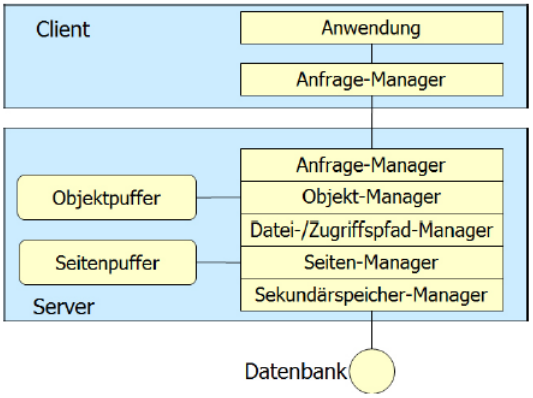


Abbildung 14: Anfrage Server

Persistenzfortpflanzung:
zusammengesetztes Objekt persisten => auch seine Komponentenobjekte
Collection-wertiges Objekt persistent => auch alle Elemente der Collection

- Punkt 3 schließt so etwas wie MOVE- oder COPY-Befehle aus
- Zweistufige Persistenz:
  Daten transient: Lebensdauer endet am Block-, Prozedur-, oder Programm-Ende
  Daten persistent: Programmende, Systemabstürze, Plattenfehler überleben
- **Persistenzmodelle**
  - automatische Persistenzfähigkeit
  - Persistenzfähigkeit durch Vererbung
  - Persistenzfähigkeit explizit
- **Persistentmachung**
  - Bei Erzeugung (pnew oder persistent new) in ODMG: new überladen (new ist transient, new (DB) ist persistent)
  - durch spezielle Funktionen (Methode persist)
  - Durch Namensvergabe
- **Persistenzfortpflanzung**
  - explizit
  - durch Erreichbarkeit; Wurzelobjekte oder DB-Einsteigspunkte
- **Objektrelationale Persistenz**

- alle Tupel persistent
- Persistentmachung durch insert
- keine Persistenz durch Erreichbarkeit

5.5 Interne Ebene

- Implementierung von
  - **Objektidentitäten**
    - Darstellung der Objektidentität durch Surrogate und ihre Implementierung durch indirekte Referenzen:
    - Technik logisch sauberer, aber langsamer
    - SUrrogate immer eindeutig, auch nach der Löschung des Objektes
    - in verteilter Umgebung eindeutig (Codierung der Rechner-ID im Surrogate)
    - abstrakte Klasse, in der das Objekt erzeugt wird, im Surrotgate kenntlich machen
    - Darstellung und Implementierung der Objektidentität durch direkte Referenzen
    - Länge: 32 oder 64 Bit
  - **Klassen**

    (ohne komplexe Attributwerte, Komponentenobjekte)
    - Binäre Speicherung: Objekte zusammen mit jeweils einem Attribut als binäre Relation
    - Objektstruktur mit integriertem Schema:
      Schemainformationen in die Speicherstruktur jedes Objekts etwa in ORION/ITASCA; siehe auch XML im 2. Teil der VL
    - Objektstruktur mit externem Schema
      wie in RDBMS/ORDBMS
  - **Komplexen Attributen und Komponentenhierarchien...**
    - Objekt größer als Seite => mehrere Seiten in Form eines B-Baums
    - Menge von Objekten einer Klasse geclustert
    - komplexe Attribute:
      zerlegte Speicherung (wie in RDBS normalisiert)
      gesamte Objektstruktur in einem Cluster
    - private Komponentenobjekte: Cluster mgl
    - gemeinsame Komponentenobjekte: Referenzen auf Komponentenobjekt
  - **... evtl. durch Cluster**

    * Cluster-Definition zur Zeit der
      Klassendefinition (im Schema): O_2
      Objektinstantiierung (pro Objekt)
    * Cluster-Strukturen für:
    * alle Objekte einer Klasse
    * bestimmte Teile von Klassen, etwa Partition der Klasse nach bestimmten Attributwerten
    * alle Instanzen von Klassen, die zu einem spezifizierten Teil der Klassenhierarchie gehören (ORION)
    * zusammengesetzte Objektes (Objekt mit privaten Komponentenobjekten)
    * komplexe Attributwerte
  - **Klassenhierarchien**
    * Objekt nur in genau einer Klassen
      Zustand dieses Objektes in dieser Klasse gespeichert (Home Class Model)
      (bei OODBPLs und einigen Neuentwicklungen wie ORION)
    * Objekt in mehreren Klassen:
    * Objekt in kleinster Klasse, zusammen mit vererbten Attributwerten (Leaf Overlap Model)
    * Objekt in jeder Klasse, zusammen mit lokalen Attributwerten (Split Instance Model)
    * Objekt in jeder Klasse, zusammen mit dort definierten und allen vererbten Attributwerten (Repeat CLass Model) (tiefe Extension direkt)
    * Alle Objekte in einer Datei, nicht anwendbare Attribute auf null (Universal Class Model)
    * Alle Objekte in einer ternären Datei mit Surrogate,Attribut und Attributwerte (Value Triple Model)

- Zugriffspfade für
  - **Klassen**
    * grundlegende Dateiorgansiationsform durch Speicherstruktur der Klasse bereits festgelegt
    * durch Hash-Funktion oder B-Bäume zusätzlich unterstützen
    * Zugriff auf Objekte in Klassenhierarchien und Komponentenhierarchien unterstützen
    * RDBMS: Zugriffspfad nur eine Relation
    * OODBS: menge von Klassen durch einen Zugriffspfad unterstützen
  - **Klassenhierarchien**

* Index für Hierarchie von Klassen pber einem Attribut einer (Ober-)Klasse K; Verweis auf:
  alle Vorkommen der passenden Objekte in der Klassenhierarchie mit Wurzel K, wenn die Objekte nach der Split-Instance-Methode gespeichert sind
  Vorkommen des Objektes in der Klassenhierarchie in den anderen Fällen, wobei das Objekt auch in einer der Unterklassen von K gespeichert sein kann
* Klassenhierarchie-Index

– **Komponentenhierarchien**

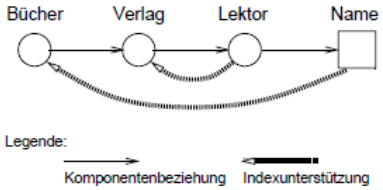
* Pfadausdrücke unterstützen; Attributwerte einer (auch indirekten) Komponentenklasse gegeben
* Bsp: Zugriff auf ein Buch über den Sitz des Verlages

  Buch.Verlag.Verlagsort

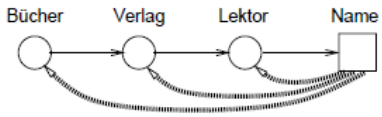
* Bsp: Zugriff auf ein Buch über den Namen des Lektors des Verlages

  Buch.Verlag.Lektor.Name

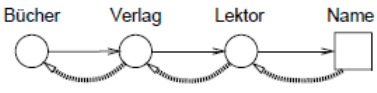
* **Komponentenhierarchie-Index: Relaisierungsformen**

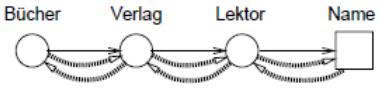


1. Pfadindex
   verallgemeinert geschachtelter Index

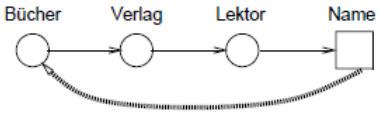


2. Multiindex
   binäre Indexdateien von n-ter Komponenten des Pfadausdrucks auf (n-1)-te Komponente

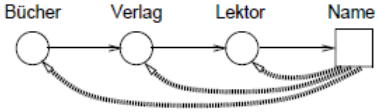




3. Verbundindex
   symmetrischer Multiindex
4. geschachtelter Index
   eine einzige Indexdatei für n-te und erste Komponente des Pfadausdrucks



5. Zugriffsunterstützungsrelation (access support relation, ASR)
   Verallgemeinerung aller bisheriger Zugriffspfade, etwa verallgemeinerter (kompakter) Pfadindex



– **Zugriffspfade für Methoden**
  * Ergebnisse der Methodenausführung im Index gespeichert
    · parameterlose Methode: ein Methodenergebnis pro Objekt im Index
      eager: bei Erzeugen/Ändern des Zustandes eines Objektes sofort Indexwert für Methodenergebnis berechnen und eintragen
      lazy: beim ersten Aufruf der Methode für entsprechendes Objekt Indexwert für Methodenergebnis berechnen und eintragen
    · parameterbehaftete Methode
      prinzipiell das Methodenergebnis pro Objekt und pro möglicher Parameterbelegung im Index speichern
      nicht effizient, also entweder nur bestimmte Bereiche aus der mgl Wertemenge in den Index
      oder nur Parameter in den Index, die schon einmal bei einer Anfrage benutzt wurden (lazy; adaptiver; lernender Index)
  * Materialisierung von Methodenergebnissen: Function-Materialization-Technik

• **Objektpuffer**

- bisher (RDBMS): Anwendungsdaten vom Seitenpuffer (komplett pder in das für Anwendungsprogramm verträglichen Teilen) in die Hauptspeicherbereiche laden, die dem Anwendungsprogramm zur Verfügung stehen
- kostet eine Transformation der internen Darstellung in die vom Anwendungsprogramm gewünschte
- in einigen System die Objekte von der Platte direkt in den Anwendungsspeicher: evtl mit gewissen Adresstransformationen
- andere OODBS haben zweiten Puffer: Objektpuffer

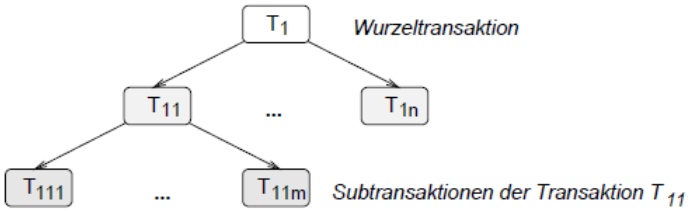
- **Pointer Swizzling**
  - ein im Hauptspeicher befindliches Objekt beim Zugriff aus dem Anwendungsprogramm heraus schnell finden
  - mit Objektpuffer und logischen Objektidentitäten
    * Objekt α im Hauptspeicher mit Kompontenobjekt β, das im Objektpuffer nicht gefunden wird
    * Objekt β im Seitenpuffer suchen => Seitenzuordnungstabelle (Resident Objet Table, ROT) durchmustern
    * Falls β nicht im Seiten puffer: vom Sekundärspeicher nachladen => Blockzuordnungstabelle (Persistent Object Table, POT) durchsuchen, um zu Objektidentität die Sekundärspeicheradresse zu ermitteln
    * Nach Laden des Objektes in Seiten- und Objektpuffer müsste System aber bei jedem (!) β-Zugriff aus Anwendungsprogramm wiederum über logische Objektidentität die zugehörige Hauptspeicheradresse finden
  - zu umständliche und indirekt
  - direkte Referenzen zur Implementierung der Objektidentität: eine Indirektion entfällt, aber im Hauptspeicher nützt die direkt (Sekundärspeicher-)Adresse nichts (muss auch gewandelt werden)
  - Wegfall Objektpuffer: Transofmrtaion aus Seitenpuffer entfällt. Für Objekte im Seitenpuffer aber ebenfalls Hauptspeicheradressen zu berechnen
  - Ziel: bei mehrfachen Zugriff auf im Hauptspeicher befindliche Objekte diese schneller finden => Transformation von indirekten oder direkten (Sekundärspeicher-) Referenzen in Hauptspeicheradressen (Pointer Swizzling)
  - Original oder Kopie: Zeigertransformation auf Originalseite (im Seitenpuffer) oder auf Kopie (im Objektpuffer)? Systeme ohne Objektpuffer haben keine Wahl
  - Sofort oder verzögert: Zeiger beim Laden transformieren oder verzögert beim ersten Zugriff auf das Objekt im Hauptspeicher?
  - Direkt oder indirekt: Transformation in die direkte Hauptspeicheradresse durchgeführt oder nur in einen Deskriptor (indirekte Zeiger), der die Hauptspeicheradresse enthält

- heute bei main memory database systems

5.6 Transaktionen und Versionen

- Klassisch: Flache ACID-Transaktionen; OO:
  - bestehen aus Teiltransaktionen
  - Atomarität problematisch: ganz oder gar nicht am Ende einer wochenlangen Transaktionen?
  - Isoliertheit problematisch (cooperative design im CAD; Weitergabe von inkonsistenten Objekten)
- Objektorientierte Transaktionskonzepte
  ACID und mehr Struktur (geschachtelte Transaktionen)
  ACID aufgeben (lange Transaktionen; Sagas; Workflows)
  - Lange Transaktionen
    * CheckOut aus der DB in lokalen Arbeitsbereich (T_1)
    * Objekt o in DB nicht gesperrt
    * andere Transaktion T_2 gibt vorher CheckIn von o
    * CheckIn von o durch T_1:
      schlägt fehl (GemStone)
      legt zwei Versionen an (ObjectStore)
  - Geschachtelte Transaktionen
    besteht aus Teiltransaktionen
    geschlossen: alle UNLOCKs erst am Ende der Wurzeltransaktion
    offen: UNLOCK nach jeder Teiltransaktion (unabhängige Komponenten, etwa Verlage)
    *
  - **ODMG-Transaktionen**
    * ACID-Transaktionen und verteilte Transaktionen
    * transiente Objekte unterliegen nicht Transaktionskontrolle
    * Sperren von Objekten Standard, Sperren von Seiten optional
    * Sperren nach READ-WRITE-Modell
    * Schnittstelle Transaction:
      · begin() für den Start einer Transaktion
      · commit() für das erfolgreiche Ende einer Transaktion
      · abort() für den Abbruch einer Transaktion
      · checkpoint() für die Synchronisation laufender Transaktionen, um einen konsistenten Zustand im Log-Protokoll zu erreichen

        - active() zum Test auf eine aktive Transaktion
    * Schnittstelle Database Administrationsfunktionen:
      open, close(), bind, lookup für Datenbanken
      optional move, copy, reorganize, backup, restore für die Datensicherung
    * geschachtelte Transaktionen in alten Versionen des Standards enthalten, ab ODMG 2.0 entfernt
- **Erweiterte Transaktionsmodelle**
    * Prinzipien anhand zweier Modelle:
    * Geschachtelte Transaktionen: hierarchische Ansammlung von Vater-Sohn-Transaktionen
    * Sagas: Zwischenergebnisse bereits durch ein Commit anderen Transaktionen verfügbar, aber trotzdem bei einem späteren Abbruch wieder rückgängig machen
    * Transaktionsbaum und ihre ACID-Eigenschaften



      Isolation: Ergebnisse einer Subtransaktion an die Vatertransaktion weitergeleitet, nicht sichtbar für andere nebenläufige Transaktionen
      Atomarität: entweder alle Transaktionen des Transaktionsbaums enden erfolgreich oder brechen gemeinsam ab
- **Geschlossen geschachtelte Transaktionen (CNT)**
    * **Isolation:**
        - Weitergabe der Sperren einer Subtransaktion an die Vatertransaktion, Sperren werden also in der Hierarchie nach oben (in Richtung der Wurzel) weitergereicht
        - Ergebnisse der CNT werden erst mit dem Commit der Wurzeltransaktion freigegeben (ACID auf Wurzelebene)
    * **Atomarität**:
        1. Abbruch einer Vatertransaktion erzwingt Abbruch aller Subtransaktionen
        2. Transaktion des Transaktionsbaumes kann nur erfolgreich enden, wenn alle Subtransaktionen erfolgreich waren

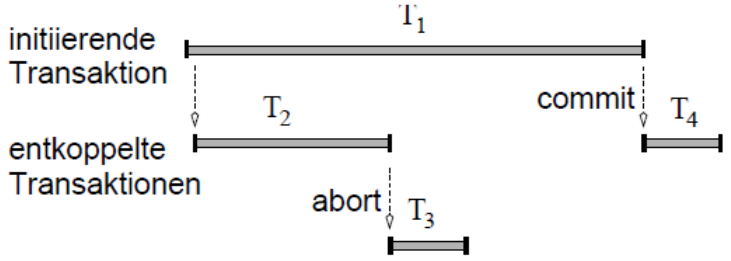
3. Abbruch einer Subtransaktion führt zum Abbruch der Vatertransaktion

- **Offen Geschachtelte Transaktionen (ONT)**
  - keine Isolation: Ergebnisse werden bereits bei Commit der Subtransaktion freigegeben
  - Atomarität offen geschachtelter Transaktionen
    geg: zwei Transaktionen T_i, T_j, wobein T_j SOhn von T_i ist
    ein abort(T_i) erzwingt einen abort (T_j)
    ein commit(T_i) ist nur mgl nach einem commit(T_j)
  - Klassen von Subtransaktionen: vitale/nicht-vitale Transaktionen, Ersatztransaktionen
- **Vitalität von Transaktionen**
  - Vitalitätsbeziehung: Abbruch einer Transaktion führt zu Abbruch einer anderen Transaktion
  - CNT: Abbruch der Subtransaktionen führt zum Abbruch der Vatertransaktion => Subtransaktion vital für Vatertransaktion
  - CNT: Abbruch der Vatertransaktion führt zu Abbruch Subtransaktionen => Vatertransaktion vital für Subtransaktionen
  - ONT: Abbruch Subtransaktion führt nicht zum Abbruch Vatertransaktion (ignore, s.u.) => Subtransaktion nicht-vital für Vatertransaktion
- **ONT: Reaktion bei abort(T_j)**
  1. ignorieren (ignore) für nicht lebenswichtige (nicht-vitale) Subtransaktionen
  2. erneutes Starten der abgebrochenen Subtransaktion: retry(T_j), evtl. in Abhängigkeit von der Ursache des Abbruchs
  3. Versuch der Ausführung (try) einer Ersatztransaktion (contigency transaction)
     Ersatztransaktionen werden im Falle eines Abbruchs oder der Nichtausführbarkeit einer Transaktion alternativ ausgeführt.
  4. Abbruch des Vaters: abort(T_i)

  Eigenschafte:
  Atomarität: nur mit retry abgebrochener Subtransaktionen oder mit vitalen Subtransaktionen
  keine Atomariät: bei nicht-vitalen Subtransaktionen und Ersatztransaktionen
- **Sagas**
  - Bestandteile einer Saga:
    eine Menge von Transaktionen T
    für jede Transaktion $T_i \in T$ eine kompensierende Transaktion C_i, die den Zustand vor der Transaktion T_i semantisch rückgängig macht.

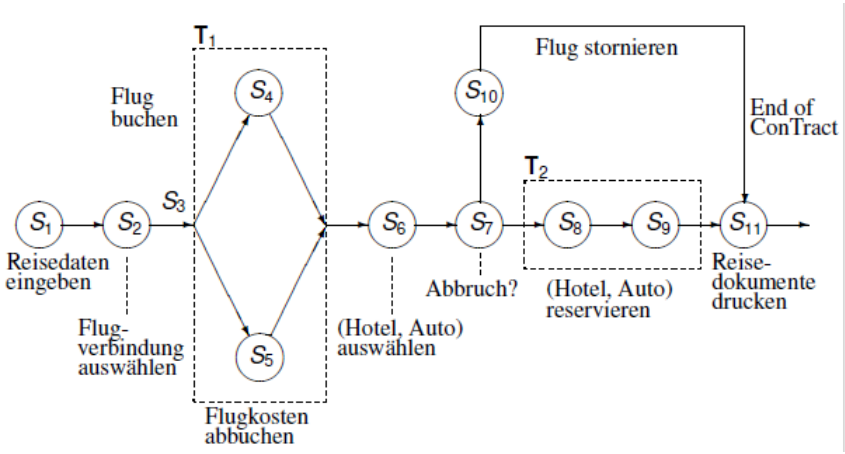
* Saga = spezielle ONT der Tiefe 1
* keine Isolation: einzelne Subtransaktionen geben bei ihrem Commit Ergebnisse frei
* **Erlaubte Ausführungshistorien einer Saga**
  - korrekte Ausführung: $T_1, \ldots, T_n$
  - kontrollierter Abbruch: $T_1, \ldots, T_i C_i C_{i-1}, \ldots, C_1$
  - der zweite Fall tritt ein, wenn die Subtransaktion $T_{+1}, 1 \leq i < n$, abgebrochen wurde
  - dann werden die Auswirkungen der Transaktionen T_1 bis T_i mit Hilfe der Kompensationstransaktionen in umgekehrter Reihenfolge rückgängig gemacht
* **Beispiel für ABlauf einer Saga**
  1. Transaktion T_1: Hebe 10 Euro ab
  2. Transaktion T_2: Kaufe Gegenstand
  3. abort von T_2
  4. Kompensierende Transaktion C_1: Zahle 10 Euro ein
* Saga Modell bietet zwar keine Isolation, aber erfüllt D (durability) und A (atomicity)

– **Entkoppelte SUbtransaktionen**
* ohne Wurzeltransaktion als Klammer



* Subtransaktionen können außerhalb des zeitlichen Rahmens der Wurzeltransaktionen laufen
* Eine Subtransaktion kann ein Commit machen, auch wenn die Vatertransaktion abbricht (Vatertransaktion nicht-vital für Subtransaktion)
* Neben dem expliziten Aufruf einer Subtransaktion kann eine Subtransaktion auch durch das Commit oder Abort einer anderen Transaktion aktiviert werden
* Entspricht Spezialfällen des Regelmodus detached but causally dependent in aktiven Datenbanken

    * spezielle Abhängigkeiten sind parallel, sequential (Start der Transaktion nach erfolgreichem Ende der triggernden Transaktion) und exclusive (Start nur nach dem Abbruch der triggernden Transaktion)
  - **Von Transaktionen zu Workflows**
    * Schritte (S_i) (ACID)
    * ACID-Transaktionen (T_j)
    * Arbeitsabläufe (Script): Sequenz, Verzweigung, Schleife, Parallelität
    * ConTract:Workflow-Programmiermodell mit
    * Schritten, Transaktionen, Scripts
    * Programmiermodell mit Persistenz, Konsistenz, Recovery, Synchronisation, Kooperation
    * Kompensation muss per Hand formuliert werden



  - **Formalisierung von Inter-Transaktions-Beziehungen**
    * Eigenschaften von erweiterten Transaktionsmodellen:
    * Sichtbarkeit der Transaktionsergebnisse: offen vs. geschlossen
    * Abbruchabhängigkeit der Vater- und Subtransaktionen: vital vs. nicht-vital
    * Ausführungsreihenfolge von Subtransaktionen: parallel vs. sequentiell

- **Versionen und Konfigurationen**
  - speziell für CASE; CAD; CIM wichtig: viele Versionen eines Objektes verwalten
  - Erzeugung: explizit durch Benutzer; implizit durch System
  - Verwaltung: Verzweigen, Zusammenführen, Löschen, Defaultversion wählen

- Konfigurationen
  falls Komponentenobjekte versioniert sind
  welche Komponentenversion gehört zu welcher Objektversion

5.7 Fazit, Rückblick, Ausblick

- **Rückblick (vor 13 Jahren)**
  Vorteile OODBMS
  - OO pur nur im DB-Modell
  - kein impedance mismatch bei oo Anwendungsprogrammierung
  - Systeme nicht überladen
  - Performance bei anfragelastigen Anwendungen sehr gut

  Nachteile OODBMS
  - schwacher, inkonsistenter Industriestandard
  - DBMS-Funktionalitäten teilweise nicht enthalten
    Integritätssubsystem; Rechtevergabe; ONT, CNT, Sagas, kooperative Transaktionen; Datenunabhängigkeit fehlt, oft low-level Programmierung; Sichten
  - Modellierung: Typsystem einer Programmiersprache ist kein DB-Modell
  - Performance bei hoher Transaktionslast mit ACID-Anforderungen

- **Stand 2015**
  - OODMBS: Produkt für die Nische
    Std im Wesentlichen der Nachfolger des ODMG-Java-Binding: JDO
    ansonsten eher O-R-Mapper mit JPA
    leider keine Updates für ODMG/JDO
  - ORDBMS: mit Oracle und DB2 weit verbreitet, wenn auch jeweils mit Einschränkungen:
    Std-SQL:1999/2003 bieten alle Konzepte der OO (ohne Mehrfachvererbung)
  - SQL:"006 wird SQL/XML definieren: XML als Hype ab 2002
    für Multimedia-Dokumente flexibler als OO