

## 3. Grundlagen des Relationalen Datenmodells

- Grundkonzepte
- Relationale Invarianten
  - Primärschlüsselbedingung, Fremdschlüsselbedingung (referentielle Integrität)
  - Wartung der referentiellen Integrität
- Abbildung ERM / UML → RM
- Nachbildung von Generalisierung und Aggregation im RM

**Kapitel 4: Relationenalgebra**

**Kapitel 5: Standard-Anfragesprache SQL**

**Kapitel 6: Logischer DB-Entwurf (Normalformenlehre)**

**Kapitel 7/8: Datendefinition und -kontrolle**

*DB-Anwendungsprogrammierung: ->DBS2*

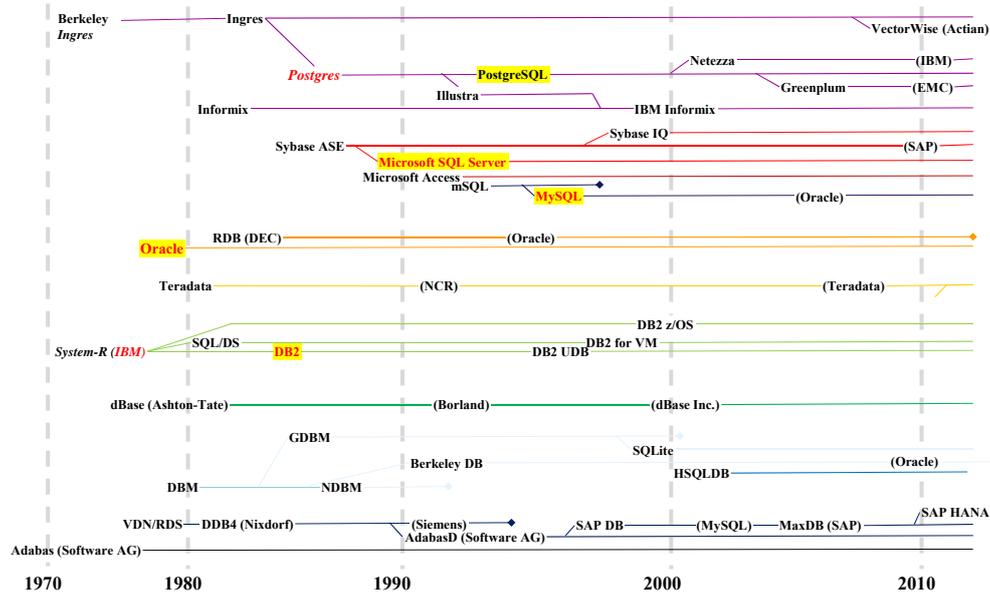


## Relationenmodell - Entwicklung

- 1969/1970: Vorschlag von Edgar F. Codd (IBM)
  - *A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks.*  
Commun. ACM 13(6): 377-387 (1970)
  - Konzept, Relationenalgebra
- ab ca.1975: erste Prototypen relationaler DBS
  - System R (IBM Research, San Jose),  
u.a. Query-Sprache SEQUEL / SQL (D. Chamberlin),  
ACID-Techniken (Jim Gray et al.), Query-Optimierung etc.
  - Ingres (Berkeley Univ.) unter Leitung von Mike Stonebraker,  
Query-Sprache QUEL
- seit ca. 1980: kommerzielle relationale DBS
  - zunächst Oracle (Larry Ellison): 1979 „Version 2“
  - IBM DB2 ...



## Genealogie ausgewählter relationaler DBS



Quelle: Hasso Plattner Institut, Potsdam.



## Relationenmodell - Übersicht

### ■ Datenstruktur: Relation (Tabelle)

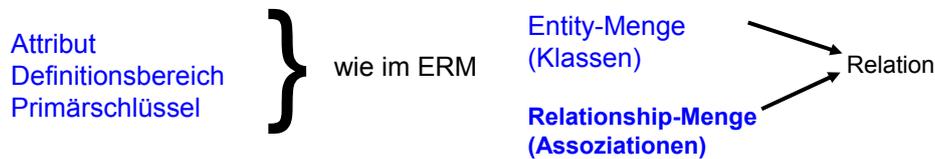
- einzige Datenstruktur (neben atomaren Werten)
- alle Informationen ausschließlich durch Werte dargestellt
- Integritätsbedingungen auf/zwischen Relationen: *relationale Invarianten*


### ■ Operatoren auf (mehreren) Relationen

- Vereinigung, Differenz
- Kartesisches Produkt
- Projektion
- Selektion
- zusätzlich: Änderungsoperationen (Einfügen, Löschen, Ändern)



## Relationenmodell - Grundkonzepte



### ■ normalisierte Relation

$$R(A_1, A_2, \dots, A_n) \subseteq W(A_1) \times W(A_2) \times \dots \times W(A_n)$$

$\downarrow$                        $\downarrow$                        $\downarrow$   
 $D_i$                        $D_j$                        $D_k$

- Relation = Untermenge des kartesischen Produktes der Attributwertebereiche
- nur einfache Attribute (atomare Werte) !
- Darstellungsmöglichkeit für R:  
n-spaltige Tabelle (*Grad* der Relation: n)  
- *Kardinalität*: Anzahl der Sätze (Tupel)
- Relation ist eine Menge: Garantie der Eindeutigkeit der Zeilen/Tupel über Primärschlüssel (ggf. mehrere Schlüsselkandidaten)



## Normalisierte Relationen in Tabellendarstellung

FAK

<u>FNR</u>	FNAME	...
WI	Wirtschaftswiss.	...
MI	Math./Informatik	...

STUDENT

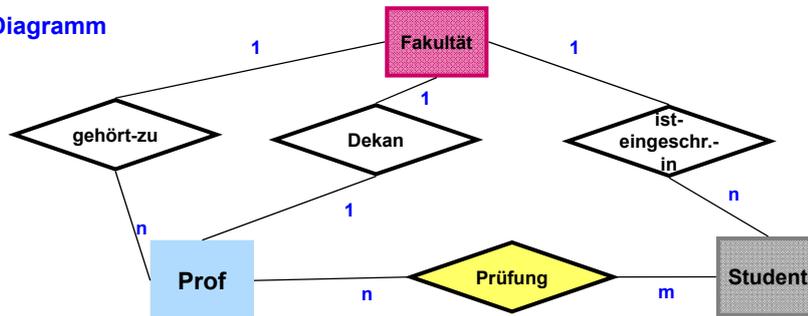
<u>MATNR</u>	SNAME	FNR	W-ORT
123 766	Coy	MI	Halle
654 711	Abel	WI	Leipzig
196 481	Maier	MI	Delitzsch
226 302	Schulz	MI	Leipzig

- Grundregeln:
  - jede Zeile (Tupel) ist eindeutig und beschreibt ein Objekt (Entity) der Miniwelt
  - Reihenfolge der Zeilen ist ohne Bedeutung
  - Reihenfolge der Spalten ist ohne Bedeutung, da sie eindeutigen (Attribut-) Namen tragen
  - jeder Datenwert innerhalb einer Relation ist ein atomares Datenelement
  - alle für Benutzer relevanten Informationen sind ausschließlich durch Datenwerte ausgedrückt
- Darstellung von Beziehungen durch Fremdschlüssel (foreign key)
  - Attribut, das in Bezug auf den Primärschlüssel einer anderen (oder derselben) Relation definiert ist (gleicher Definitionsbereich)

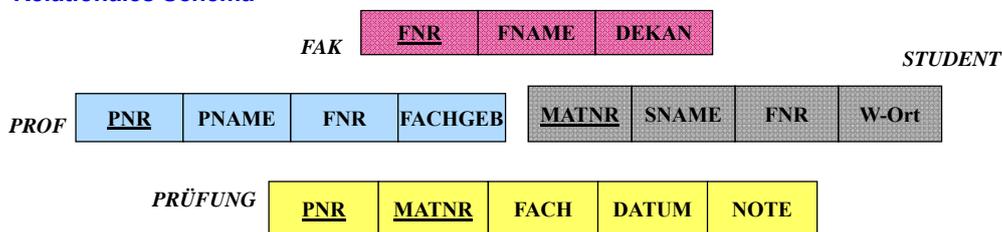


## Anwendungsbeispiel

### ER-Diagramm



### Relationales Schema



WS16/17, © Prof. Dr. E. Rahm

3 - 7



## Relationale Invarianten

- inhärente Integritätsbedingungen des Relationenmodells (Modellbedingungen)

### 1. Primärschlüsselbedingung (Entity-Integrität)

- Eindeutigkeit des Primärschlüssels / Minimalität
- keine Nullwerte!

### 2. Fremdschlüsselbedingung (referentielle Integrität):

- zugehöriger Primärschlüssel muss existieren
- d.h. zu jedem Wert (ungleich Null) eines Fremdschlüsselattributs einer Relation R2 muss ein gleicher Wert des Primärschlüssels in irgendeinem Tupel von Relation R1 vorhanden sein

- graphische Notation:



WS16/17, © Prof. Dr. E. Rahm

3 - 8



## Relationale Invarianten (2)

- Fremdschlüssel und zugehöriger Primärschlüssel tragen wichtige interrelationale (bzw. intrarelationale) Informationen
  - gleicher Wertebereich
  - gestatten Verknüpfung von Relationen
- Fremdschlüssel
  - können Nullwerte aufweisen, wenn sie nicht Teil eines Primärschlüssels sind.
  - Fremdschlüssel ist „zusammengesetzt“, wenn zugehöriger Primärschlüssel „zusammengesetzt“ ist
- eine Relation kann mehrere Fremdschlüssel besitzen, die die gleiche oder verschiedene Relationen referenzieren
- Zyklen sind möglich (*geschlossener referentieller Pfad*)
- eine Relation kann zugleich referenzierende und referenzierte Relation sein (selbstreferenzierende Tabelle)



## Relationale Invarianten (3)

- DDL-Spezifikation in SQL bei CREATE TABLE
  - Primary KEY- und FOREIGN KEY-Klauseln
  - Angaben für Attributdefinition :
    - Attributname sowie Datentyp
    - Default-Werte
    - Eindeutigkeit (UNIQUE bzw. PRIMARY KEY)
    - FOREIGN-KEY-Klausel
    - Verbot von Nullwerten (NOT NULL)

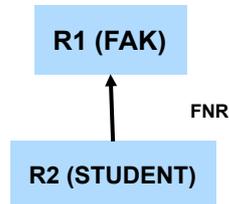
```
CREATE TABLE STUDENT
(MATNR      INT,
 SNAME      VARCHAR (50)  NOT NULL,
 FNR        INT,
 PRIMARY KEY (MATNR),
 FOREIGN KEY (FNR) REFERENCES FAK )

CREATE TABLE FAK
(FNR        INT          PRIMARY KEY,
 FNAME      VARCHAR(50) NOT NULL,
 DEKAN      INT          REFERENCES PROF ... )
```



## Wartung der referentiellen Integrität

- Gefährdung bei INSERT, UPDATE, DELETE



- **Fall 0:** INSERT auf R1, DELETE auf R2
  - keine Auswirkungen für referentielle Integrität
- **Fall 1:** INSERT in der referenzierenden (abhängigen) Relation R2 bzw. UPDATE auf Fremdschlüssel in R2
  - Ablehnung falls kein zugehöriger Primärschlüssel-Wert in referenzierter Relation R1 besteht
- **Fall 2:** DELETE auf referenzierter Relation R1 bzw. UPDATE von Primärschlüssel von R1
  - unterschiedliche Folgeaktionen auf referenzierender Relation R2 möglich, um referentielle Integrität zu wahren



## Wartung der referentiellen Integrität (2)

- SQL-Standard erlaubt Spezifikation der referentiellen Aktionen für jeden Fremdschlüssel
- sind Nullwerte verboten?
  - NOT NULL
- Löschregel für Zielrelation (referenzierte Relation R1):  
`ON DELETE {NO ACTION | CASCADE | SET NULL | SET DEFAULT }`
- Änderungsregel für Ziel-Primärschlüssel (Primärschlüssel oder Schlüsselkandidat):  
`ON UPDATE {NO ACTION | CASCADE | SET NULL | SET DEFAULT }`
- dabei bedeuten:
  - **NO ACTION** (Voreinstellung): Operation wird nur zugelassen, wenn keine zugehörigen Sätze (Fremdschlüsselwerte) vorhanden sind. Es sind folglich keine referentiellen Aktionen auszuführen
  - **CASCADE**: Operation „kaskadiert“ zu allen zugehörigen Sätzen
  - **SET NULL**: Fremdschlüssel wird in zugehörigen Sätzen zu „Null“ gesetzt
  - **SET DEFAULT**: Fremdschlüssel wird auf einen benutzerdefinierten Default-Wert gesetzt



## Anwendungsbeispiel

```
CREATE TABLE TEIL ( TNR INT PRIMARY KEY,  
                    BEZEICHNUNG ... )  
  
CREATE TABLE LIEFERANT (LNR INT PRIMARY KEY,  
                        LNAME ... )  
  
CREATE TABLE LIEFERUNG (TNR INT, LNR INT, DATUM ...  
                        PRIMARY KEY (TNR, LNR, DATUM),  
                        FOREIGN KEY (TNR) REFERENCES TEIL, NOT NULL,  
                        ON DELETE OF TEIL NO ACTION  
                        ON UPDATE OF TEIL.TNR CASCADE,  
                        FOREIGN KEY (LNR) REFERENCES LIEFERANT, NOT NULL,  
                        ON DELETE OF LIEFERANT NO ACTION,  
                        ON UPDATE OF LIEFERANT.LNR CASCADE )
```

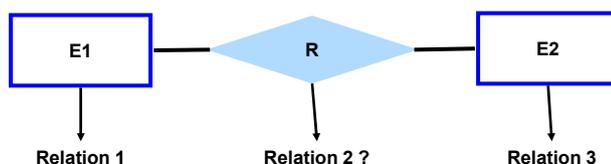
TEIL

LIEFERANT

LIEFERUNG



## Abbildung ERM / UML -> RM



### ■ Kriterien

- Informationserhaltung
- Minimierung der Redundanz
- Minimierung des Verknüpfungsaufwandes
- Natürlichkeit der Abbildung
- keine Vermischung von Objekten
- Verständlichkeit

### ■ Regeln:

- jeder Entity-Typ *muss* als eigenständige Relation (Tabelle) mit einem eindeutigen Primärschlüssel definiert werden.
- Relationship-Typen *können* als eigene Relationen definiert werden, wobei die Primärschlüssel der zugehörigen Entity-Typen als Fremdschlüssel zu verwenden sind.



## 2 Entitymengen mit n:1 - Verknüpfung



### 1.) Verwendung von drei Relationen

ABT ( ANR, ANAME, ... )  
 PERS ( PNR, PNAME, ... )  
 ABT-ZUGEH ( PNR, ANR, )

### 2.) Besser: Verwendung von zwei Relationen

ABT ( ANR, ANAME, ... )  
 PERS ( PNR, PNAME, ..., ANR )

#### ■ Regel: n:1-Beziehungen lassen sich ohne eigene Relation darstellen.

- dazu wird in der Relation, der pro Tupel maximal 1 Tupel der anderen Relation zugeordnet ist, der Primärschlüssel der referenzierten Relation als Fremdschlüssel verwendet



## 1 Entitymenge mit 1:1 Verknüpfung



### 1.) Verwendung von zwei Relationen

PERS ( PNR, PNAME, ... )  
 EHE ( PNR, GATTE, ... )

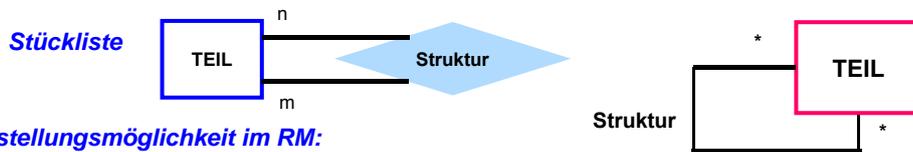
### 2.) Verwendung von einer Relation

PERS ( PNR, PNAME, ..., GATTE )

#### ■ Unterscheidung zu n:1 ?

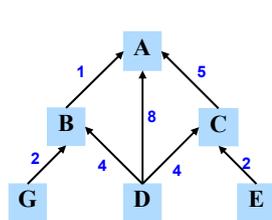


# 1 Entitätsmenge mit m:n-Verknüpfung



Darstellungsmöglichkeit im RM:

**TEIL** (TNR, BEZ, MAT, BESTAND)  
**STRUKTUR** (OTNR, UTNR, ANZAHL)



Teil			
TNR	BEZ	MAT	BESTAND
A	Getriebe	-	10
B	Gehäuse	Alu	0
C	Welle	Stahl	100
D	Schraube	Stahl	200
E	Kugellager	Stahl	50
F	Scheibe	Blei	0
G	Schraube	Chrom	100

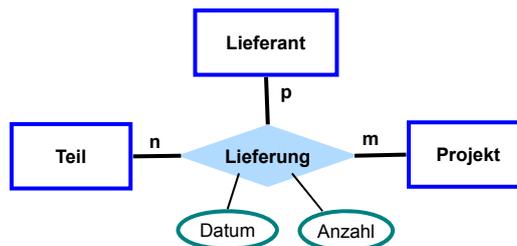
Struktur		
OTNR	UTNR	Anzahl
A	B	1
A	C	5
A	D	8
B	D	4
B	G	2
C	D	4
C	E	2

## Regel

- n:m-Beziehungen müssen durch eigene Relation dargestellt werden.
- die Primärschlüssel der zugehörigen Entitätsmengen treten als Fremdschlüssel auf.



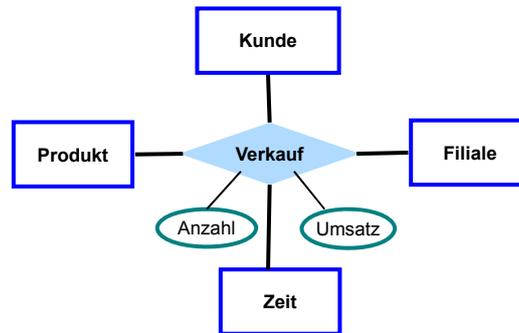
# 3 Entitätsmengen mit m:n-Verknüpfung



**LIEFERANT** (LNR, LNAME, LORT, ...)  
**PROJEKT** (PRONR, PRONAME, PORT, ...)  
**TEIL** (TNR, TBEZ, GEWICHT, ...)  
**LIEFERUNG** (

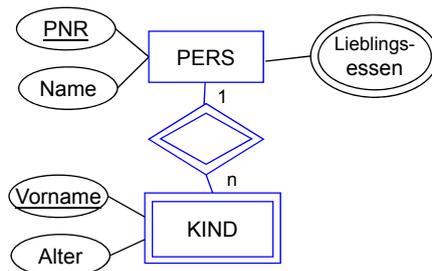


## M Entity-Mengen (Stern-Schema)



KUNDE (KNR, KNAME, Geschlecht, ...)  
 PRODUKT (PNR, PNAME, PTyp, ...)  
 FILIALE (FNR, Ort, Land, ...)  
 ZEIT (ZNR, Tag, Monat, Jahr, Quartal ...)

## Abbildung mehrwertiger Attribute bzw. schwacher Entitätsmengen

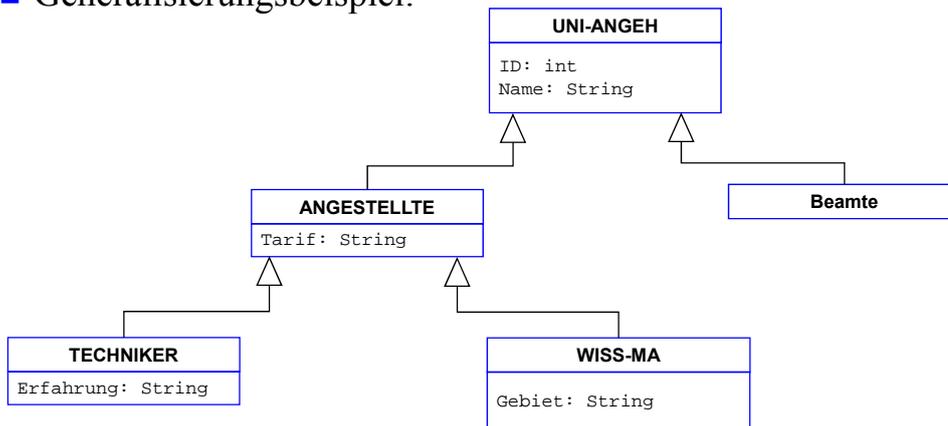


### Darstellungsmöglichkeit im RM

PERS (PNR, NAME ...)

## Abbildungen von Generalisierung und Aggregation im RM

- RM sieht keine Unterstützung der Abstraktionskonzepte vor
  - keine Maßnahmen zur Vererbung (von Struktur, Integritätsbedingungen, Operationen)
  - „Simulation“ der Generalisierung und Aggregation eingeschränkt möglich
- Generalisierungsbeispiel:



## Generalisierung – relationale Sicht

- pro Klasse 1 Tabelle (3 Varianten) oder insgesamt nur 1 Tabelle
- Lösungsmöglichkeit 1: vertikale Partitionierung
  - jede Instanz wird entsprechend der Klassenattribute in der IS-A-Hierarchie zerlegt und in Teilen in den zugehörigen Klassen (Relationen) gespeichert.
  - nur das ID-Attribut wird dupliziert

UNI-ANGEH		ANGESTELLTE		WISS-MA		TECHNIKER	
ID	Name	ID	Tarif	ID	Gebiet	ID	Erfahrung
007	Garfield	007	E14	007	XML	123	Linux
123	Donald	123	E11	765	Cloud		
333	Daisy	333	E9				
765	Grouch	765	E13				
111	Ernie						

### Eigenschaften

- geringfügig erhöhte Speicherkosten, aber hohe Such- und Aktualisierungskosten
- Integritätsbedingungen:  $TECHNIKER.ID \subseteq ANGESTELLTE.ID$ , usw.
- Instanzzugriff erfordert implizite oder explizite Verbundoperationen
- Beispiel: Finde alle TECHNIKER-Daten

## Generalisierung – relationale Sicht (2)

### ■ Lösungsmöglichkeit 2: horizontale Partitionierung

- jede Instanz ist genau einmal und vollständig in ihrer „Hausklasse“ gespeichert.
- keinerlei Redundanz

UNI-ANGEH

ID	Name
111	Ernie

WISS-MA

ID	Gebiet	Name	Tarif
007	XML	Garfield	E14
765	Cloud	Grouch	E13

ANGESTELLTE

ID	Name	Tarif
333	Daisy	E9

TECHNIKER

ID	Erfahrung	Name	Tarif
123	Linux	Donald	E11

### ■ Eigenschaften

- niedrige Speicherkosten und keine Änderungsanomalien
- Eindeutigkeit von ID zwischen Relationen aufwändiger zu überwachen
- Retrieval kann rekursives Suchen in Unterklassen erfordern.
- explizite Rekonstruktion durch Relationenoperationen ( $\pi$ ,  $\cup$  in Relationenalgebra)

=> Beispiel: Finde alle ANGESTELLTE

## Generalisierung – relationale Sicht (3)

### ■ Lösungsmöglichkeit 3: volle Redundanz

- eine Instanz wird wiederholt in jeder Klasse, zu der sie gehört, gespeichert.
- sie besitzt dabei die Werte der Attribute, die sie geerbt hat, zusammen mit den Werten der Attribute der Klasse

UNI-ANGEH

ID	Name
007	Garfield
123	Donald
333	Daisy
765	Grouch
111	Ernie

ANGESTELLTE

ID	Name	Tarif
007	Garfield	E14
123	Donald	E11
333	Daisy	E9
765	Grouch	E13

WISS-MA

ID	Name	Tarif	Gebiet
007	Garfield	E14	XML
765	Grouch	E13	Cloud

TECHNIKER

ID	Name	Tarif	Erfahrung
123	Donald	E11	Linux

### ■ Eigenschaften

- hoher Speicherplatzbedarf und Auftreten von Änderungsanomalien.
- einfaches Retrieval, da nur Zielklasse (z. B. ANGESTELLTE) aufzusuchen

## Generalisierung: Verfahrensvergleich

	Vertikale Partitionierung	Horizontale Partitionierung	Volle Redundanz
Änderungen			
Lesen			



## „Wide Table“-Realisierung

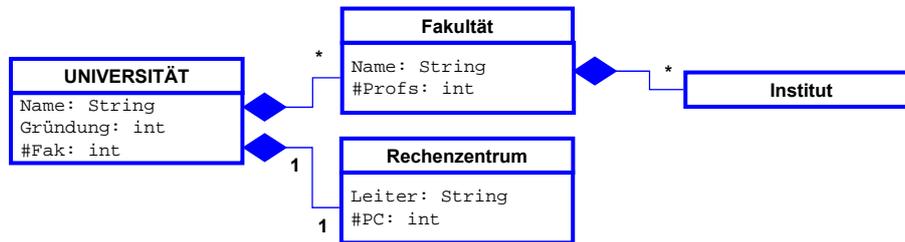
- Verwendung einer gemeinsamen Tabelle pro Klassenhierarchie
  - Verwendung eines Diskriminatorattributs zur Angabe der Klasse
- minimale Redundanz ermöglicht effiziente Verwaltung
- keine explizite Modellierung der Klassenhierarchie und Is-A-Semantik
  - Nutzer müssen Abhängigkeiten bei Lese- und Änderungsoperationen selbst beachten

### UNI-ANGEH

ID	Name	Typ	Tarif	Gebiet	Erfahrung	...
007	Garfield	WISS-MA	E14	XML	NULL	
123	Donald	TECHNIKER	E11	NULL	Linux	
333	Daisy	ANGESTELLTE	E9	NULL	NULL	
765	Grouch	WISS-MA	E13	Cloud	NULL	
111	Ernie	UNI-ANGEH	NULL	NULL	NULL	



## Aggregation – relationale Sicht



Universität

ID	Name	Gründung	#Fak
UL	Univ. Leipzig	1409	14
TUD	TU Dresden	1828	14

Institut

ID	FID	Name
1234	123	Neutestamentliche Wissenschaft
1235	123	Alttestamentliche Wissenschaft
1236	123	Praktische Theologie
1322	132	Informatik

Fakultät

FID	Uni	Name	#Profs
123	UL	Theologie	14
132	UL	Mathe/Informatik	28

- *komplexe Objekte* erfordern Zerlegung über mehrere Tabellen

## Zusammenfassung

- RM: einheitliche Datenrepräsentation durch normalisierte Relationen (Tabellen)
  - nur einfache (atomare) Attributwerte
  - eindeutiger Primärschlüssel pro Relation
  - Realisierung von Beziehungen über Fremdschlüssel
- Wartung der referentiellen Integrität
  - automatisch durch DBMS auf Basis von Nutzerspezifikation für Löschungen / PK-Updates referenzierter Sätze
- Abbildung ERM ins Relationenmodell
  - eigene Tabellen für n:m-Beziehungen sowie mehrwertige Attribute
- Nachbildung von Is-A-Beziehungen und Aggregation
  - nur teilweise mit Fremdschlüsseln realisierbar (keine Vererbungssemantik)
  - mehrere Varianten für Generalisierung mit eigener Relation pro (Sub-)Klasse sowie Partitionierung bzw. Replikation von Attributen
  - Wide Table: implementierungsnahe Verwendung einer Tabelle pro Hierarchie