

# Objektrelationale und erweiterbare Datenbanksysteme

---

- Erweiterbarkeit
- SQL:1999
- (Objekt-relationale Modellierung)



# Konzepte objekt-relationaler Datenbanken

- Große Objekte (Large Objects, LOBs)

Hierbei handelt es sich um Datentypen, die es erlauben, auch sehr große Attributwerte für z.B. Multimedia-Daten zu speichern. Die Größe kann bis zu einigen Gigabyte betragen. Vielfach werden die Large Objects den objekt-relationalen Konzepten eines relationalen Datenbanksystems hinzugerechnet, obwohl es sich dabei eigentlich um ‚reine‘ Werte handelt.

- Mengenwertige Attribute (NF<sup>2</sup>)

- Einem Tupel (Objekt) wird in einem Attribut eine Menge von Werten zugeordnet
- Damit ist es beispielsweise möglich, den Studenten ein mengenwertiges Attribut ProgrSprachenKenntnisse zuzuordnen.
- Schachtelung / Entschachtelung in der Anfragesprache

# Konzepte objekt-relationaler Datenbanken

- Geschachtelte Relationen
  - Bei geschachtelten Relationen geht man noch einen Schritt weiter als bei mengenwertigen Attributen und erlaubt Attribute, die selbst wiederum Relationen sind.
  - z.B. in einer Relation *Studenten* ein Attribut *absolviertePrüfungen*, unter dem die Menge von Prüfungen-Tupeln gespeichert ist.
  - Jedes Tupel dieser geschachtelten Relation besteht selbst wieder aus Attributen, wie z.B. Note und Prüfer.
- Typdeklarationen
  - Objekt-relationale Datenbanksysteme unterstützen die Definition von anwendungsspezifischen Typen – oft user-defined types (UDTs) genannt.
  - Oft unterscheidet man zwischen wert-basierten (Attribut-) und Objekt-Typen (Row-Typ).

# Konzepte objekt-relationaler Datenbanken

- Referenzen
  - Attribute können direkte Referenzen auf Tupel/Objekte (derselben oder anderer Relationen) als Wert haben.
  - Dadurch ist man nicht mehr nur auf die Nutzung von Fremdschlüsseln zur Realisierung von Beziehungen beschränkt.
  - Insbesondere kann ein Attribut auch eine Menge von Referenzen als Wert haben, so dass man auch N:M-Beziehungen ohne separate Beziehungsrelation repräsentieren kann
  - Beispiel: Studenten.hört ist eine Menge von Referenzen auf Vorlesungen
- Objektidentität
  - Referenzen setzen natürlich voraus, dass man Objekte (Tupel) anhand einer unveränderlichen Objektidentität eindeutig identifizieren kann
- Pfadausdrücke
  - Referenzattribute führen zur Notwendigkeit, Pfadausdrücke in der Anfragesprache zu unterstützen.

# Konzepte objekt-relationaler Datenbanken

- Vererbung
  - Die komplex strukturierten Typen können von einem Obertyp erben.
  - Weiterhin kann man Relationen als Unterrelation einer Oberrelation definieren.
  - Alle Tupel der Unter-Relation sind dann implizit auch in der Ober-Relation enthalten.
  - Damit wird das Konzept der Generalisierung/Spezialisierung realisiert.
- Operationen
  - Den Objekttypen zugeordnet (oder auch nicht)
  - Einfache Operationen können direkt in SQL implementiert werden
  - Komplexere werden in einer Wirtssprache „extern“ realisiert
    - Java, C, PLSQL (Oracle-spezifisch), C++, etc.

# Standardisierung in SQL:1999

- SQL2 bzw. SQL:1992
  - Derzeit realisierter Standard der kommerziellen relationalen Datenbanksysteme
  - Vorsicht: verschiedene Stufen der Einhaltung
    - Entry level ist die schwächste Stufe
- SQL:1999
  - Objekt-relationale Erweiterungen
  - Trigger
  - Stored Procedures
  - Erweiterte Anfragesprache
- Leider haben viele Systeme schon ihre eigene proprietäre Syntax (und Semantik) realisiert
  - Anpassung an den Standard kann dauern

# Große Objekte: Large Objects

- CLOB
  - In einem Character Large Object werden lange Texte gespeichert.
  - Der Vorteil gegenüber entsprechend langen varchar(...) Datentypen liegt in der verbesserten Leistungsfähigkeit, da die Datenbanksysteme für den Zugriff vom Anwendungsprogramm auf die Datenbanksystem-LOBs spezielle Verfahren (sogenannte Locator) anbieten.
- BLOB
  - In den Binary Large Objects speichert man solche Anwendungsdaten, die vom Datenbanksystem gar nicht interpretiert sondern nur gespeichert bzw. archiviert werden sollen.
- NCLOB
  - CLOBs sind auf Texte mit 1-Byte Character-Daten beschränkt. Für die Speicherung von Texten mit Sonderzeichen, z.B. Unicode-Texten müssen deshalb sogenannte National Character Large Objects (NCLOBs) verwendet werden
  - In DB2 heißt dieser Datentyp (anders als im SQL:1999 Standard) DBCLOB (Double Byte Character Large Object)

# Beispiel-Anwendung von LOBs

```
create table Professoren
```

```
( PersNr integer primary key,
```

```
Name varchar(30) not null,
```

```
Rang character(2) check (Rang in ('C2', 'C3', 'C4')),
```

```
Raum integer unique,
```

```
Passfoto BLOB(2M),
```

```
Lebenslauf CLOB(75K) );
```

Der Speicherbereich kann explizit angegeben werden (um für bessere Performanz die LOBs von den ‚normalen‘ Daten zu trennen).

LOB (Lebenslauf) store as

```
( tablespace Lebensläufe
```

```
storage (initial 50M next 50M) );
```



# Einfache Benutzer-definierte Typen: Distinct Types

```
CREATE DISTINCT TYPE NotenTyp AS DECIMAL (3,2) WITH COMPARISONS;
```

```
CREATE FUNCTION NotenDurchschnitt(NotenTyp) RETURNS NotenTyp  
Source avg(Decimal());
```

```
Create Table Pruefen (  
  MatrNr INT,  
  VorlNr INT,  
  PersNr INT,  
  Note NotenTyp);
```

```
Insert into Pruefen Values (28106,5001,2126,NotenTyp(1.00));
```

```
Insert into Pruefen Values (25403,5041,2125,NotenTyp(2.00));
```

```
Insert into Pruefen Values (27550,4630,2137,NotenTyp(2.00));
```

```
select NotenDurchschnitt(Note) as UniSchnitt  
from Pruefen;
```

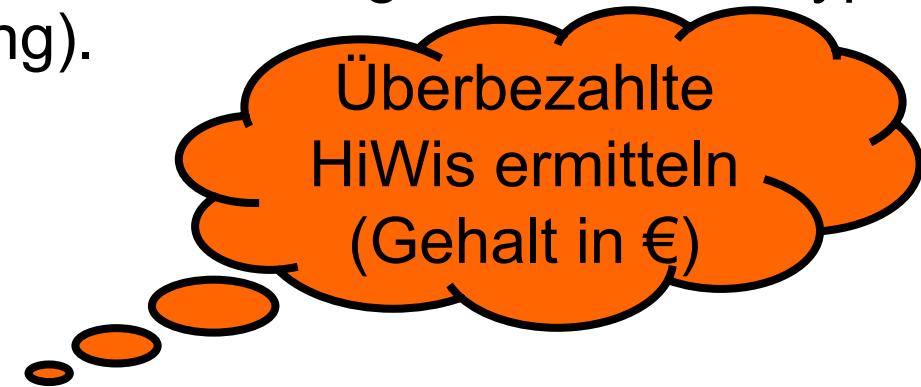
# Einfache Benutzer-definierte Typen: Distinct Types

```
select *  
from Studenten s  
where s.Stundenlohn > s.VordiplomNote;
```



- Geht nicht: Scheitert an dem unzulässigen Vergleich zweier unterschiedlicher Datentypen **NotenTyp vs. decimal**
- Um unterschiedliche Datentypen miteinander zu vergleichen, muss man sie zunächst zu einem gleichen Datentyp transformieren (casting).

```
select *  
from Studenten s  
where s.Stundenlohn >   
      (9.99 - cast(s.VordiplomNote as decimal(3,2)));
```



# Konvertierungen zwischen NotenTyp-en

```
CREATE DISTINCT TYPE US_NotenTyp AS DECIMAL (3,2) WITH  
COMPARISONS;
```

```
CREATE FUNCTION UsnachD_SQL(us US_NotenTyp) RETURNS  
NotenTyp
```

```
Return (case when Decimal(us) < 1.0 then NotenTyp(5.0)  
when Decimal(us) < 1.5 then NotenTyp(4.0)  
when Decimal(us) < 2.5 then NotenTyp(3.0)  
when Decimal(us) < 3.5 then NotenTyp(2.0)  
else NotenTyp(1.0) end);
```

```
Create Table TransferVonAmerika (  
MatrNr INT,  
VorlNr INT,  
Universitaet Varchar(30),  
Note US_NotenTyp);
```

# Anwendung der Konvertierung in einer Anfrage

```
Insert into TransferVonAmerika Values (28106,5041,  
    'Univ. Southern California', US_NotenTyp(4.00));
```

```
select MatrNr, NotenDurchschnitt(Note)  
from  
    (  
        (select Note, MatrNr from Pruefen) union  
        (select USnachD_SQL(Note) as Note, MatrNr  
            from TransferVonAmerika)  
    ) as AllePruefungen  
group by MatrNr
```

# Konvertierung als externe Funktion

```
CREATE FUNCTION USnachD(DOUBLE) RETURNS Double
  EXTERNAL NAME 'Konverter_USnachD'
  LANGUAGE C
  PARAMETER STYLE DB2SQL
  NO SQL
  DETERMINISTIC
  NO EXTERNAL ACTION
  FENCED;
```

Funktion ist in C programmiert

Art der Parameterübergabe

Funktion ruft die Datenbank nicht auf

Wdh. d. Fkt. gibt gleiches Ergebnis

keine Seiteneffekte werden auftreten

Ausf. in eigenem Speicherbereich

```
CREATE FUNCTION UsnachD_Decimal (DECIMAL(3,2)) RETURNS
  DECIMAL(3,2)
  SOURCE USnachD (DOUBLE);
```

Wichtig für (Optimierung in) Compiler


```
CREATE FUNCTION NotenTyp(US_NotenTyp) RETURNS NotenTyp
  SOURCE USnachD_Decimal (DECIMAL());
```

# Table Functions: „Anzapfen“ externer Information

```
Biographien(string): {[ URL: varchar(40), Sprache: varchar(20),  
                        Ranking: decimal ]}
```

```
select bio.URL, bio.Ranking  
from table(Biographien('Sokrates')) as bio  
where bio.Sprache = 'Englisch'  
order by bio.Ranking;
```

```
select prof.Name, bio.URL, bio.Ranking  
from Professoren as prof, table(Biographien(prof.Name)) as bio  
where bio.Sprache = 'deutsch'  
order by prof.Name, bio.Ranking;
```



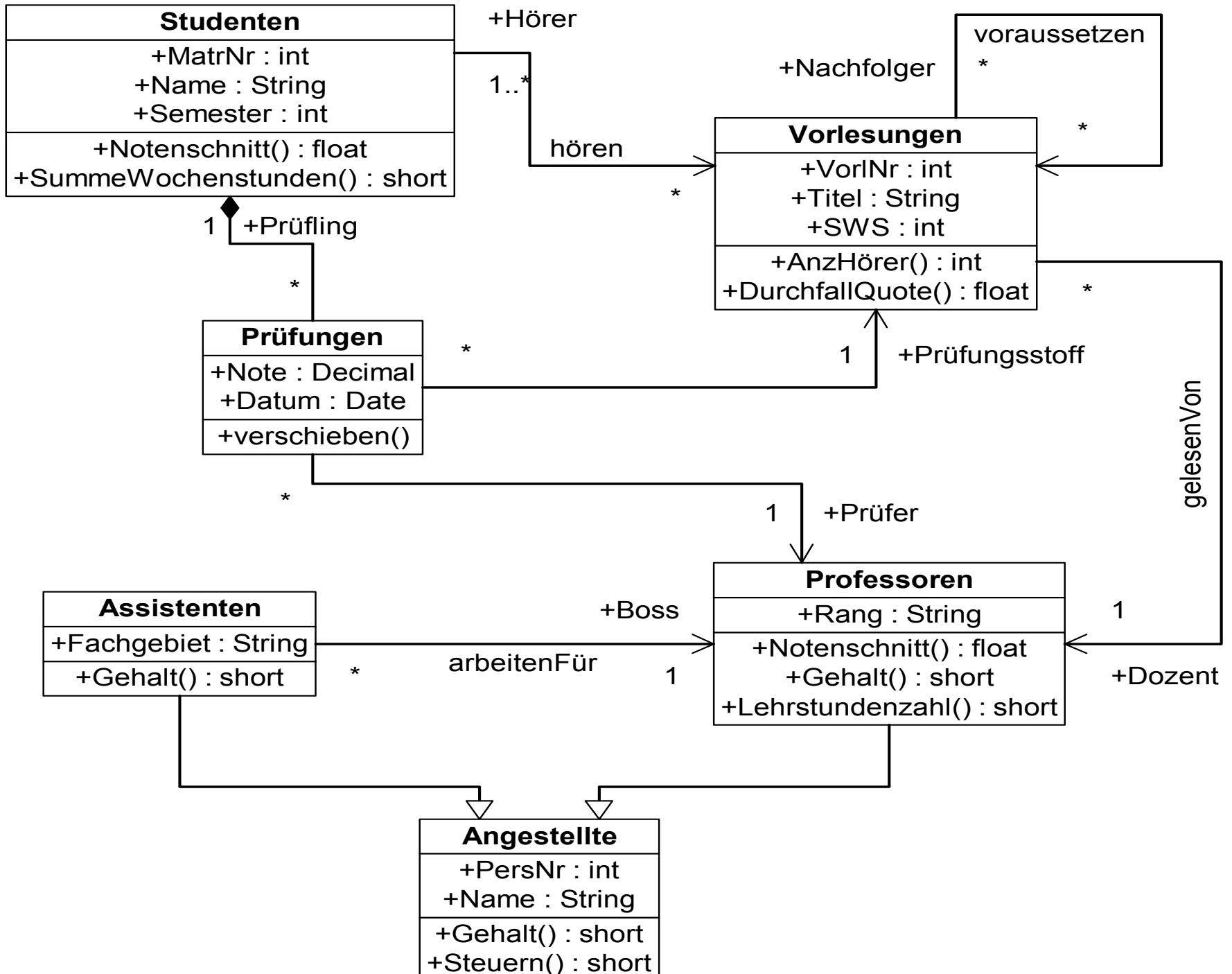
# Realisierung der Table Function

```
create function Biographien(varchar(20))
  returns table (URLvarchar(40),
                Sprache varchar(20),
                Ranking decimal )
  external name '/usr/.../Wrappers/Biographien'
  language C
  parameter style DB2SQL
  no SQL
  not deterministic
  no external action
  fenced
  no scratchpad
  no final call
  cardinality 20;
```

kein Merken von Zwischenergebnissen

DBMS muss Ende nicht signalisieren

max. Größe des Ergebnisses





# Typ-Deklarationen in Oracle

```
CREATE OR REPLACE TYPE ProfessorenTyp AS OBJECT (  
  PersNr NUMBER,  
  Name VARCHAR(20),  
  Rang CHAR(2),  
  Raum Number,  
  MEMBER FUNCTION Notenschnitt RETURN NUMBER,  
  MEMBER FUNCTION Gehalt RETURN NUMBER  
)
```

```
CREATE OR REPLACE TYPE AssistentenTyp AS OBJECT (  
  PersNr NUMBER,  
  Name VARCHAR(20),  
  Fachgebiet VARCHAR(20),  
  Boss REF ProfessorenTyp,  
  MEMBER FUNCTION Gehalt RETURN NUMBER  
)
```

# Implementierung von Operationen

```
CREATE OR REPLACE TYPE BODY ProfessorenTyp AS  
MEMBER FUNCTION Notenschnitt RETURN NUMBER is  
  BEGIN  
    /* Finde alle Prüfungen des/r Profs und  
       ermittle den Durchschnitt */  
  END;
```

```
MEMBER FUNCTION Gehalt RETURN NUMBER is  
  BEGIN  
    RETURN 1000.0; /* Einheitsgehalt für alle */  
  END;  
END;
```

# Anlegen der Relationen / Tabellen

```
CREATE TABLE ProfessorenTab OF ProfessorenTyp (PersNr PRIMARY KEY) ;
```

```
CREATE TABLE VorlesungenTab OF VorlesungenTyp  
  NESTED TABLE Voraussetzungen STORE AS VorgaengerTab;
```

```
CREATE TABLE AssistentenTab of AssistentenTyp;
```

```
INSERT INTO ProfessorenTab VALUES (2125, 'Sokrates', 'C4', 226);
```

```
INSERT INTO ProfessorenTab VALUES (2126, 'Russel', 'C4', 232);
```

```
INSERT INTO ProfessorenTab VALUES (2127, 'Kopernikus', 'C3', 310);
```

```
INSERT INTO ProfessorenTab VALUES (2133, 'Popper', 'C3', 52);
```

```
INSERT INTO ProfessorenTab VALUES (2134, 'Augustinus', 'C3', 309);
```

```
INSERT INTO ProfessorenTab VALUES (2136, 'Curie', 'C4', 36);
```

```
INSERT INTO ProfessorenTab VALUES (2137, 'Kant', 'C4', 7);
```

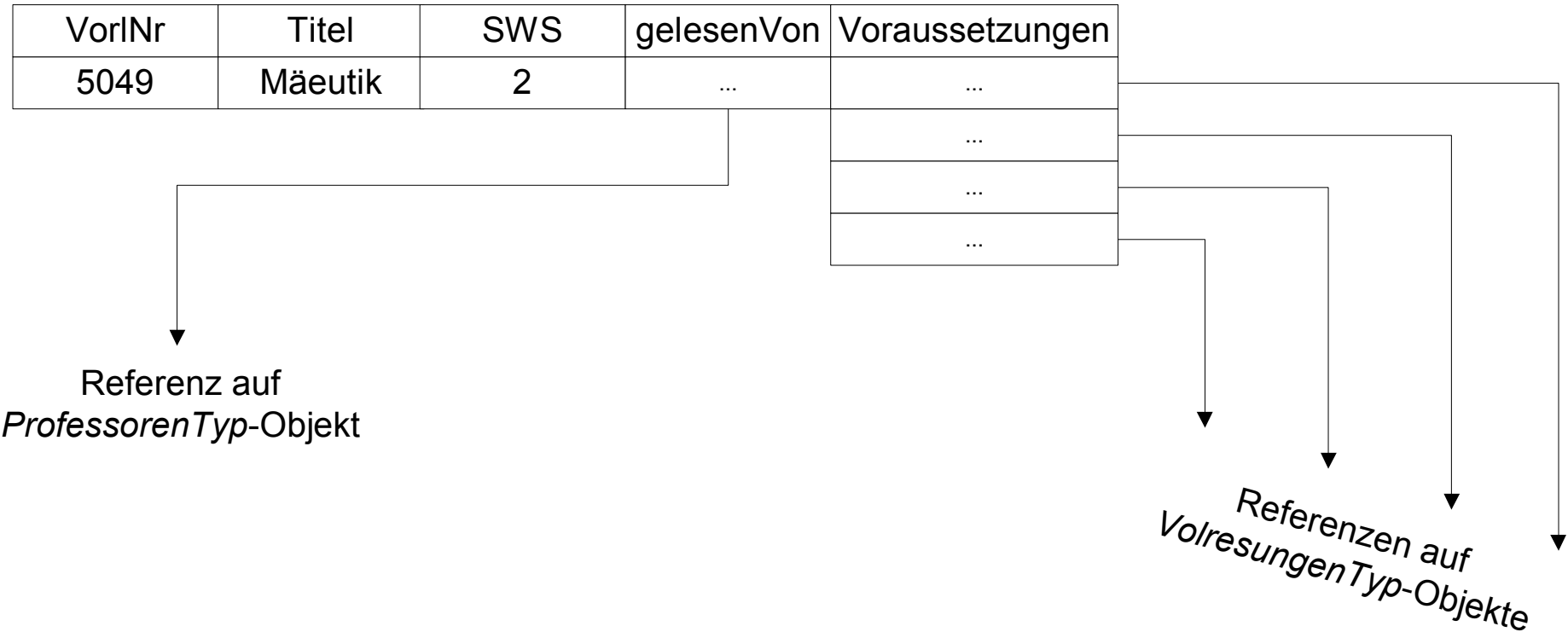
# Typ-Deklarationen in Oracle

```
CREATE OR REPLACE TYPE VorlesungenTyp /;
```

```
CREATE OR REPLACE TYPE VorlRefListenTyp AS TABLE OF REF  
VorlesungenTyp;
```

```
CREATE OR REPLACE TYPE VorlesungenTyp AS OBJECT (  
VorlNr NUMBER,  
TITEL VARCHAR(20),  
SWS NUMBER,  
gelesenVon REF ProfessorenTyp,  
Voraussetzungen VorlRefListenTyp,  
MEMBER FUNCTION DurchfallQuote RETURN NUMBER,  
MEMBER FUNCTION AnzHoerer RETURN NUMBER  
);
```

# Illustration eines VorlesungenTyp-Objekts



# Einfügen von Referenzen

```
INSERT INTO VorlesungenTab
  SELECT 5041, 'Ethik', 4, REF(p), VorlesungsListenTyp()
  FROM ProfessorenTab p
  WHERE Name = 'Sokrates';
```

```
insert into VorlesungenTab
  select 5216, 'Bioethik', 2, ref(p), VorlRefListenTyp()
  from ProfessorenTab p
  where Name = 'Russel';
```

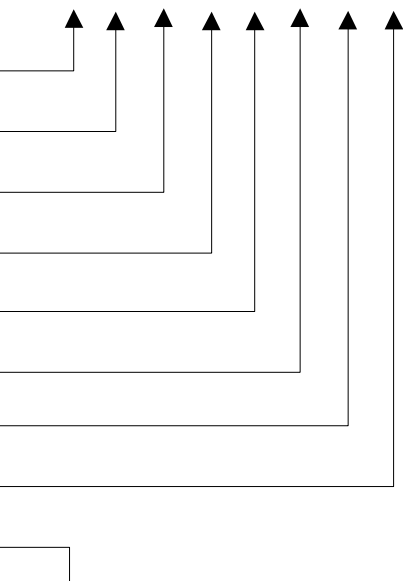
```
insert into table
  (select nachf.Voraussetzungen
   from VorlesungenTab nachf
   where nachf.Titel = 'Bioethik')
  select ref(vorg)
  from VorlesungenTab vorg
  where vorg.Titel = 'Ethik';
```

# Darstellung der VorlesungenTab

VorlesungenTab

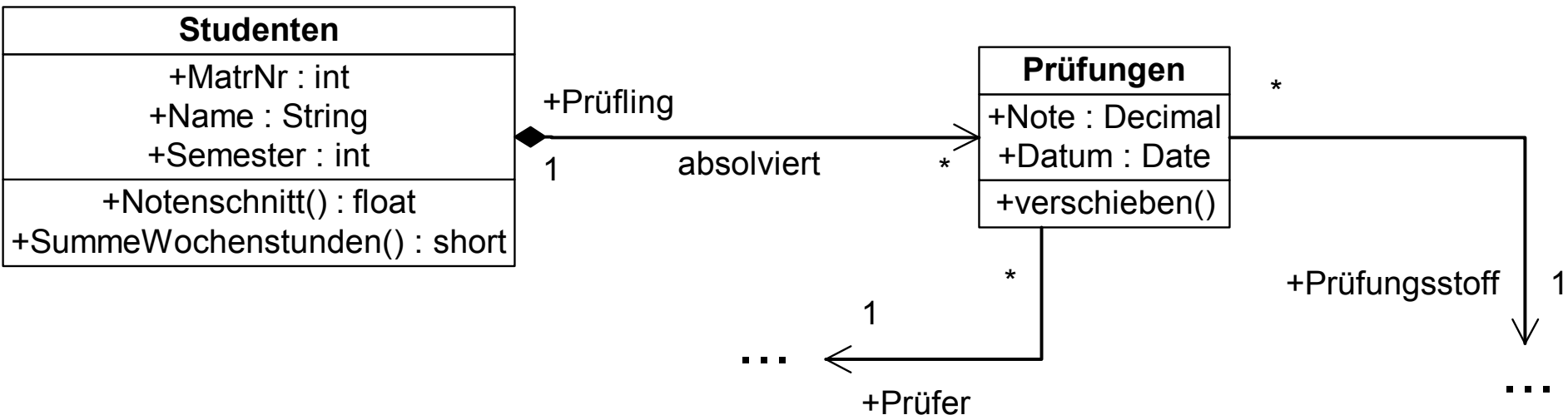
VorlNr	Titel	SWS	gelesenVon	Voraussetzungen
5049	Mäeutik	2	...	...
			Referenz auf ProfessorenTyp-Objekt	...
				...
				...
5041	Ethik	4	...	...
			Referenz auf ProfessorenTyp-Objekt	...
5216	Bioethik	2	...	...
			Referenz auf ProfessorenTyp-Objekt	...
				...

Referenzen auf VorlesungenTyp-Objekte



# „Echte“ geschachtelte Relationen

Zur Modellierung von 1:N-Aggregationen:  
Schachtelung der schwachen Entitäten im übergeordneten  
Objekt





# Echte geschachtelte Relationen

```
CREATE OR REPLACE TYPE PruefungenTyp AS OBJECT (  
  Inhalt REF VorlesungenTyp,  
  Pruefer REF ProfessorenTyp,  
  Note DECIMAL(3,2),  
  Datum Date,  
  MEMBER FUNCTION verschieben(neuerTermin Date) RETURN DATE  
)
```

```
CREATE OR REPLACE TYPE PruefungsListenTyp AS TABLE OF PruefungenTyp
```

```
CREATE OR REPLACE TYPE StudentenTyp AS OBJECT (  
  MatrNr NUMBER,  
  Name VARCHAR(20),  
  Semester NUMBER,  
  hoert VorlRefListenTyp,  
  absolviertePruefungen PruefungsListenTyp,  
  MEMBER FUNCTION Notenschnitt RETURN NUMBER,  
  MEMBER FUNCTION SummeWochenstunden RETURN NUMBER  
)
```

# Studenten-Tabelle

```
CREATE TABLE StudentenTab OF StudentenTyp
    (MatrNr PRIMARY KEY)
    NESTED TABLE hoert STORE AS BelegungsTab
    NESTED TABLE absolviertePruefungen STORE AS ExamensTab;
```

```
INSERT INTO StudentenTab VALUES(24002, 'Xenokrates', 18,
    VorlRefListenTyp(), PruefungsListenTyp());
```

```
INSERT INTO StudentenTab VALUES (29120, 'Theophrastos', 2,
    VorlRefListenTyp( ), PruefungsListenTyp());
```

```
INSERT INTO TABLE
    (SELECT s.hoert
    from StudentenTab s
    where s.Name = 'Theophrastos') /* grosser Fan von Sokrates */
select REF(v)
from VorlesungenTab v
where v.gelesenVon.Name = 'Sokrates';
```

# Darstellung der StudentenTab

StudentenTab

MatrNr	Name	Semester	hört	absolviertePrüfungen			
				Inhalt	Prüfer	Note	Datum
24002	Xenokrates	18	↓				
			↓	↓	↓	...	...
			↓	↓	↓	...	...
			↓	↓	↓	...	...
			↓				
MatrNr	Name	Semester	hört	absolviertePrüfungen			
				Inhalt	Prüfer	Note	Datum
29120	Theophrastos	2	↓				
			↓	↓	↓	1.3	May 6, 2001
			↓	↓	↓	1.7	May 2, 2001
MatrNr	Name	Semester	hört	absolviertePrüfungen			
				Inhalt	Prüfer	Note	Datum
28106	Carnap	3	↓				
			↓	↓	↓	...	...
			↓	↓	↓	...	...
			↓				
			↓				

# Einfügen von Prüfungen

```
INSERT INTO TABLE
```

```
(SELECT s.absolviertePruefungen
```

```
FROM StudentenTab s
```

```
WHERE s.Name = 'Theophrastos')
```

```
VALUES ((select REF(v) from VorlesungenTab v where v.Titel='Maeeutik'),
```

```
(select REF(p) from ProfessorenTab p where p.Name='Sokrates'),
```

```
1.3, SYSDATE);
```

```
INSERT INTO TABLE
```

```
(SELECT s.absolviertePruefungen
```

```
FROM StudentenTab s
```

```
WHERE s.Name = 'Theophrastos')
```

```
VALUES ((select REF(v) from VorlesungenTab v where v.Titel='Ethik'),
```

```
(select REF(p) from ProfessorenTab p where p.Name='Sokrates'),
```

```
1.7, SYSDATE);
```

# Anfragen auf geschachtelten Relationen

```
SELECT s.Name, p.Note  
FROM StudentenTab s, TABLE(s.absolviertePruefungen) p;
```

NAME	NOTE
-----	-----
Theophrastos	1.3
Theophrastos	1.7

```
SELECT s.Name, p.Pruefer.Name, p.Inhalt.Titel, p.Note  
FROM StudentenTab s, TABLE(s.absolviertePruefungen) p;
```

NAME	PRUEFER.NAME	INHALT.TITEL	NOTE
-----	-----	-----	-----
Theophrastos	Sokrates	Maeeutik	1.3
Theophrastos	Sokrates	Ethik	1.7

# Anfragen auf geschachtelten Relationen: **mittels Cursor**

```
SELECT s.Name, CURSOR (  
    SELECT p.Note  
    FROM TABLE (s.absolviertePruefungen) p  
)  
FROM StudentenTab s;
```

```
NAME                CURSOR(SELECTP.  
-----  
Xenokrates         CURSOR STATEMENT : 2
```

CURSOR STATEMENT : 2

no rows selected

```
NAME                CURSOR(SELECTP.  
-----  
Theophrastos       CURSOR STATEMENT : 2
```

CURSOR STATEMENT : 2

```
NOTE  
-----  
1.3  
1.7
```

# Vererbung von Objekttypen

```
CREATE TYPE Angestellte_t AS
```

```
(PersNr INT,
```

```
  Name VARCHAR(20))
```

```
INSTANTIABLE
```

```
REF USING VARCHAR(13) FOR BIT DATA
```

```
MODE DB2SQL;
```

```
CREATE TYPE Professoren_t UNDER Angestellte_t AS
```

```
(Rang CHAR(2),
```

```
  Raum INT)
```

```
MODE DB2SQL;
```

```
CREATE TYPE Assistenten_t UNDER Angestellte_t AS
```

```
(Fachgebiet VARCHAR(20),
```

```
  Boss REF(Professoren_t))
```

```
MODE DB2SQL;
```

# Vererbung von Objekttypen

```
ALTER TYPE Professoren_t  
  ADD METHOD anzMitarb()  
  RETURNS INT  
  LANGUAGE SQL  
  CONTAINS SQL  
  READS SQL DATA;
```

```
CREATE TABLE Angestellte OF Angestellte_t  
  (REF IS Oid USER GENERATED);
```

```
CREATE TABLE Professoren OF Professoren_t UNDER Angestellte  
  INHERIT SELECT PRIVILEGES;
```

```
CREATE TABLE Assistenten OF Assistenten_t UNDER Angestellte  
  INHERIT SELECT PRIVILEGES  
  (Boss WITH OPTIONS SCOPE Professoren);
```



# Generalisierung/Spezialisierung

```
CREATE METHOD anzMitarb()
```

```
  FOR Professoren_t
```

```
  RETURN (SELECT COUNT (*)
```

```
    From Assistenten
```

```
    WHERE Boss->PersNr = SELF..PersNr);
```

```
INSERT INTO Professoren (Oid, PersNr, Name, Rang, Raum)
```

```
  VALUES(Professoren_t('s'), 2125, 'Sokrates', 'C4', 226);
```

```
INSERT INTO Professoren (Oid, PersNr, Name, Rang, Raum)
```

```
  VALUES(Professoren_t('r'), 2126, 'Russel', 'C4', 232);
```

```
INSERT INTO Professoren (Oid, PersNr, Name, Rang, Raum)
```

```
  VALUES(Professoren_t('c'), 2137, 'Curie', 'C4', 7);
```

```
INSERT INTO Assistenten (Oid, PersNr, Name, Fachgebiet, Boss)
```

```
  VALUES(Assistenten_t('p'), 3002, 'Platon', 'Ideenlehre', Professoren_t('s'));
```

# Generalisierung/Spezialisierung

```
INSERT INTO Assistenten (Oid, PersNr, Name, Fachgebiet, Boss)
VALUES(Assistenten_t('a'), 3003, 'Aristoteles', 'Syllogistik',
Professoren_t('s'));
```

```
INSERT INTO Assistenten (Oid, PersNr, Name, Fachgebiet, Boss)
VALUES(Assistenten_t('w'), 3004, 'Wittgenstein',
'Sprachtheorie', Professoren_t('r'));
```

```
select a.name, a.PersNr
from Angestellte a;
```

```
select * from Assistenten;
```

```
select a.Name, a.Boss->Name, a.Boss->wieHart() as Güte
from Assistenten a;
```

# Komplexe Attribut/Column Types

```
CREATE TYPE NotenObjTyp AS  
  (Land VARCHAR(20),  
   NumWert Decimal(3,2),  
   StringWert CHAR(10))  
MODE DB2SQL;
```

```
CREATE TYPE US_NotenObjTyp UNDER NotenObjTyp AS  
  (WithHonors CHAR(1))  
MODE DB2SQL;
```

```
CREATE TYPE D_NotenObjTyp UNDER NotenObjTyp AS  
  (Lateinisch VARCHAR(20))  
MODE DB2SQL;
```

```
CREATE TYPE CPTS_NotenObjTyp UNDER NotenObjTyp AS  
  (CreditPoints INT)  
MODE DB2SQL;
```

# Komplexe Attribut/Column Types

```
CREATE TABLE Leistungen (  
    Student VARCHAR(20),  
    Vorlesung VARCHAR(20),  
    Note NotenObjTyp );
```

```
INSERT INTO Leistungen VALUES ('Feuerbach', 'Java', US_NotenObjTyp()  
    ..Land('USA')  
    ..NumWert(4.0)  
    ..StringWert('excellent')  
    ..withHonors('y'));
```

```
INSERT INTO Leistungen VALUES ('Feuerbach', 'C++', D_NotenObjTyp()  
    ..Land('D')  
    ..NumWert(1.0)  
    ..StringWert('sehr gut')  
    ..Lateinisch('summa cum laude'));
```

# Komplexe Attribut/Column Types

```
CREATE FUNCTION D_NotenObjTyp(l VARCHAR(20), n DECIMAL(3,2),  
                             s Char(10), lt VARCHAR(20))
```

```
  RETURNS D_NotenObjTyp
```

```
  LANGUAGE SQL
```

```
  RETURN D_NotenObjTyp()..Land(l)
```

```
    ..NumWert(n)
```

```
    ..StringWert(s)
```

```
    ..Lateinisch(l);
```

```
INSERT INTO Leistungen VALUES ('Carnap', 'C++',  
                                D_NotenObjTyp('D',3.0,'befriedigend','rite'));
```

```
select Student, Vorlesung, Note..Land, Note..NumWert from Leistungen;
```