

3. Grundlagen des Relationalen Datenmodells

- Grundkonzepte
- Relationale Invarianten
 - Primärschlüsselbedingung
 - Fremdschlüsselbedingung (referentielle Integrität)
 - Wartung der referentiellen Integrität
- Abbildung ERM → RM
- Nachbildung der Generalisierung und Aggregation im RM
- Relationenalgebra
 - Mengenoperationen
 - relationale Operatoren: Selektion, Projektion, Join

Kapitel 4: Die Standard-Anfragesprache SQL

Kapitel 5: Logischer DB-Entwurf (Normalformenlehre)

Kapitel 6: Datendefinition und -kontrolle

DB-Anwendungsprogrammierung: in DBS2

© Prof. E. Rahm

3 - 1



Lernziele

- Grundbegriffe des Relationenmodells
- Relationale Invarianten, insbesondere Vorkehrungen zur Wahrung der referentiellen Integrität
- Abbildung von ER-Diagrammen in Relationenschema (und umgekehrt)
- Operationen der Relationenalgebra: Definition und praktische Anwendung



Relationenmodell - Übersicht

■ Entwicklungsetappen

- Vorschlag von E.F. Codd (Communications of the ACM 1970)
- 1975: Prototypen: System R (IBM Research), Ingres (Berkeley Univ.)
- seit 1980: kommerzielle relationale DBS

■ Datenstruktur: Relation (Tabelle)

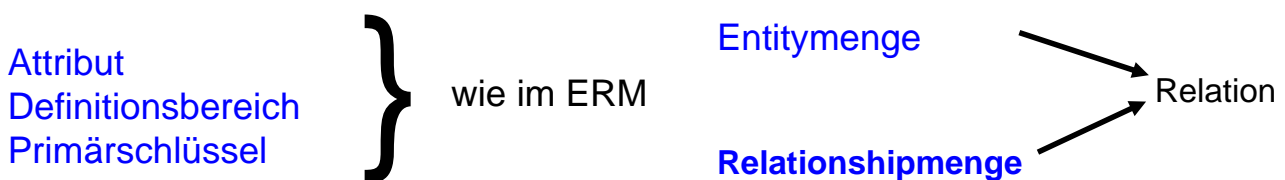
- einzige Datenstruktur (neben atomaren Werten)
- alle Informationen ausschließlich durch Werte dargestellt
- Integritätsbedingungen auf/zwischen Relationen: *relationale Invarianten*

■ 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)

■ 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
- Die Ordnung der Zeilen ist ohne Bedeutung
- Die Ordnung der Spalten ist ohne Bedeutung, da sie eindeutigen Namen (Attributnamen) tragen
- Jeder Datenwert innerhalb einer Relation ist ein atomares Datenelement
- Alle für Benutzer relevanten Informationen sind ausschließlich durch Datenwerte ausgedrückt

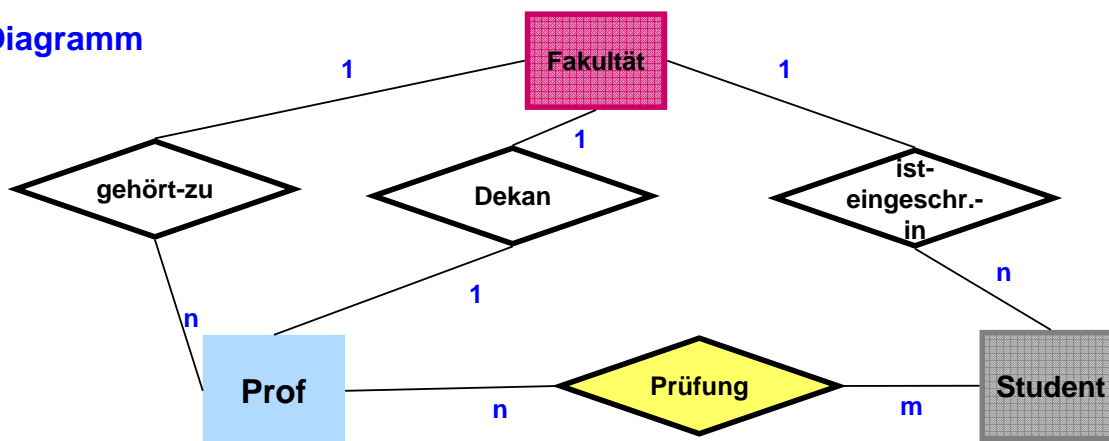
■ Darstellung von Beziehungen durch Fremdschlüssel (foreign key)

- Attribut, das in Bezug auf den Primärschlüssel einer anderen (oder derselben) Relation definiert ist (gleicher Definitionsbereich)



Anwendungsbeispiel

ER-Diagramm



Relationales Schema

FAK	<u>FNR</u>	FNAME	DEKAN		
PROF	<u>PNR</u>	PNAME	FNR	FACHGEB	
STUDENT	<u>MATNR</u>	SNAME	FNR	W-Ort	
PRÜFUNG	<u>PNR</u>	<u>MATNR</u>	FACH	DATUM	NOTE



Relationale Invarianten

■ inhärente Integritätsbedingungen des Relationenmodells (Modellbedingungen)

1. Primärschlüsselbedingung (Entity-Integrität)

- Eindeutigkeit des Primärschlüssels
- 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:



Relationale Invarianten (2)

■ Fremdschlüssel und zugehöriger Primärschlüssel tragen wichtige interrelationale (manchmal auch intrarelationale) Informationen

- sie sind auf dem gleichen Wertebereich definiert
- sie gestatten die Verknüpfung von Relationen mit Hilfe von Relationenoperationen

■ Fremdschlüssel

- können Nullwerte aufweisen, wenn sie nicht Teil eines Primärschlüssels sind.
- ein Fremdschlüssel ist zusammengesetzt, wenn der zugehörige Primärschlüssel zusammengesetzt ist. (*FS-Wert = „Null“ bedeutet dann, dass alle Komponenten auf „Null“ gesetzt sind*)

■ 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 (*„self-referencing table“*).



Relationale Invarianten (3)

- DDL-Spezifikation in SQL bei CREATE TABLE:

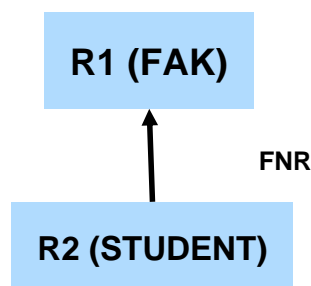
```
CREATE TABLE STUDENT
(MATNR INT,
 SNAME VARCHAR (50) NOT NULL,
 FNR INT,
 PRIMARY KEY (MATNR),
 FOREIGN KEY (FNR) REFERENCES FAK )
```

```
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
- Fall 1: INSERT bzw. UPDATE auf FS der referenzierenden (abhängigen) Relation R2: Ablehnung falls kein zugehöriger PS-Wert in referenzierter Relation R1 besteht
- Fall 2: DELETE auf referenzierter Relation R1 bzw. UPDATE auf PS 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**: 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),
                              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 )
```

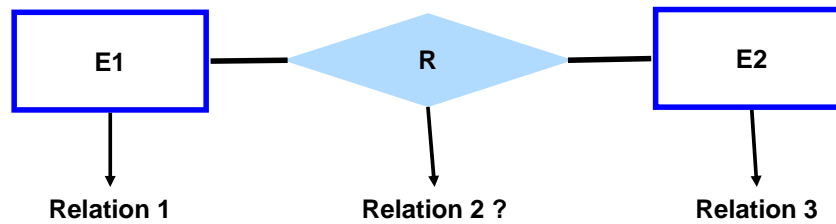
TEIL

LIEFERANT

LIEFERUNG



Abbildung ERM -> RM



■ Kriterien

- Informationserhaltung
- Minimierung der Redundanz
- Minimierung des Verknüpfungsaufwandes

aber auch:

- 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

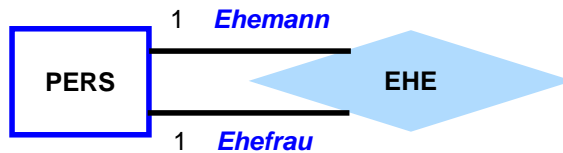
ABT (ANR, ANAME, ...)
PERS (PNR, PNAME, ..., ANR)

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

- Hierzu 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 , ...)

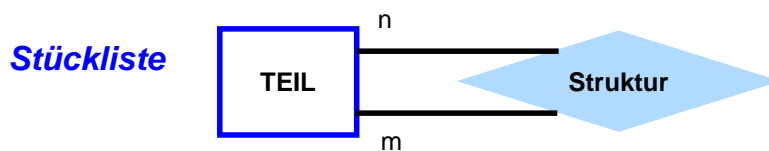
2.) Verwendung von einer Relation

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

■ Unterscheidung zu n:1 ?



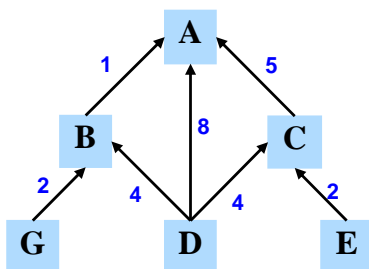
1 Entitymenge mit m:n-Verknüpfung



Darstellungsmöglichkeit im RM:

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

Gozinto-Graph



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

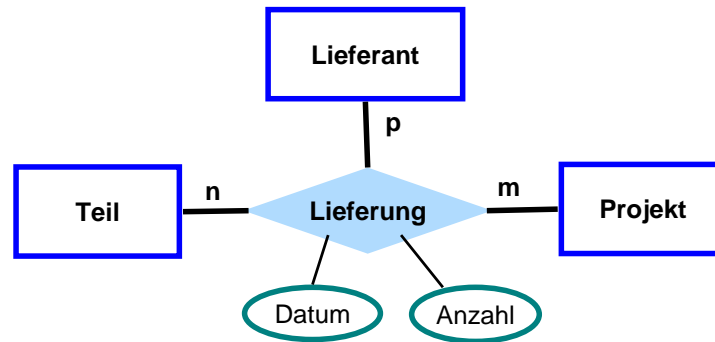
Struktur

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: Ein n:m-Relationship-Typ muss durch eine eigene Relation dargestellt werden. Die Primärschlüssel der zugehörigen Entitymengen treten als Fremdschlüssel auf.



3 Entitätsmengen mit m:n-Verknüpfung



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

LIEFERUNG (



Abbildung mehrwertiger Attribute bzw. schwacher Entitätsmengen

Entitätsmenge

PERS (PNR, NAME, {Lieblingsessen}, {Kinder (Vorname, Alter)})
P1, Müller, {Schnitzel, Rollmops}, -
P2, Schulz, {Pizza}, {(Nadine, 5), (Philip, 2)}

Darstellungsmöglichkeit im RM

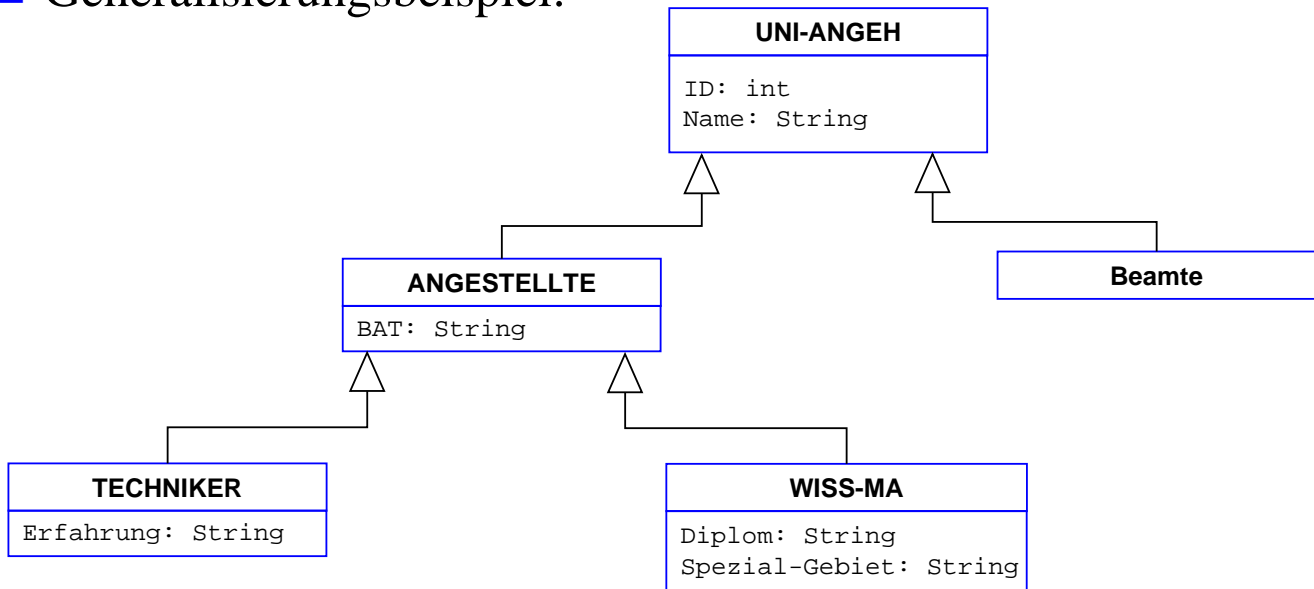
PERS (PNR, NAME ...)



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

ANGESTELLTE	
ID	BAT
007	Ib
123	IVa
333	VII
765	Ila

WISS-MA		
ID	Diplom	SPEZ-GEB
007	Informatik	ERM
765	Mathe	OO

TECHNIKER	
ID	Erfahrung
123	Sun

■ Eigenschaften

- geringfügig erhöhte Speicherkosten, aber hohe Aufsuch- und Aktualisierungskosten
- Integritätsbedingungen: $TECHNIKER.ID \subseteq ANGESTELLTE.ID$, usw.
- Instanzenzugriff 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	Diplom	SPEZ-GEB	Name	BAT
007	Informatik	ERM	Garfield	Ib
765	Mathe	OO	Grouch	Ila

ANGESTELLTE

ID	Name	BAT
333	Daisy	VII

TECHNIKER

ID	Erfahrung	Name	BAT
123	SUN	Donald	IVa

■ Eigenschaften

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

=> 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	BAT
007	Garfield	Ib
123	Donald	IVa
333	Daisy	VII
765	Grouch	Ila

WISS-MA

ID	Name	BAT	Diplom	SPEZ-GEB
007	Garfield	Ib	Informatik	ERM
765	Grouch	Ila	Mathe	OO

TECHNIKER

ID	Name	BAT	Erfahrung
123	Donald	IVa	Sun

■ Eigenschaften

- hoher Speicherplatzbedarf und Auftreten von Änderungsanomalien.
- einfaches Retrieval, da nur die Zielklasse (z. B. ANGESTELLTE) aufgesucht werden muss

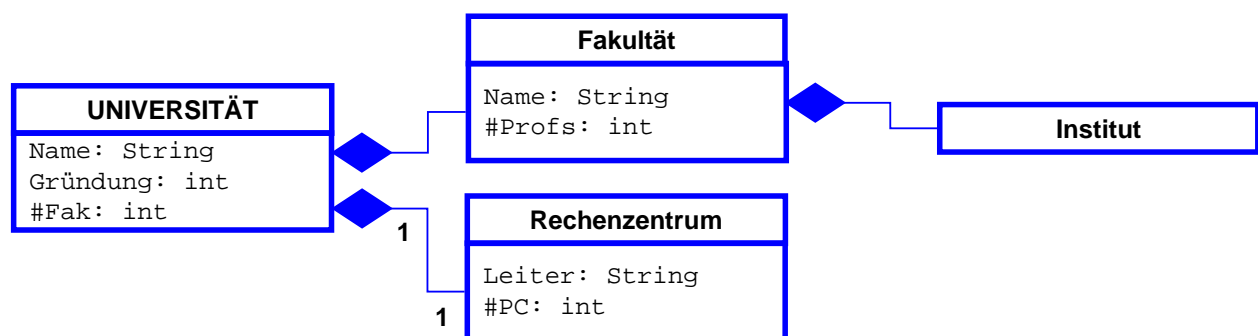


Generalisierung: Verfahrensvergleich

	Vertikale Partitionierung	Horizontale Partitionierung	Volle Redundanz
Änderungen			
Lesen			



Aggregation – relationale Sicht



Universität

<u>ID</u>	Name	Gründung	#Fak
UL	Univ. Leipzig	1409	14
TUD	TU Dresden	1828	14

Fakultät

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

Institut

<u>ID</u>	FID	Name
1234	123	Neutestamentliche Wissenschaft
1235	123	Alttestamentliche Wissenschaft
1236	123	Praktische Theologie
1322	132	Informatik

- Komplexe Objekte erfordern Zerlegung über mehrere Tabellen



Sprachen für das Relationenmodell

- Datenmodell = Datenobjekte + Operatoren
- im RM wird vereinheitlichte Sprache angestrebt für:
 - Anfragen (Queries) im 'Stand-Alone'-Modus
 - Datenmanipulation und Anfragen eingebettet in eine Wirtssprache
 - Datendefinition
 - Zugriffs- und Integritätskontrolle
 - Unterstützung verschiedener Benutzerklassen:
Anwendungsprogrammierer, DBA, gelegentliche Benutzer
- Verschiedene Grundtypen von Sprachen
 - Formale Ansätze: Relationenalgebra und Relationenkalkül
 - Abbildungsorientierte Sprachen (z. B. SQL)
 - Graphik-orientierte Sprachen (z. B. Query-by-Example)



Relationenalgebra

- *Algebra*: ein System, das aus einer nichtleeren Menge und einer Familie von Operationen besteht
 - Relationen sind Mengen
 - Operationen auf Relationen arbeiten auf einer oder mehreren Relationen als Eingabe und erzeugen eine Relation als Ausgabe (Abgeschlossenheitseigenschaft)
=> mengenorientierte Operationen
- Operationen:

<i>Klassische Mengenoperationen:</i>	<i>Relationenoperationen:</i>
- Vereinigung	- Restriktion (Selektion)
- Differenz	- Projektion
- kartesisches Produkt	- Verbund (Join) (ableitbar)
- Durchschnitt (ableitbar)	- Division (ableitbar)



Selektion (Restriktion)

- Auswahl von Zeilen einer Relation über Prädikate, abgekürzt σ_P

$$\sigma_P(R) = \{ t \mid t \in R \wedge P(t) \}$$

P = log. Formel (ohne Quantoren !) zusammengestellt aus:

- Operanden: Attributnamen oder Konstanten
- Vergleichsoperatoren $\theta \in \{ <, =, >, \leq, \neq, \geq \}$
- logische Operatoren: \vee, \wedge, \neg

- Beispiele:

$$\sigma_{\text{GEHALT} < \text{PROVISION}} (\text{PERS})$$

$$\sigma_{\text{BERUF} = \text{'Programmierer'} \wedge \text{ALTER} < 50} (\text{PERS})$$

- Eigenschaften

- $\text{grad}(\sigma_P(R)) = \text{grad}(R)$
- $\text{card}(\sigma_P(R)) \leq \text{card}(R)$



Projektion

- Auswahl der Spalten (Attribute) A_1, A_2, \dots, A_k aus einer Relation R (Grad $n \geq k$)

$$\pi_{A_1, A_2, \dots, A_k}(R) = \{ p \mid \exists t \in R : p = \langle t[A_1], \dots, t[A_k] \rangle \}$$

- Beispiel:

$$\pi_{\text{NAME}, \text{GEHALT}} (\text{PERS})$$

- Eigenschaften:

- Wichtig: Duplikate werden entfernt ! (Meneigenschaft)
- $\text{grad}(\pi_A(R)) \leq \text{grad}(R)$
- $\text{card}(\pi_A(R)) \leq \text{card}(R)$



Relationenalgebra: Beispiel-DB

ABT		
ANR	ANAME	ORT
K51	Planung	Leipzig
K53	Einkauf	Frankfurt
K55	Vertrieb	Frankfurt

PERS					
PNR	Name	Alter	Gehalt	ANR	MNR
406	Abel	47	50700	K55	123
123	Schulz	32	43500	K51	-
829	Müller	36	40200	K53	406
574	Schmid	28	36000	K55	123

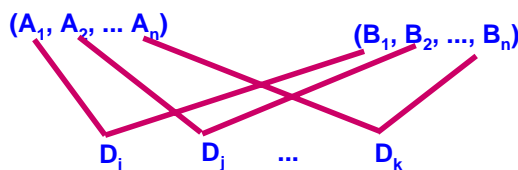
- Finde alle Angestellten aus Abteilung K55, die mehr als 40.000 verdienen
- Finde alle Abteilungsorte
- Finde den Abteilungsnamen von Abteilung K53
- Finde alle Angestellten (PNR, ALTER, ANAME), die in einer Abteilung in Frankfurt arbeiten und älter als 30 sind.



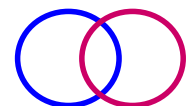
Klassische Mengenoperationen

- Voraussetzung: *Vereinigungsverträglichkeit* der beteiligten Relationen:

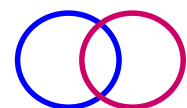
Gleicher Grad - Gleiche Bereiche: $\Rightarrow W(A_i) = W(B_i) \quad : \quad i = 1, n$



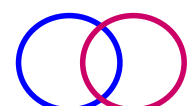
- Vereinigung: $R \cup S = \{ t \mid t \in R \vee t \in S \}$
 - $\text{card}(R \cup S) \leq \text{card}(R) + \text{card}(S)$



- Differenz: $R - S = \{ t \mid t \in R \wedge t \notin S \}$
 - $\text{card}(R - S) \leq \text{card}(R)$



- Durchschnitt:
 $R \cap S = R - (R - S) = \{ t \mid t \in R \wedge t \in S \}$
 - $\text{card}(R \cap S) \leq \min(\text{card}(R), \text{card}(S))$



(Erweitertes) Kartesisches Produkt

R (Grad r) und S (Grad s) beliebig

$$R \times S = \{ k \mid \exists x \in R, y \in S : k = x \mid y \}$$

Beachte: $k = x \mid y = \langle x_1, \dots, x_r, y_1, \dots, y_s \rangle$

nicht $\langle \langle x_1, \dots, x_r \rangle, \langle y_1, \dots, y_s \rangle \rangle$ wie übliches kart. Produkt

– $\text{grad}(R \times S) = \text{grad}(R) + \text{grad}(S)$; $\text{card}(R \times S) = \text{card}(R) * \text{card}(S)$

Beispiel

R		
A	B	C
a	γ	1
d	α	2
b	β	3

S		
D	E	F
b	γ	3
d	α	2

R x S



Verbund (Join, Θ -Join)

■ grob:

- Kartesisches Produkt zwischen zwei Relationen R (Grad r) und S (Grad s).
- eingeschränkt durch Θ -Bedingungen zwischen Attribut A von R und Attribut B von S.

■ Θ -Verbund zwischen R und S:

$$R \bowtie_{A \Theta B} S = \sigma_{A \Theta B}(R \times S)$$

mit arithm. Vergleichsoperator $\Theta \in \{<, =, >, \leq, \neq, \geq\}$

■ Bemerkungen:

- **Gleichverbund (Equijoin):** $\Theta = '='$:
- Ein Gleichverbund zwischen R und S heißt *verlustfrei*, wenn alle Tupel von R und S am Verbund teilnehmen. Die inverse Operation Projektion erzeugt dann wieder R und S (**lossless join**).



Natürlicher Verbund (Natural Join)

- grob: Gleichverbund über alle gleichen Attribute und Projektion über die verschiedenen Attribute
- Natürlicher Verbund zwischen R und S:

gegeben: $R(A_1, A_2, \dots, A_{r-j+1}, \dots, A_r), S(B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_s)$

o.B.d.A.:(sonst. Umsortierung: $B_1 = A_{r-j+1}$
 $B_2 = A_{r-j+2}$
 \dots
 $B_j = A_r$

$$R \bowtie S = \pi_{A_1, \dots, A_r, B_{j+1}, \dots, B_s} \sigma_{(R.A_{r-j+1} = S.B_1) \wedge \dots \wedge (R.A_r = S.B_j)} (R \times S)$$

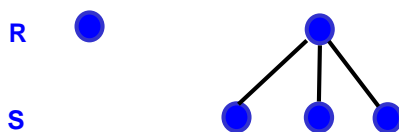
\bowtie Zeichen für Natural Join $\Rightarrow \Theta = '='$

- Bemerkung: Attribute sind durch Übereinstimmungsbedingung gegeben



Äußerer Verbund (Outer Join)

- Ziel: Verlustfreier Verbund soll erzwungen werden
- Bisher: $R \bowtie S \bowtie T$ liefert nur „vollständige Objekte“
 - Es sollen aber auch Teilobjekte als Ergebnis geliefert werden (z. B. komplexe Objekte)



– Trick: Einfügen einer speziellen Leerzeile zur künstlichen Erzeugung von Verbundpartnern

- Def.: Seien A die Verbundattribute, $\{ \equiv \}$ der undefinierte Wert und

$$R' := R \cup ((\pi_A(S) - \pi_A(R)) \times \{ \equiv \} \times \dots \times \{ \equiv \})$$

$$S' := S \cup ((\pi_A(R) - \pi_A(S)) \times \{ \equiv \} \times \dots \times \{ \equiv \})$$

Äußerer Gleichverbund

$$R \bowtie_{R.A=S.A} S := R' \bowtie S'$$

Äußerer natürlicher Verbund

$$R \bowtie S := R' \bowtie S'$$



Outer Join (2)

■ Linker äußerer Gleichverbund

- Bei dieser Operation bleibt die linke Argumentrelation verlustfrei, d.h. bei Bedarf wird ein Tupel durch Nullwerte "nach rechts" aufgefüllt.

Linker äußerer Gleichverbund: $R \bowtie_{R.A = S.A} S := R \ltimes_{R.A = S'.A} S'$

■ Rechter äußerer Gleichverbund

- Dabei bleibt analog die rechte Argumentrelation verlustfrei; fehlende Partnertupel werden durch Auffüllen mit Nullwerten "nach links" ergänzt

Rechter äußerer Gleichverbund: $R \ltimes_{R.A = S.A} S := R' \bowtie_{R'.A = S.A} S$

■ Verallgemeinerung auf 2 (oder mehr) Joins

- Äußerer Gleichverbund liefert die maximale Information bezüglich einer Folge von Joins, z.B. $R \ltimes S \ltimes T$ Selbst isolierte Tupel werden zu einem Pfad expandiert.
- Gleichverbund mit $R \bowtie S \bowtie T$ bringt das Minimum an Information; nur vollständig definierte Pfade werden ins Ergebnis übernommen.
- Mit dem linken (rechten) äußeren Gleichverbund werden nur Pfade zurückgeliefert, die am "linken (rechten) Rand" definiert sind.



Outer Join - Beispiel



PERS

PNR	ANR ...
P1	A1
P2	A1
P3	A2
P4	-
P5	-

ABT

ANR	ANAME ...
A1	A
A2	B
A3	C

PERS \bowtie ABT

PNR	ANR	ANAME ...

PERS \ltimes ABT

PNR	ANR	ANAME ...

PERS \ltimes ABT

PNR	ANR	ANAME ...

PERS \bowtie ABT

PNR	ANR	ANAME ...



Division

- Beantwortung von Fragen, bei denen eine „ganze Relation“ zur Qualifikation herangezogen wird
- Simulation des Allquantors \Rightarrow ein Tupel aus R steht mit allen Tupeln aus S in einer bestimmten Beziehung

■ Definition

Voraussetzung: $S\text{-Attribute} \subset R\text{-Attribute}$

Sei R vom Grad r und S vom Grad s , $r > s$

t sei $(r-s)$ -Tupel, u sei s -Tupel;

Dann gilt: $R \div S = \{ t \mid \forall u \in S : t u \in R \}$



Division (2)

■ Beispiel

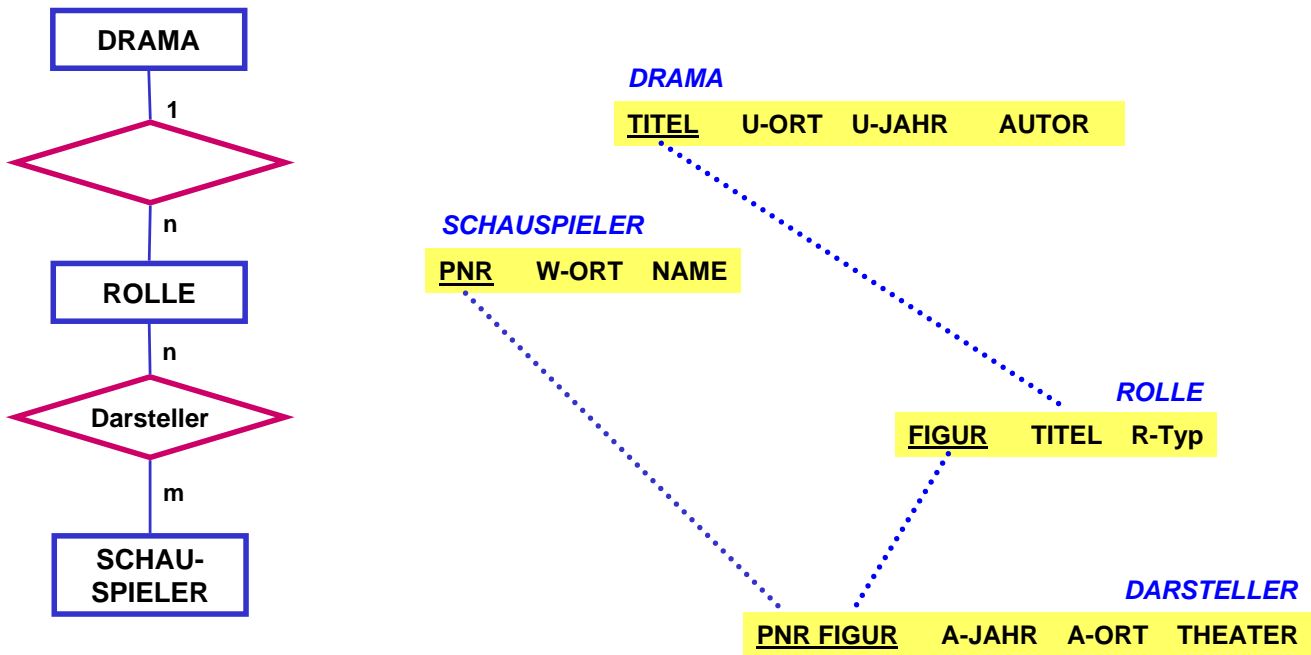
LPT		PT																										
<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"><thead><tr><th>LNR</th><th>PNR</th><th>TNR</th></tr></thead><tbody><tr><td>L1</td><td>P1</td><td>T1</td></tr><tr><td>L1</td><td>P2</td><td>T1</td></tr><tr><td>L2</td><td>P1</td><td>T1</td></tr><tr><td>L2</td><td>P1</td><td>T2</td></tr><tr><td>L2</td><td>P2</td><td>T1</td></tr></tbody></table>	LNR	PNR	TNR	L1	P1	T1	L1	P2	T1	L2	P1	T1	L2	P1	T2	L2	P2	T1	÷	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"><thead><tr><th>PNR</th><th>TNR</th></tr></thead><tbody><tr><td>P1</td><td>T1</td></tr><tr><td>P1</td><td>T2</td></tr><tr><td>P2</td><td>T1</td></tr></tbody></table>	PNR	TNR	P1	T1	P1	T2	P2	T1
LNR	PNR	TNR																										
L1	P1	T1																										
L1	P2	T1																										
L2	P1	T1																										
L2	P1	T2																										
L2	P2	T1																										
PNR	TNR																											
P1	T1																											
P1	T2																											
P2	T1																											

- Welche Lieferanten beliefern alle Projekte?
- Welche Lieferanten liefern alle Teile?

- Zusammenhang zwischen Division und kartesischem Produkt:
 $(R \times S) \div S = R$



Beispiel-DB: Bühne



Beispielanfragen

- Welche Darsteller (PNR) haben im Schauspielhaus gespielt?
- Finde alle Schauspieler (NAME, W-ORT), die einmal im 'Faust' mitgespielt haben.
- Finde alle Schauspieler (NAME), die bei in Weimar uraufgeführten Dramen an ihrem Wohnort als 'Held' mitgespielt haben
- Finde die Schauspieler (PNR), die nie gespielt haben
- Finde alle Schauspieler (NAME), die alle Rollen gespielt haben.



Zusammenfassung Relationenalgebra

- saubere mathematische Definition
- mengenorientierte Operationen
- keine Änderungsoperationen!
- für Laien nicht leicht verständlich

