3. Grundlagen des Relationalen Datenmodells

- Grundkonzepte
- Relationale Invarianten
  - Primärschlüsselbedingung
  - Fremdschlüsselbedingung (referentielle Integrität)
  - Wartung der referentiellen Integrität
- Abbildung ERM / UML → 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**

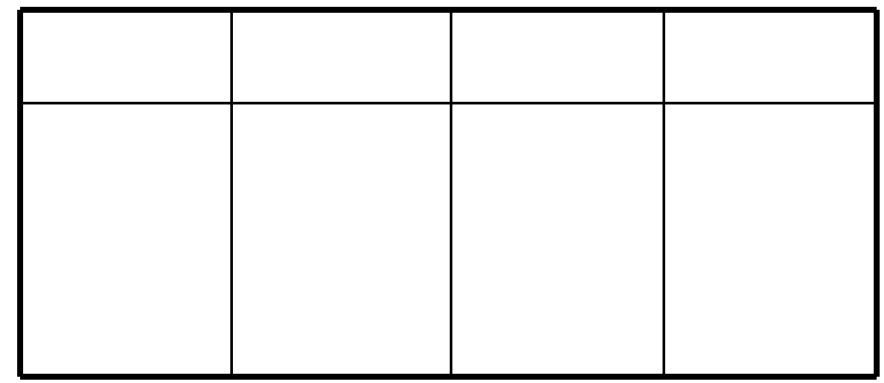
DB-Anwendungsprogrammierung: in DBS2

Lernziele

- Grundbegriffe des Relationenmodells
- Relationale Invarianten, insbesondere Vorkehrungen zur Wahrung der referentiellen Integrität
- Abbildung von ER/UML-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

Attribut
Definitionsbereich
Primärschlüssel

} wie im ERM

Entitymenge
Relationshipmenge
→ Relation

- normalisierte Relation

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

D_i D_j D_k

  - Relation = Untermenge des kartesischen Produktes der Attributwertebereiche
  - nur einfache Attibute (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

FNR	FNAME	...
WI	Wirtschaftswiss.	...
MI	Math./Informatik	...

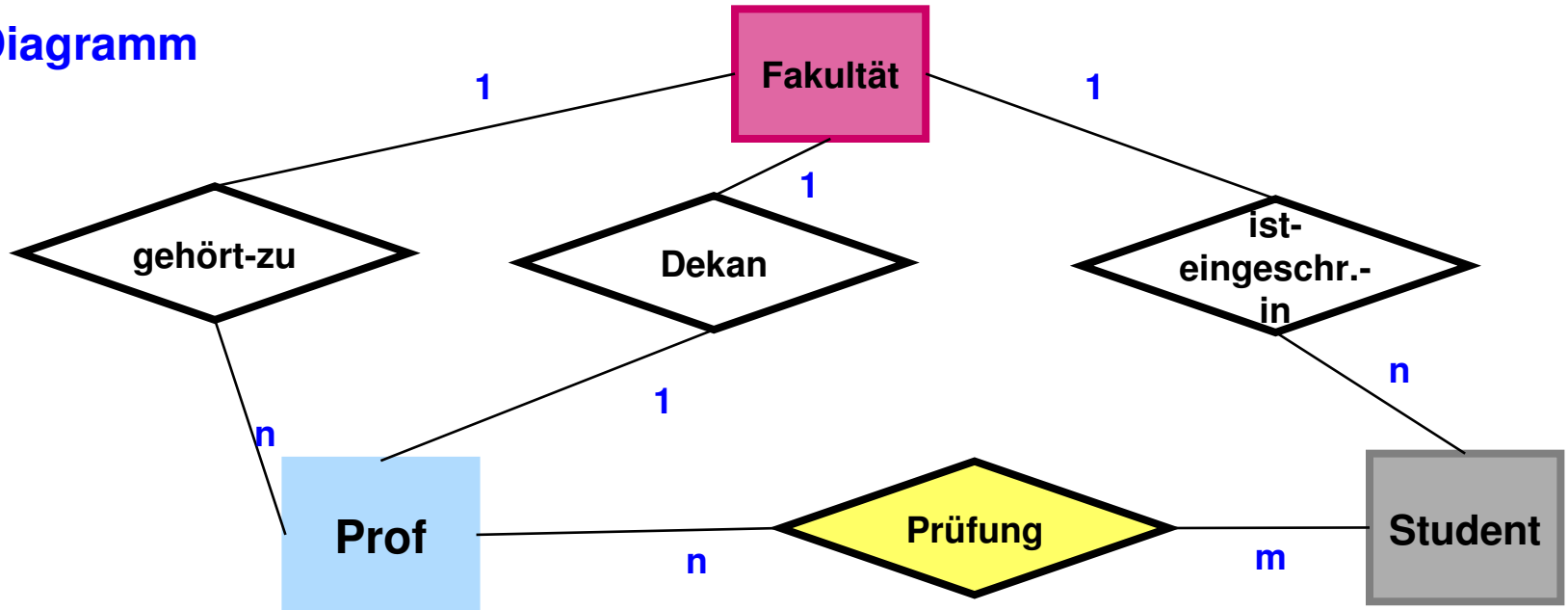
STUDENT

MATNR	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

FNR	FNAME	DEKAN

STUDENT

MATNR	SNAME	FNR	W-Ort

PROF

PNR	PNAME	FNR	FACHGEB

PRÜFUNG

PNR	MATNR	FACH	DATUM	NOTE

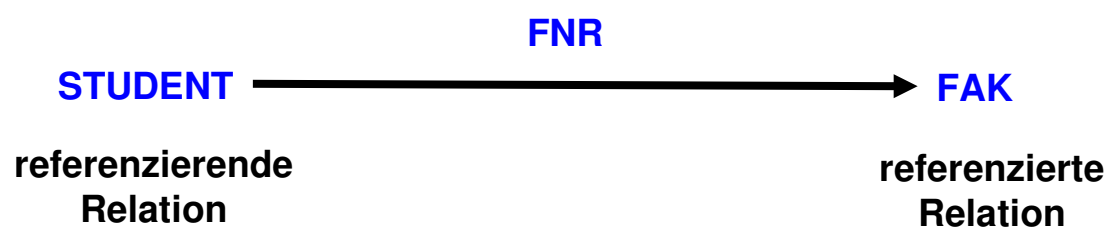
DBS 1

Relationale Invarianten

- inhärente Integritätsbedingungen des Relationenmodells (Modellbedingungen)

2. Primärschlüsselbedingung (Entity-Integrität)
   - Eindeutigkeit des Primärschlüssels
   - keine Nullwerte!
3. 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
- 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“).***

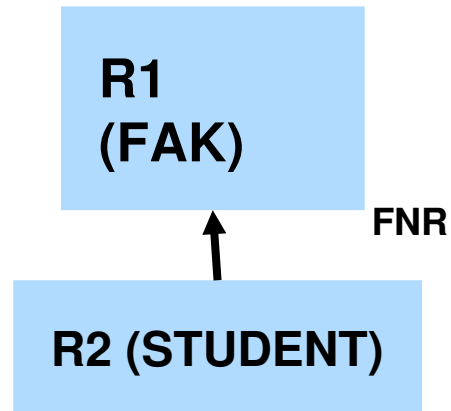
Relationale Invarianten (3)

- 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):

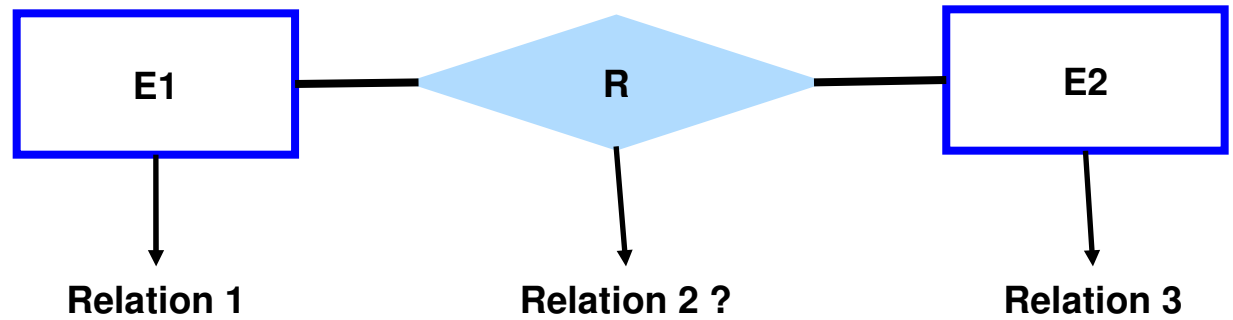
  ON DELETE {NO ACTION | CASCADE | SET NULL | SET DEFAULT }
- Änderungsregel für Ziel-Primärschlüssel (Primärschlüssel oder Schlüsselkandidat):

  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 )
```

Abbildung ERM / UML -> 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

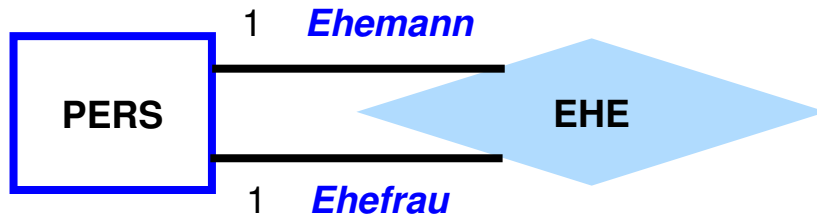
```
ABT   (ANR,   ANAME,   ...)
PERS   (PNR,   PNAME,   ...)
ABT-ZUGEH (PNR,   ANR, )
```

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,    ...)
```

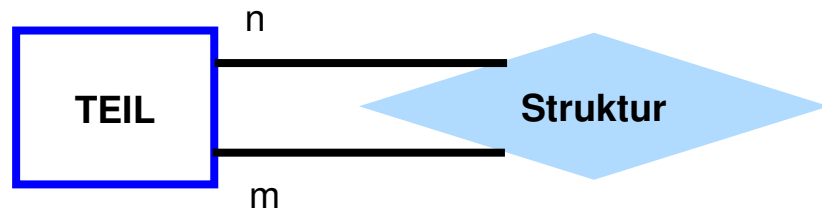
2.) Verwendung von einer Relation

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

- Unterscheidung zu n:1 ?

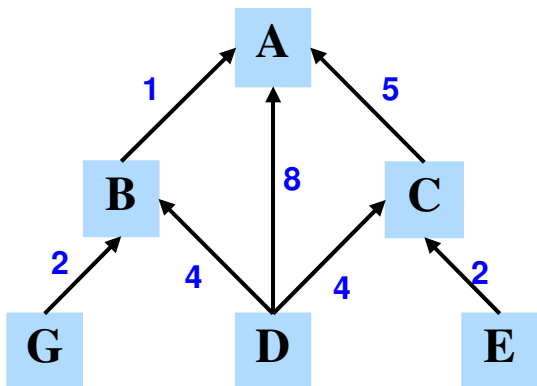
1 Entitymenge mit m:n-Verknüpfung

Stückliste



Darstellungsmöglichkeit im RM:

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



Teil

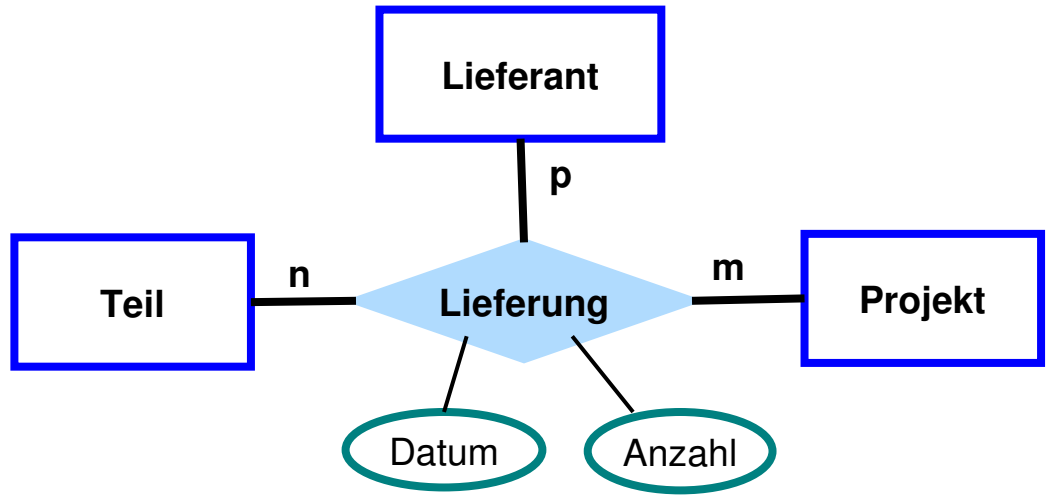
TNR	BEZ	MAT	BESTAND
A	Getriebe	-	10
B	Gehäuse	Alu	0
C	Welle	Stahl	100
D	Schraube	Stahl	200
E	Kugellager	Stahl	50
F	Scheibe	Blei	0
G	Schraube	Chrom	100

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

3 Entitymengen mit m:n-Verknüpfung




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

LIEFERUNG     (
```

Abbildung mehrwertiger Attribute bzw. schwacher Entitymengen

Entitymenge

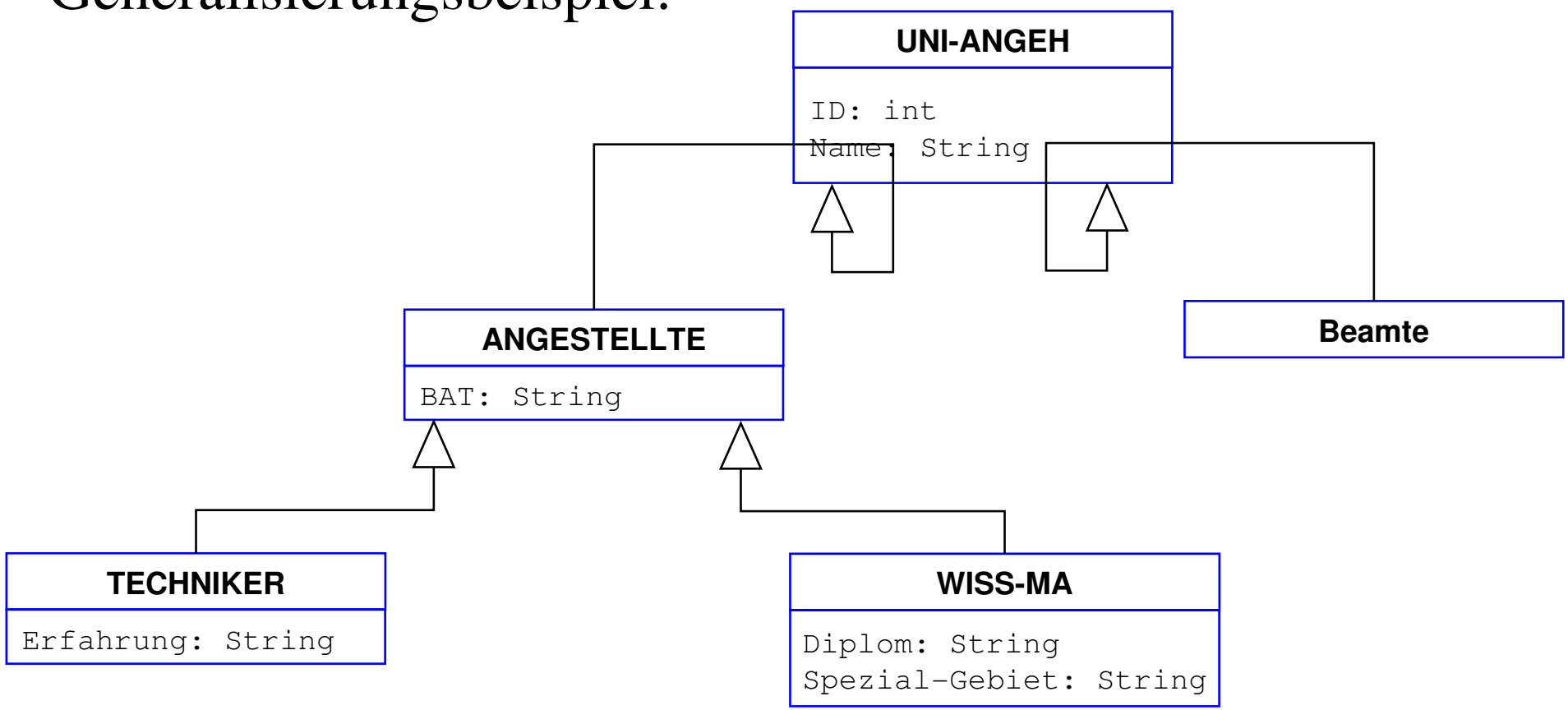
```
PERS (PNR, NAME, {Lieblingsessen}, {Kinder (Vorname, Alter)})

          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	IIa

WISS-MA

ID	Diplom	SPEZ-GEB
007	Informatik	ERM
765	Mathe	OO

TECHNIKER

ID	Erfahrung
123	Sun

- Eigenschaften
  - geringfügig erhöhte Speicherungskosten, aber hohe Aufsuch- und Aktualisierungkosten
  - 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	IIa

ANGESTELLTE

ID	Name	BAT
333	Daisy	VII

TECHNIKER

ID	Erfahrung	Name	BAT
123	SUN	Donald	IVa

- Eigenschaften
  - niedrige Speicherungskosten 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	IIa

WISS-MA

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

TECHNIKER

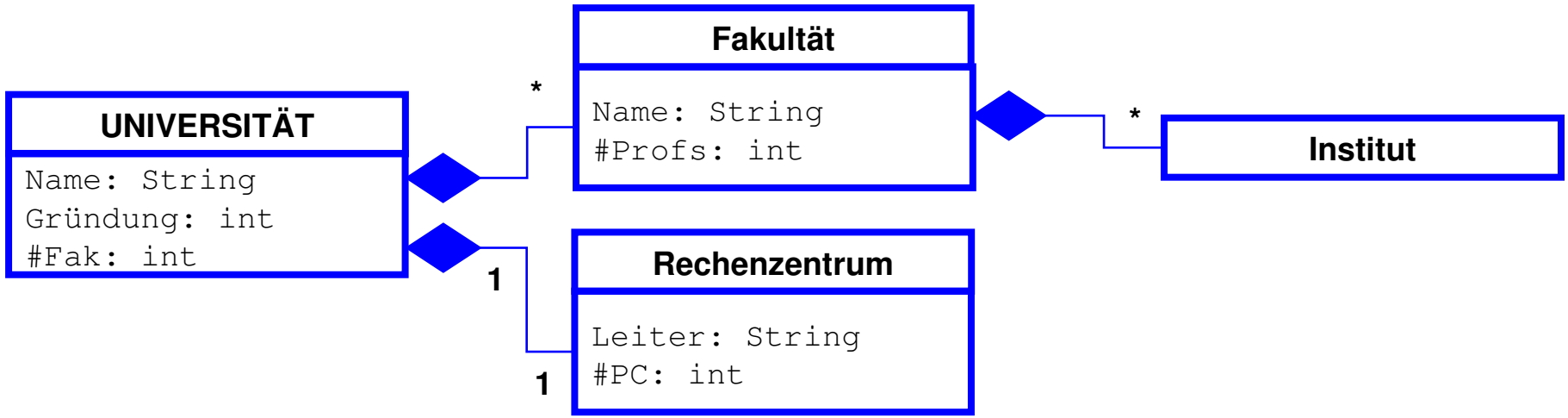
ID	Name	BAT	Erfahrung
123	Donald	IVa	Sun

- 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

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

Fakultät

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

Institut

ID	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:

***Klassische Mengenoperationen*:**

- Vereinigung
- Differenz
- kartesisches Produkt
- Durchschnitt (ableitbar)

***Relationenoperationen*:**

- Restriktion (Selektion)
- Projektion
- Verbund (Join) (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:

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

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

- Eigenschaften
  - grad $(\sigma_P(R))$ = grad (R)
  - card $(\sigma_P(R))$ <= card (R)

Projektion

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

$$\pi_{A1,\ A2,\ \ldots,\ Ak}(R) = \{\ p \mid \exists\ t \in R : p = <\ t[\ A_1\ ], \ldots, t[\ A_k\ ]\ >\}$$

- Beispiel:

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

- Eigenschaften:
  - Wichtig: Duplikate werden entfernt ! (Mengeneigenschaft)
  - grad $(\pi_A(R))$ <= grad (R)
  - card $(\pi_A(R))$ <= card (R)

Relationenalgebra: Beispiel-DB

ABT

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

PERS

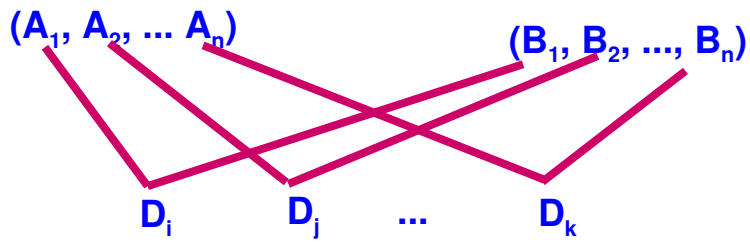
PNR	Name	Alter	Gehalt	ANR	MNR
406	Abel	47	50700	K55	123
123	Schulz	32	43500	K51	-
829	Müller	36	40200	K53	406
574	Schmid	28	36000	K55	123

- 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.

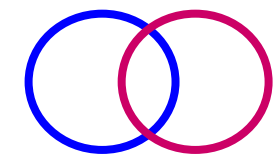
Klassische Mengenoperationen

- Voraussetzung: *Vereinigungsverträglichkeit* der beteiligten Relationen:

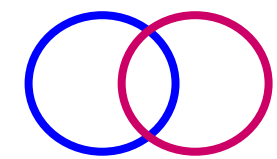
  Gleicher Grad - Gleiche Bereiche: => $W(A_i) = W(B_i)$: $i = 1, n$



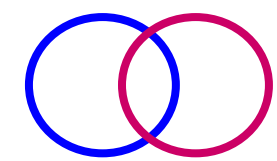
- Vereinigung: $R \cup S = \{ t \mid t \in R \vee t \in S \}$
  - card (R ∪ S) <= card (R) + card (S)



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



- Durchschnitt:
  $R \cap S = R - (R - S) = \{ t \mid t \in R \wedge t \in S \}$
  - card (R ∩ S) <= min (card (R), 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: $k = x \mid y = < x_1, \ldots, x_r, y_1, \ldots, y_s >$

nicht $<<x_1, \ldots, x_r>, <y_1, \ldots, y_s>>$ wie übliches kart. Produkt

- grad (R × S) = grad (R) + grad (S); card (R × S) = card (R) * 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 × 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:

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

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

- Bemerkungen:
  - ***Gleichverbund (Equijoin):*** Θ = '=' :
  - 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: $R(A_1, A_2, \ldots, A_{r-j+1}, \ldots, A_r)$, $S(B_1, B_2, \ldots, B_j, \ldots, B_s)$

o.B.d.A.:(sonst. Umsortierung: $B_1 = A_{r-j+1}$

$B_2 = A_{r-j+2}$

...

$B_j = A_r$

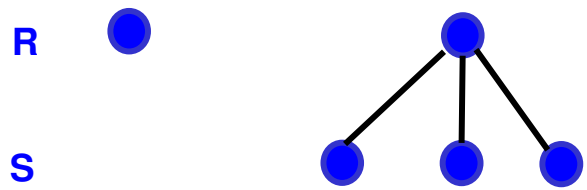
$$R \bowtie S = \pi_{A_1,\ldots,A_r,B_{j+1},\ldots,B_s} \sigma_{(R.A_{r-j+1} = S.B_1) \wedge \ldots \wedge (R.A_r = S.B_j)} (R \times S)$$

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

- Bemerkung: Attribute sind durch Übereinstimmungsbedingung gegeben

Äußerer Verbund (Outer Join)

- Ziel: Verlustfreier Verbund soll erzwungen werden
- Bisher: R ⋈ S 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, {≡} der undefinierte Wert und

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

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

Äußerer Gleichverbund

$R \overset{R.A = S.A}{\supset\!\bowtie\!\subset} S := R' \overset{R'.A = S'.A}{\bowtie} S'$

Äußerer natürlicher Verbund

$R \supset\!\bowtie\!\subset S := R' \bowtie S'$

Outer Join (2)

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

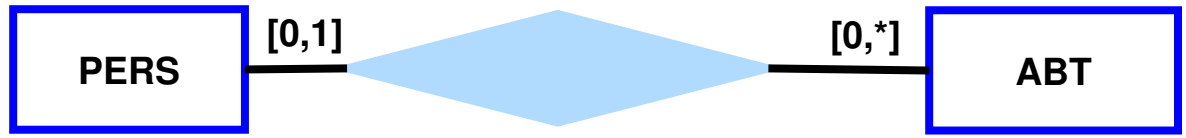
Linker äußerer Gleichverbund: $R \underset{R.A = S.A}{\supset\!\bowtie} S := R \underset{R.A=S'.A}{\bowtie} S'$

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

Rechter äußerer Gleichverbund: $R \underset{R.A = S.A}{\bowtie\!\subset} S := R' \underset{R'.A = S.A}{\bowtie} S$

- Verallgemeinerung auf 2 (oder mehr) Joins
  - Äußerer Gleichverbund liefert die maximale Information bezüglich einer Folge von Joins, z.B. $R \supset\!\bowtie S \supset\!\bowtie T$ 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 ⋈ ABT

PNR	ANR	ANAME ...

PERS ⟕ ABT

PNR	ANR	ANAME ...

PERS ⟖ ABT

PNR	ANR	ANAME ...

PERS ⟗ ABT

PNR	ANR	ANAME ...

Division

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

  Voraussetzung: S-Attribute $\subset$ R-Attribute

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

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

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

  grad ($R \div S$) =

  card ($R \div S$) =

Division (2)

- Beispiel

LPT

LNR	PNR	TNR
L1	P1	T1
L1	P2	T1
L2	P1	T1
L2	P1	T2
L2	P2	T1

÷

PT

PNR	TNR
P1	T1
P1	T2
P2	T1

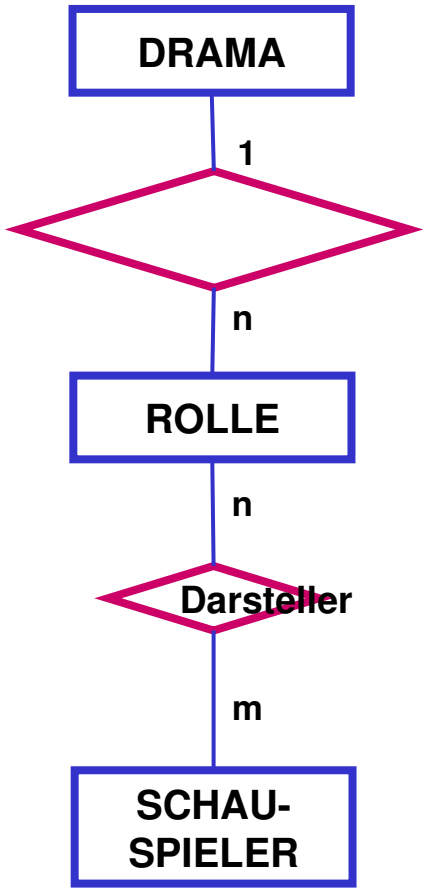
  - Welche Lieferanten beliefern alle Projekte?

  - Welche Lieferanten liefern alle Teile?

- Zusammenhang zwischen Division und kartesischem Produkt:

$$(R \times S) \div S = R$$

Beispiel-DB: Bühne



DRAMA

TITEL	U-ORT	U-JAHR	AUTOR_

SCHAUSPIELER

PNR	W-ORT	NAME

ROLLE

FIGUR	TITEL	R-Typ

DARSTELLER

PNR FIGUR	A-JAHR	A-ORT	THEATER

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 Opertationen
- keine Änderungsoperationen!
- für Laien nicht leicht verständlich