11. Erweiterbares Typsystem

- **Benutzerdefinierte Typen: Überblick**[1]
  - Typdefinition
  - Methodenspezifikation
- **Typklassifikation**
- **Umbenannte Typen (UDTs)**
  - Erhöhung der Typsicherheit
  - Casting-Funktionen und neue Operationen/Methoden
- **Strukturierte Typen (UDTs)**
  - Spalten basierend auf UDTs
  - Tabellen mit Typbindung
  - Typ- und Tabellenhierarchien
  - Einsatzbeispiele
- **Konstruierte Typen**
  - Tupeltypen
  - Referenztypen
  - Kollektionstypen
- **Von SQL aufrufbare Routinen**
  - SQL-Routinen und externe Routinen
  - Funktionsresolution

1. Benutzung als Synonyme: Relation - Tabelle, Tupel - Zeile, Attribut - Spalte

Benutzerdefinierte Typen

- **Benutzerdefinierte Datentypen**
  - benutzerdefinierte, benannte Typen zur Modellierung von Entities
  - Beispiele: Angestellter, Projekt, Geld, Polygon, Text, ...
- **Benutzerdefinierte Methoden und Funktionen (Operatoren)**
  - benutzerdefinierte Operationen zur Modellierung des Verhaltens von Entities in speziellen Anwendungsbereichen
  - lokale und globale Definition in einem DB-Schema möglich
  - Beispiel: Einstellung, Beurteilung, Konversion, Längenbestimmung, Enthaltensein, Ranking, ...
- **Was ist im Vergleich zu vordefinierten Typen (vom Entwerfer) zu tun?**
  - Instanzierung:
    Wie werden die Daten zugewiesen und physisch in einer Tabelle gespeichert?
  - Ordnung:
    Wie vergleicht man Werte des Typs?
  - Verhalten:
    Wie werden Werte des Typs manipuliert (z.B. +, –, ...)?
  - Casting:
    Wie können Werte des Typs konvertiert werden in Werte eines anderen Types (z.B. Wirtssprachenanbindung)

Benutzerdefinierte Typen (2)
- Schlüsseleigenschaften -

- **Neue Funktionalität**
  - **beliebige** Erweiterung der Menge der verfügbaren Typen
  - **beliebige** Erweiterung der Menge der Operationen auf Typen
  - ➥ Erhöhung der Modellierungsmächtigkeit von SQL, um komplexe Operationen/Berechnungen ins DBMS zu verlagern

- **Flexibilität**
  - Integration von relationalen und objektorientierten Konzepten in einer einzigen Sprache
  - Definition von typspezifischem Verhalten für neue Typen (anwendungsspezifische Semantik)

- **Konsistenz**

  Typsicherheit (strong typing) gewährleistet, daß Funktionen auf korrekte Werte von Typen angewendet werden

- **Kapselung**

  Anwendungen beziehen sich auf die „Außenansicht" des Typs; die interne Repräsentation bleibt verborgen

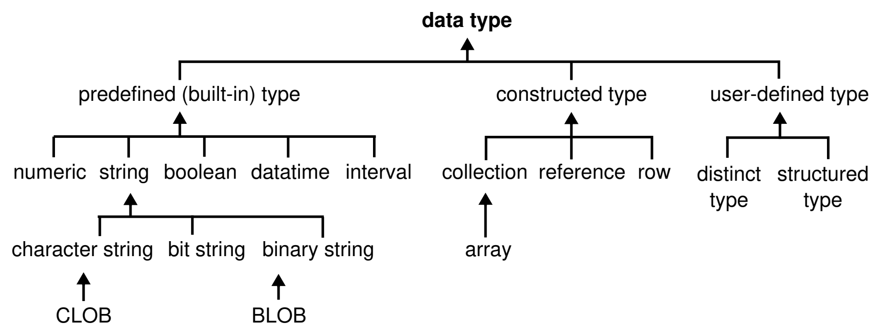
- **Leistungsverhalten**

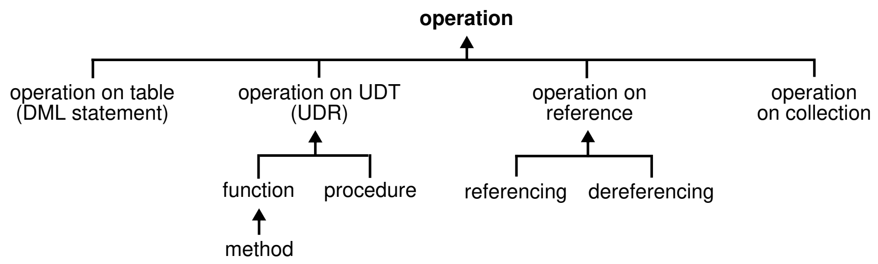
  Möglichkeit zur DBMS-Integration von Typen und Funktionen als „first class citizen" (volle Verarbeitungsmächtigkeit)

Benutzerdefinierte Typen (3)

- **Vereinfachte Anwendungsentwicklung**
  - Wiederverwendung von Code (Klassenbibliotheken)
  - Überladen und Überschreiben
    (ein einziger Funktionsname für eine Menge von Operationen auf verschiedenen Typen)
  - konsistenter Einsatz von Funktionen/Typen in allen Anwendungen durch ihre „Standardisierung"
  - Änderungen bei Funktionen/Typen sind gekapselt, was ihre Wartung vereinfacht

- **Überblick**



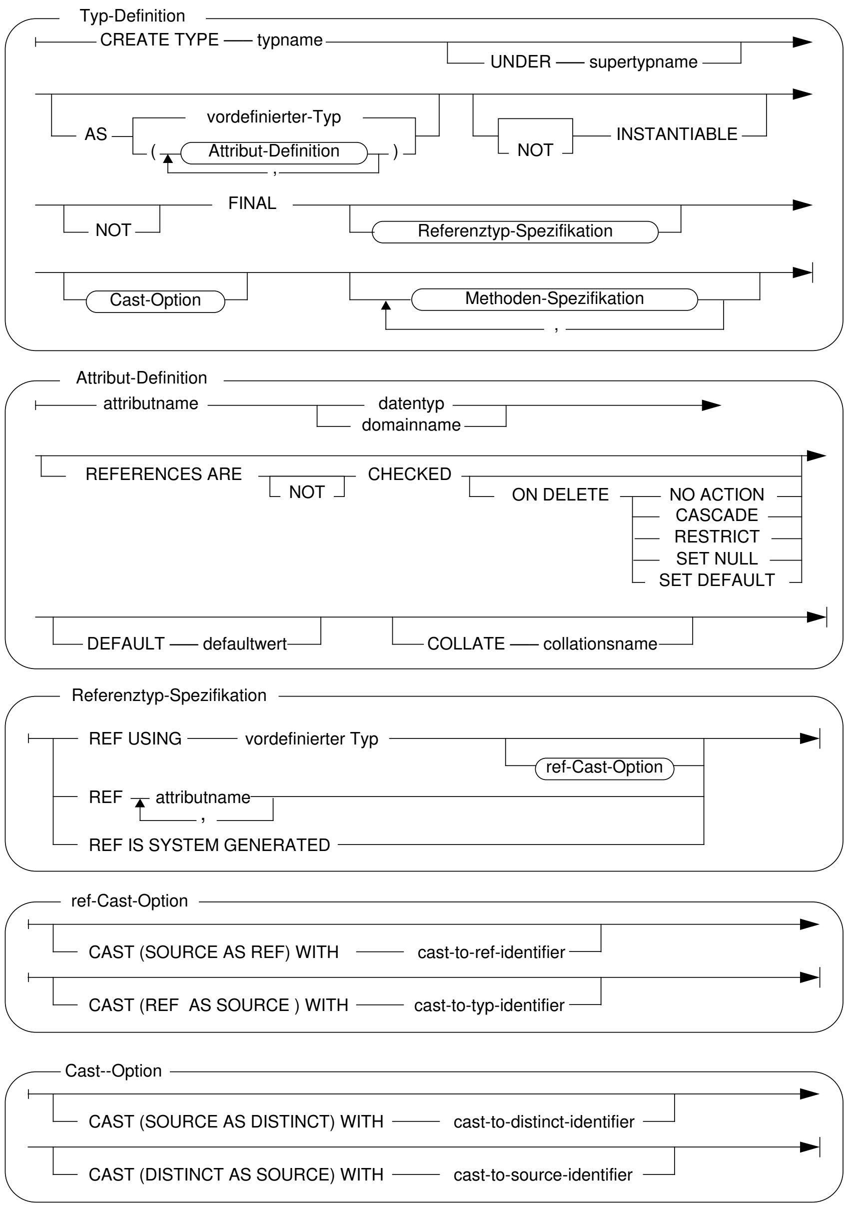


Benutzerdefinierte Typen (4)

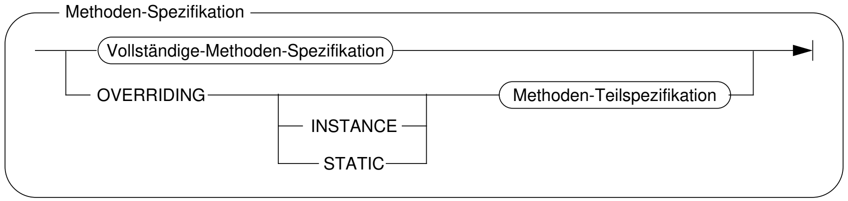
- **Definition des Datentyps**
  - CREATE TYPE definiert einen neuen strukturierten Typ (ADT, UDT): eine benamte Menge von gültigen Datenwerten
  - Festlegung von bis zu 12 Aspekten (ggf. über Defaultwerte) erforderlich
    - Name, Beziehung zu anderen Typen
    - Basistyp bei umbenannten Typen, Attributdeskriptoren bei strukturierten Typen; Grad (Anzahl der Attribute) des Typs
    - Angabe, ob instanzierbar (INSTANTIABLE)
    - Angabe, ob Vererbung und Subtypbildung (bei strukturierten Typen: NOT FINAL, bei umbenannten Typen: FINAL)
    - Casting
    - Deskriptoren für die Methodensignaturen
    - verschiedene Spezifikationen zur Ordnung des Typs (nicht behandelt)

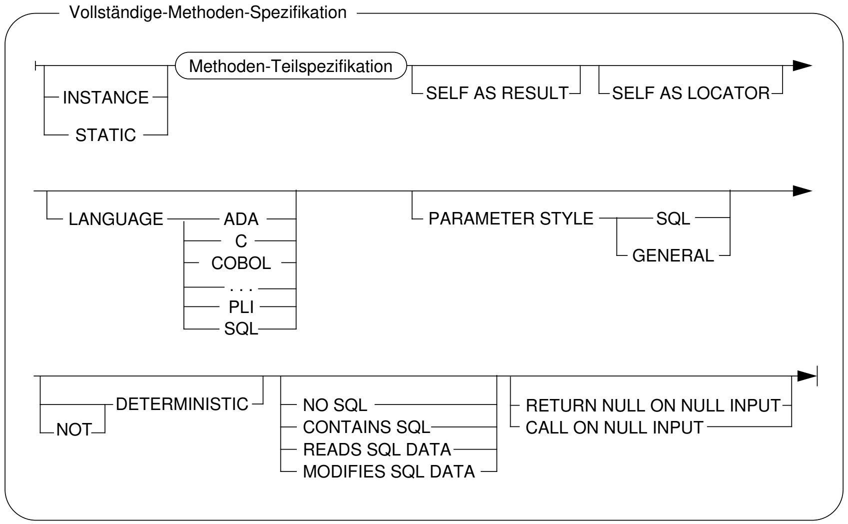
- **Definition von Methoden (und Funktionen)**
  - Name
  - Signatur (d.h. Parameterliste)
  - Ergebnis
  - Implementierung

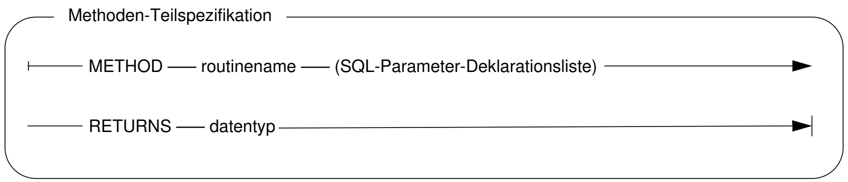
Typdefinition



Methodenspezifikation







Typklassifikation

- **Benutzerdefinierte Typen (UDT) und Routinen (UDR)**[1]
  - **Umbenannte Typen**
    - fördern *strong typing*, erlauben die Spezifikation von Verhalten
    - auch einzigartige Typen (*distinct types*) genannt
  - **Strukturierte Typen** (ADT-ähnlich, grob: Klassen in OO-Terminologie)
    - definieren bestimmte Objekteigenschaften
    - Kapselung:
      Zustand (interne Datenstrukturen) **+** Verhalten (zugehörige Routinen)
    - Bildung von Subtypen und dabei Nutzung von Vererbung:
      Ohne Typhierarchien keine Tabellenhierarchien!
    - Überladen, Überschreiben, spätes Binden
    - sind verwendbar als **Parametertypen** oder **Attributtypen** oder dienen zur **Definition von Tabellen**
      (die Zeilen mit Objekteigenschaften aufnehmen können)

PNR	Name	Ort
. . .	. . .	Straße Stadt Land PLZ

Staße	Stadt	Land	PLZ
. . .	. . .	. . .	. . .

1. The features of SQL:1999 can be crudely partitioned into its „relational features“ and its „object-oriented features“. „Relational“ is more appropriately categorized as „features that relate to SQL‘s traditional role and data model“. “Object-oriented features“ are focussed on adding support for object-oriented concepts to the SQL language.

Typklassifikation (2)

- **Konstruierte Typen (Typkonstruktoren)**
  - **Unbenamte Zeilen- und Spaltentypen**
    - sind aus vordefinierten, benutzerdefinierten und konstruierten Typen zusammengesetzt (haben keine Typnamen: „unnamed row types“)
    - verwendbar als **Datentypen von Zeilen und Spalten**
    - Schachtelung von Zeilen (*nested rows*)
    - aber: keine Objekteigenschaften!
  - **Referenztypen**
    - definiert auf strukturierten Typen
    - eindeutige Identifikation der Zeilen (neben Primärschlüssel)
    - Pfadausdrücke, Navigation
    - erforderlich zur Referenzierung von Zeilen in Tabellen

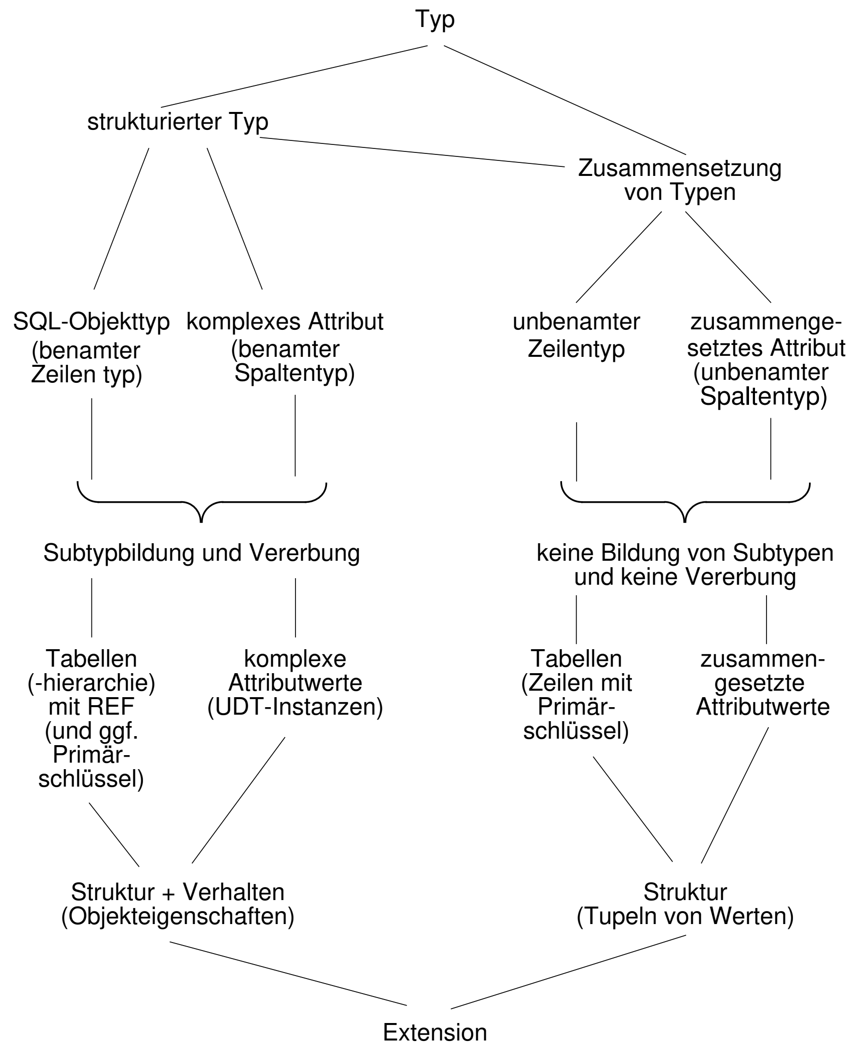
PNR	Name	Ort
...	...	Straße Stadt Land PLZ

Staße	Stadt	Land	PLZ
...	...	...	...

  - **Kollektionstypen (ARRAY, SET, LIST, BAG)**
    - erlauben neben individuellen Werten auch die Speicherung von zusammengesetzten Werten (*composite values*) als Attributwerte
    - z. Z. nur ARRAY

Typklassifikation (3)

- **Vereinfachte Zusammenfassung:**
  Strukturierter Typ vs. Zusammensetzung von Typen



Umbenannte Typen

- **Einsatz von vordefinierten Typen**

```
CREATE TABLE Verkäufe
    ( Kunden_Nr          INTEGER,
      . . .
      Verkaufspreis      DECIMAL (9,2),
      Einkaufspreis      DECIMAL (9,2));
```

```
SELECT    . . ., Verkaufspreis – Einkaufspreis AS Gewinn
FROM      Verkäufe
WHERE     Verkaufspreis > 17.50
```

- **Welche Operationen sind für DECIMAL bereits „eingebaut“?**
  - Zuweisung/Speicherung
  - Ordnung
  - Methoden
  - Casting

- **Umbenannte Typen**
  - verbesserte Modellierung, erhöhte Gewährleistung von Typsicherheit
  - jedoch keine Vererbung und keine Bildung von Subtypen (FINAL), immer INSTANTIABLE
  - Umbenennung des Typs gewöhnlich damit verbunden, ein zu seinem Basistyp unterschiedliches Verhalten zu erreichen

- **Beispiele**

```
CREATE TYPE    GELD     AS    DECIMAL (9,2) FINAL;
CREATE TYPE    ALTER    AS    INTEGER FINAL;
CREATE TYPE    IQ       AS    INTEGER FINAL;
CREATE TYPE    VIDEO    AS    BLOB (100 M) FINAL;
```


Umbenannte Typen (2)

- **Alter1, Alter2 und Iq1 seien Attribute umbenannter Typen:**

```
Alter1  +  20
Iq1     –  Alter1
```

- **Casting-Funktionen**
  - Bei Erzeugung eines umbenannten Typs werden automatisch zwei Casting-Funktionen zum Konvertieren von Werten zwischen dem **umbenannten Typ** und seinem **Basistyp** generiert
  - Systemgenerierte Funktionen

Basistyp	Casting-Funktionen
SMALLINT	smallint
INTEGER	integer
DECIMAL (p,s)	decimal
REAL	real
DOUBLE	double
CHAR (n)	char
VARCHAR (n)	varchar
. . .	

  - Casting-Funktionen für ALTER

```
alter (INTEGER)   returns   ALTER
integer (ALTER)   returns   INTEGER
```

  - Explizites Casting (muß programmiert werden)

Umbenannte Typen (3)

- **Einfaches Arbeiten mit umbenannten Typen**
  verlangt neben Casting-Funktionen
  - Übernahme von Operationen vom Basistyp (Quellenfunktion) und/oder
  - Definition neuer, eigener Operationen

- **Quellenbasierte Funktionen**
  - Eine quellenbasierte Funktion ist eine neue Funktion, die auf einer bereits existierenden Quellenfunktion basiert
  - Quellenfunktionen von INTEGER wie +, –, SUM, AVG können vom Typ ALTER übernommen werden, um entsprechende Operationen direkt auszuführen:

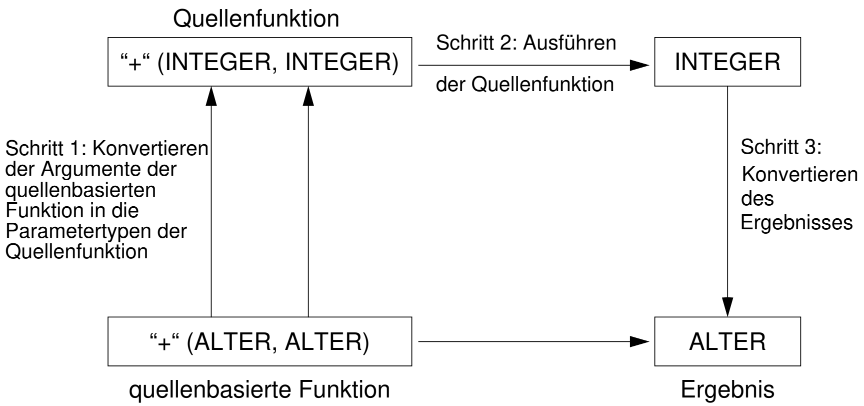
    SELECT Alter1 + alter (Iq1) AS Kennziffer

  - Beispiel:

    “+“ (ALTER, ALTER) sei vom Erzeuger des Typs ALTER als quellenbasierte Funktion angelegt:

    ```
    CREATE FUNCTION “+“ (ALTER, ALTER)
        RETURNS ALTER
        SOURCE “+“ (INTEGER, INTEGER)
    ```

- **Ausführung einer quellenbasierten Funktion**



Umbenannte Typen (4)

- **Benutzung umbenannter Typen**
  - WHERE Iq1 > 150
  - SET Iq1 = Iq1 · 2
  - WHERE Alter1 + Iq1 > Alter2

Umbenannte Typen (5)

- **Anwendungsbeispiel**

  CREATE TYPE **D_MARK** AS DECIMAL (9,2) FINAL;
  CREATE TYPE **US_DOLLAR** AS DECIMAL (9,2) FINAL;

```
CREATE TABLE D_Verkäufe
    ( Kunden_Nr      INTEGER,
      Vertrags_Nr    INTEGER,
      Gesamt         D_MARK);

CREATE TABLE US_Verkäufe
    ( Kunden_Nr      INTEGER,
      Vertrags_Nr    INTEGER,
      Gesamt         US_DOLLAR);
```

```
ALTER TABLE D_Verkäufe
ADD Bonus D_MARK
```

- **Hauptaspekt ist Typsicherheit:**
  Es läßt sich Typkorrektheit und Typverhalten garantieren!

```
SELECT      D.Kunden_Nr, D.Gesamt + US.Gesamt AS Gesamt
    FROM    D_Verkäufe D, US_Verkäufe US
    WHERE   D.Vertrags_Nr = US.Vertrags_Nr
    AND     D.Gesamt > US.Gesamt                     Fehler!!!
```

➥ **D_Mark und US_Dollar können nicht miteinander addiert und verglichen werden!**

- **Ist damit das Problem gelöst?**
  D.Gesamt + US.Gesamt

  - Hier sind offensichtlich spezielle Konversionsroutinen, die Semantik berücksichtigen, erforderlich!
    US_Dollar_To_D_Mark (US.Gesamt)

  ➥ **CAST-Anweisung: explizite Programmierung der Casting-Funktion**

Benutzerdefinierte Typen und Routinen

- **Ziel: „Objektorientierung[1] für die Spalten und Zeilen von Tabellen“**
  - komplexe Strukturen für Objekte definieren
  - Verhalten (Operatoren, Funktionalität) für Objekte definieren
  - Mächtige SQL-Anfragen, die die Semantik von Objekten „verstehen“

- **Definition von neuen Typen**
  - benannte, benutzerdefinierte Typen
    mit Verhalten (Routinen) und gekapselter interner Struktur (Attribute)
  - frühere SQL-Versionen unterschieden zwischen ADTs und ROW-Types

  ➥ SQL:1999 vereinigt zwei Typkonzepte in ein einheitliches Typkonzept:
  strukturierte Typen!

- Strukturierte Typen als „**white box**“-Definition:
  Interne Struktur ist in SQL-Termen definiert

```
CREATE TYPE Adresse AS
   ( Straße        CHAR (30),
     Stadt         CHAR (20),
     Land          CHAR (2),
     PLZ           INTEGER) NOT FINAL;
```

➥ **als Datentyp für Attribute oder als Zeilentyp verwendbar**

Name	Alter	Ort
. . .	. . .	Straße Stadt Land PLZ

Staße	Stadt	Land	PLZ
. . .	. . .	. . .	. . .

1. In spite of certain characteristics like type hierarchies, encapsulation, etc., instances of SQL:1999 structured types are simply values. Such values may be more complex than an instance of INTEGER, but it is still a value without any identity other than that provided by its value.

Benutzerdefinierte Typen und Routinen (2)

- Strukturierte Typen als „**black box**“-Definition:
  interne Struktur ist außerhalb von SQL definiert

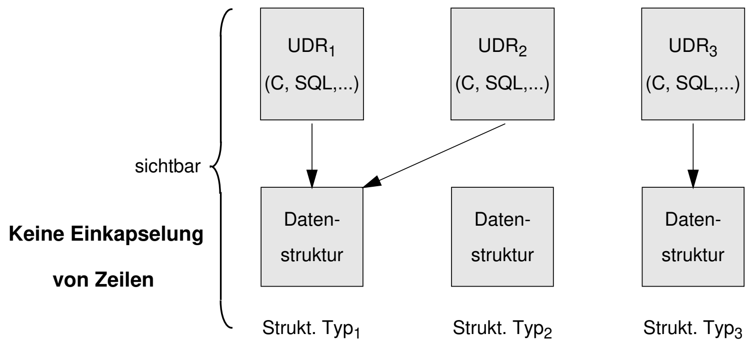
  CREATE TYPE Adresse **AS**
    (**internal length** = 56 **VARYING**,
      input = Adreßeingabe,
      output = Adreßausgabe)

  ➥ „black box“-ADTs sind kein Teil von SQL:1999

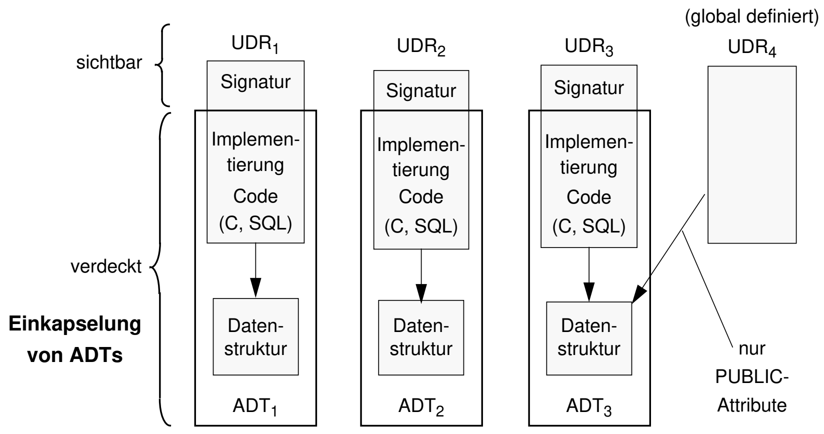
- **Eigenschaften**
  - Plattformabhängigkeit
  - DBS „versteht“ nicht die Objektsemantik
    - keine Unterstützung bei der Suche
    - keine Maßnahmen zur Integritätssicherung
  - oft mit Hilfe von LOBs implementiert

Benutzerdefinierte Typen und Routinen (3)

- **UDRs für strukturierte Typen („white box“-ADTs)**



- **UDRs für „black box“-ADTs** (nicht in SQL:1999, aber in spez. Systemen)



Strukturierte Typen

- **Beispiel:**

```
CREATE TYPE Adresse AS
  ( Straße          CHAR (30),
    Stadt           CHAR (20),
    Land            CHAR (2),
    PLZ             INTEGER) NOT FINAL;

CREATE TYPE Bitmap AS BLOB (10M) FINAL;

CREATE TYPE Immob_t AS
    ( Besitzer   REF (Person),
      E-Preis    GELD,
      V-Preis    GELD,
      . . .
      Ort        Adresse,
      Ansicht    Bitmap) INSTANTIABLE NOT FINAL
      REF IS SYSTEM GENERATED
      METHOD Gewinn RETURNS GELD;
```

- **Strukturierte Typen sind überall in SQL einsetzbar, wo vordefinierte Typen benutzt werden können**
  - Typen von Attributen anderer strukturierter Typen
  - Typen von Parametern von Funktionen, Methoden und Prozeduren
  - Typen von SQL-Variablen
  - Typen von Wertebereichen oder Spalten in Tabellen

Strukturierte Typen (2)

- **Automatisch generierte Funktionen (Methoden) bei CREATE TYPE**
  - **Konstruktor-Methode** erzeugt Instanzen vom strukturierten Typ, initialisiert mit Defaultwerten:
    Adresse () → Adresse
  - **Observer- und Mutator-Methoden** (O, M) manipulieren einzelne Attribute. Sie können
    - als Grundfunktion zur Implementierung von zusätzlichem Verhalten eingesetzt oder
    - an der Objektschnittstelle (Signatur) zur Verfügung gestellt werden. (a sei Adressen-Variable/Ausdruck)
    - nicht überladen werden.

a.Straße ()	→	CHAR (30)
a.Stadt ()	→	CHAR (20)
a.Land ()	→	CHAR (2)
a.PLZ ()	→	INTEGER
a.Straße (CHAR (30))	→	Adresse
a.Stadt (CHAR (20))	→	Adresse
a.Land (CHAR (2))	→	Adresse
a.PLZ (INTEGER)	→	Adresse

- **Schachtelung von strukturierten Typen ist möglich**

Strukturierte Typen (3)

- **Alle Methoden** haben denselben Namen wie die Attribute, denen sie zugeordnet sind
  - Stadt
  - Stadt ()
  - Stadt (‘KL’)

- **Definition von weiteren Methoden/Funktionen (z.B. Gewinn)**
  - in SQL oder
  - in einer externen Programmiersprache (wie C)

- **Allgemeine Unterscheidungsregeln bei Signaturen**
  - zwei Routinen mit demselben Namen können in derselben Namensklasse (Schema) sein
  - Routinen sind durch ihre Kategorie unterscheidbar: Prozedur, Funktion, O-Methode, M-Methode, Instanz-Methode, statische Methode
  - Routinen in derselben Kategorie sind unterscheidbar durch Parameteranzahl und deklarierte Typen in der Parameterliste

Strukturierte Typen (4)

- **Wie werden Instanzen von UDTs verarbeitet?**

```
CREATE TABLE Adressenliste
    ( LfdNr       INTEGER PRIMARY KEY,
      Ort         Adresse);
```

- **Einfügen einer Zeile**
  - Vorbereitung im Wirtsprogramm

```
BEGIN
  DECLARE a Adresse;
  SET    a = Adresse ();
  SET    a = a.Straße (‘A-Straße’);
  . . .
  SET    a = a.PLZ (67653);
  INSERT INTO Adressenliste VALUES (123, a);
END;
```

  - alternativ: direktes Einfügen

```
INSERT INTO Adressenliste
  VALUES  ( :lfdnr, NEW Adresse (‘A-Straße, ..., 67653’);
```

- **Aktualisieren von Straße**

```
UPDATE   Adressenliste
  SET      Ort = Ort.Straße (‘B-Straße’)
  WHERE    LfdNr = :x;
```

Strukturierte Typen (5)

- **Zugriff mit O-Methoden**

```
SELECT   a.Ort.Stadt (), a.Ort.PLZ ()
INTO     :x, :y
FROM     Adressenliste a
WHERE    a.Ort.PLZ > 80000;
```

- **Allgemeine Regeln**
  - Punktnotation ist zum Aufruf von Methoden erforderlich
  - Methoden ohne Parameter benötigen keine „()“
  - Punktnotation unterstützt den „navigierenden“ Zugriff bei geschachtelten strukturierten Typen über mehrere Ebenen (a.b.c.d.e)

Strukturierter Typ als SQL-Objekttyp

- **Ziel:**
  Objektorientierung für die Zeilen von Tabellen

- **Strukturierter Typ**
  dient zur Typisierung der in einer Tabelle gespeicherten Objekte
  - Aus Attributen des strukturierten Typs werden „Spalten“ der darauf definierten Tabelle (*typed table*)
  - Eine **Extra-Spalte** definiert (eindeutige) REF-Werte für die Zeilen
    - systemgeneriert: REF IS SYSTEM GENERATED
    - benutzergeneriert: REF USING <vordefinierter Typ>
    - abgeleitet: REF <Attributliste> (UNIQUE NOT NULL)
  - Explizite Definition eines strukturierten Typs erlaubt seine Verwendung bei mehreren TABLE-Definitionen
  - Konzept ist wichtig für Tabellenhierarchien

- **Beispiel:**

```
CREATE TYPE Immob_t AS (                                  // Strukturierter Typ

    ( Besitzer   REF (Person),
      E-Preis    GELD,
      V-Preis    GELD,
      . . .
      Ort        Adresse,
      Ansicht    Bitmap) INSTANTIABLE NOT FINAL
      REF IS SYSTEM GENERATED
      METHOD Gewinn RETURNS GELD;

CREATE TABLE Immobilien OF Immob_t              // Tabelle mit Typbindung
    (REF IS OID SYSTEM GENERATED)   // selbst-referenzierendes Attribut
```

Verarbeitung von strukturierten Typen

- **Durch Typschachtelung können „Mischformen“ auftreten**

```
CREATE TABLE Immobilien OF Immob_t
     REF IS OID SYSTEM GENERATED;;
```

OID	Besitzer	E-Preis	V-Preis	...	Ort	Ansicht

- **Erzeugen von Zeilen**

```
DECLARE im Immob_t
     SET im = Immob_t();              /*  Aufruf des Konstruktors   */
     . . .
     SET im.E-Preis = geld (500.000.00);
     /* zulässig für im = im.E-Preis (geld (500.000.00))             */

     SET im.Ort.Stadt = ‘KL’;
     /* zulässig für im = im.Ort.Stadt(‘KL’)                         */

     SET im.V-Preis = im.E-Preis() + geld (100.000.00);      /* „+“ ? */
     . . .
     INSERT INTO Immobilien
          VALUES (im);
```

- **Direktes Einfügen**

```
INSERT INTO Immobilien
     VALUES (:x, geld(500.000.00), geld(500.000.00) + geld(100.000.00),
     . . ., NEW Adresse (‘A-Straße, KL, RLP, 67653’), :Y);
```


Verarbeitung von strukturierten Typen (2)

- **Einsatz von Methoden und Funktionen**
  - Sie können überall aufgerufen werden, wo in SQL Skalarwerte erlaubt sind
  - Benutzerdefinierte Methoden/Funktionen sind (in SQL oder C) zu programmieren. DBMS verwaltet sie in speziellen Bibliotheken.

- **Beispiel für getypte Tabelle**

  Gen_Adr, D_Mark und Contains sind als benutzerdefinierte Funktionen verfügbar

```
UPDATE Immobilien
SET  V-Preis = geld (1.2 * decimal (E-Preis))
WHERE Ort.Land() = ‘RLP’;

SELECT E-Preis
FROM Immobilien
WHERE Ort = Gen_Adr (Adresse(), ‘A-Straße, KL, RLP, 67653’);

SELECT    D_Mark (V-Preis), Ort.Stadt ()
FROM      Immobilien
WHERE     Ort.PLZ() = 67653
   AND    Contains (Ansicht, ‘Seeufer’);
```

- **Bleibt der Typ der Tabelle bei Anfragen/Sichten erhalten?**
  - Anfragen auf getypen Tabellen greifen auf **Attribute** (Spalten) zu
  - Änderungsanweisungen auf getypten Tabellen modifizieren Attribute
  - Ergebnistyp von Anfragen?

Verarbeitung von strukturierten Typen (3)

- **Beispiele für strukturierten Spaltentyp**

```
CREATE TABLE ImmoListe AS
      ( LfdNr     INTEGER PRIMARY KEY,
        Immobilie Immob_t);
```

- **Beispiele**

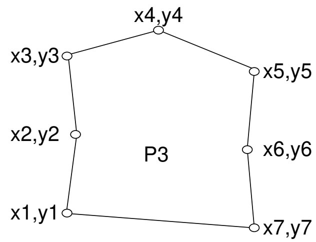
```
DECLARE im Immob _t;
. . .
/* Erzeugen eines im-Wertes */
INSERT INTO ImmoListe
      VALUES (123, im);

UPDATE ImmoListe
      SET Immobilie().V-Preis() = geld (1.2 * decimal(Immobilie(). E-Preis())
      WHERE LfdNr = 123;


SELECT     Immobilie().E-Preis()
FROM       ImmoListe
WHERE      Immobilie().Ort() = Gen_Adr(Adresse(), ‘A-Straße, ...,67653’)


SELECT     D_Mark(Immobilie().V-Preis()),
           Immobilie().Ort().Stadt()
FROM       ImmoListe
WHERE      Immobilie().Ort().PLZ() = 67653
    AND    Contains (Immobilie().Ansicht(), ‘Seeufer’);
```


Strukturierte Typen: Beispiele

- **Erinnerung:**
  Darstellung eines Polygons im Relationenmodell

```
CREATE TABLE Vieleck
   (Id       CHAR(5)        NOT NULL,
    PktNr    INTEGER        NOT NULL,
    X        DECIMAL        NOT NULL,
    Y        DECIMAL        NOT NULL,
       PRIMARY KEY (Id, PktNr));
```

Polygon P3 und seine relationale Darstellung



Vieleck			
Id	PktNr	X	Y
• • •			
P3	1	x1	y1
P3	2	x2	y2
P3	3	x3	y3
P3	4	x4	y4
P3	5	x5	y5
P3	6	x6	y6
P3	7	x7	y7
• • •			

➥ Wie werden Operationen und Integritätsbedingungen auf Polygonen realisiert?

- **Jetzt als strukturierte Typen definierbar:**
  Punkte, Linien, Flächen, Graphen, Rasterdaten usw. inklusive Verhalten

  ➥ **Objekt-relationales Datenmodell** bietet erhebliche Vorteile!

Strukturierte Typen: Beispiele (2)

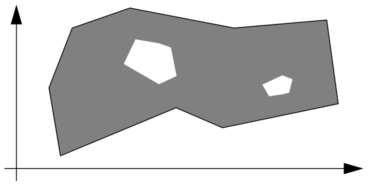
- **Definition des strukturierten Typs Punkt:**

```
CREATE TYPE Punkt AS (
    X_Koord    DECIMAL (7,3),
    Y_Koord    DECIMAL (7,3)) NOT FINAL;
```

  - Alle Attribute sind nur über Methoden zugreifbar:
    mehr physische Datenunabhängigkeit
  - Automatisch bereitgestellte Methoden zum Lesen und Ändern (O, M)

```
METHOD X_Koord () RETURNS (DECIMAL (7,3))
METHOD X_Koord (DECIMAL (7,3)) RETURNS Punkt
METHOD Y_Koord () RETURNS (DECIMAL (7,3))
METHOD Y_Koord (DECIMAL (7,3)) RETURNS Punkt
```

- **Nutzung des Typs Punkt[1]:**



```
CREATE TYPE Polygon AS (
    Nummer     INTEGER,
    Rand       LIST (Punkt),
    Löcher     SET (LIST (Punkt)))
    INSTANTIABLE NOT FINAL
METHOD Umfang ()    RETURNS DECIMAL,
METHOD FLäche ()    RETURNS DECIMAL,
METHOD Enthält (Punkt)    RETURNS BOOLEAN,
METHOD Schneidet (Polygon)    RETURNS BOOLEAN,
. . .
```

- **Separierung von Signatur und Implementierung**
  CREATE METHOD ... BEGIN <Programmcode> **END**;

1. In SQL:1999 müßte der einzige verfügbare Kollektionstyp ARRAY gewählt werden

Strukturierte Typen: Beispiele (3)

- **Ziel**
  - Direkte Modellierung und Speicherung komplexer Daten in Tabellen
  - Erweiterte Infrastruktur für SQL/MM (Multimedia)

- **Tabellen mit strukturierten Typen als Datentyp für Attribute**

```
CREATE TABLE Flurstücke (
    Nummer       INTEGER PRIMARY KEY,
    Geometrie    Polygon,
    Eigentümer   CHAR (50));
```

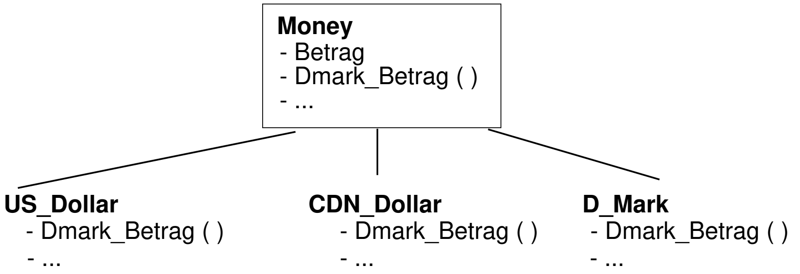
➥ Flurstücke ist Tabelle ohne benannten Typ!

- **Verwendung von Operationen auf strukturierten Typen in SQL-Anfragen**

```
SELECT  F.Nummer                  // Welche Flurstücke > 20000 qm
FROM    Flurstücke F              // gehören der LH München?
WHERE   F.Eigentümer = 'LH München'
        AND F.Geometrie.Fläche () > 20 000,00;

SELECT  F1.Nummer, F2.Nummer      // Gibt es überlappende Flurstücke?
FROM    Flurstücke F1, Flurstücke F2
WHERE   F1.Geometrie.Schneidet (F2.Geometrie);
```

Strukturierte Typen und Vererbung

- **Strukturierter Typ kann Subtyp eines anderen strukturierten Typs sein**
  - Vererbung von Attributen und Verhalten (Methoden) vom Supertyp
  - Überschreibung von Verhalten
  - CREATE TYPE **Money** AS (Betrag ...) NOT INSTANTIABLE NOT FINAL;
- Bisher keine Unterstützung für **Mehrfachvererbung!** (➥ SQL4)



- **Substituierbarkeit:**
  jede Zeile kann eine Instanz eines verschiedenen Subtyps haben

```
CREATE TABLE  Immobilien_Info
  (Preis      Money,
   Besitzer   CHAR (40),
   Grundstück Adresse)
```

Preis	Besitzer	Grundstück
<US_Dollar> Betrag: 100,000	‘S.Weiss‘	<Adresse>
<CDN_Dollar> Betrag: 400,000	‘Dr.W.Gruen‘	<Adresse>
<D_Mark> Betrag: 150,000	‘D.Schwarz‘	<Adresse>

```
SELECT  Besitzer, Dmark_Betrag(Preis)
FROM    Immobilien_Info
WHERE   Dmark_Betrag(Preis) <
        D_Mark (500000)
```

- **Dynamische Auswahl** (dynamic *dispatch* nur bei Methoden!) und **spätes Binden** der Werte von **Preis** auf der Basis des Typs **Money**

Typ- und Tabellenhierarchie - Motivation

- **Tabelle Ortsstraßen**
  CREATE TABLE Ortsstraßen (
  Name **CHAR** (40) PRIMARY KEY,
  Länge **DECIMAL** (9,2),
  Breite **DECIMAL** (5,2),
  O_Bez **Orte**);
- **Einfügen von Zeilen**
  INSERT INTO Ortsstraßen **VALUES** (‘Mozartstr’, 3.25, 8.75, ‘München’);
- Ortsstraßen

Name	Länge	Breite	O_Bez
Schillerstr	2.50	7.50	Köln

- **Tabelle Autobahnen**
  CREATE TABLE Autobahnen (
  Name **CHAR**(40) PRIMARY KEY,
  Länge **DECIMAL** (9,2),
  Breite **DECIMAL** (5,2),
  Gebühr **Money**);
- **Einfügen von Zeilen**
  INSERT INTO Autobahnen **VALUES**
- Autobahnen

Name	Länge	Breite	Gebühr
A6	324.00	18.20	<D_Mark> 20

- **Anfrage:** Suche alle Straßen mit einer Breite größer als 5,50m.