

Datenbanksysteme 2011

Kapitel 6: Das Relationale Modell

Oliver Vornberger

Institut für Informatik
Universität Osnabrück

Das Relationale Modell

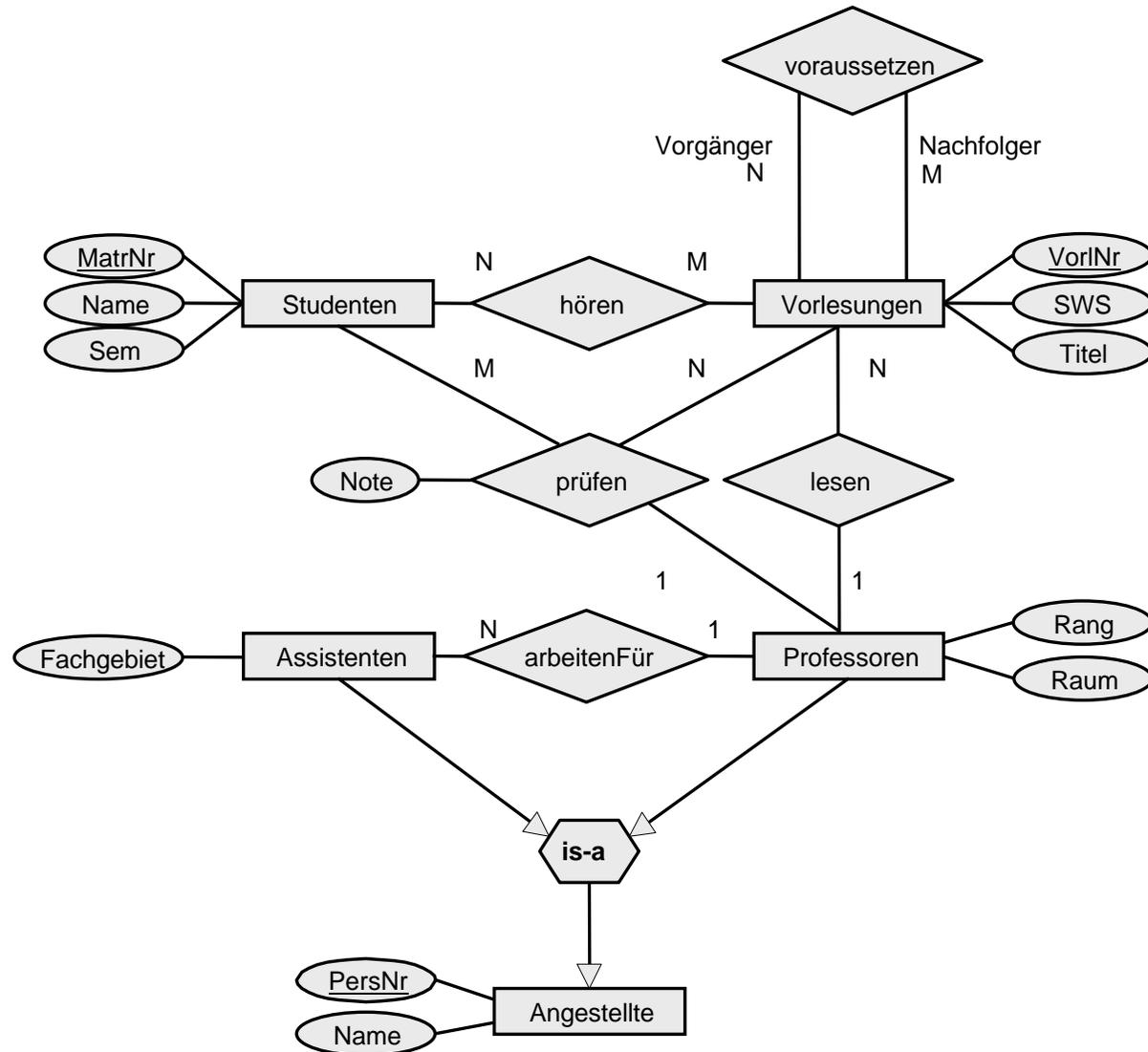
Wertebereiche (Domänen):	D_1, D_2, \dots, D_n
Relation:	$R \subseteq D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$
Wertebereich von Attribut A:	dom (A)
Relation	$R \subseteq \mathbf{dom}(A_1) \times \mathbf{dom}(A_2) \times \dots \times \mathbf{dom}(A_n)$
Element von R:	Tupel
Schema der Relation:	sch (R) = A_1, A_2, \dots, A_n
aktuelle Ausprägung:	R

bei Datenbanksystemen zusätzlich zum Wertebereich noch Bezeichner:

Telefonbuch : { [Name : string, Adresse: string, TelefonNr : integer] }

Telefonbuch : { [Name, Adresse, TelefonNr] }

Konzeptuelles Schema der Universität



Initial-Entwurf für Entity-Typen

Pro Entity-Typ eine Relation (Schlüssel unterstrichen):

Studenten : {[MatrNr : integer, Name : string, Semester : integer] }

Vorlesungen : {[VorlNr : integer, Titel : string, SWS : integer] }

Professoren : {[PersNr : integer, Name : string, Rang : string, Raum : integer] }

Assistenten : {[PersNr : integer, Name : string, Fachgebiet : string] }

Initial-Entwurf für Relationship-Typen

Pro Relationship-Typ eine Relation:

hören : { [MatrNr : integer, VorlNr : integer] }

lesen : { [PersNr : integer, VorlNr : integer] }

arbeitenFür : { [AssiPersNr : integer, ProfPersNr : integer] }

voraussetzen : { [Vorgänger : integer, Nachfolger : integer] }

prüfen : { [MatrNr:integer, VorlNr:integer, PersNr:integer, Note:decimal] }

Fremdschlüssel := Schlüsselattribut für referierte Entity-Typen

N:1-Beziehung entspricht einer Abbildung:

lesen : Vorlesungen \rightarrow Professoren

prüfen : Studenten \times Vorlesungen \rightarrow Professoren

Elimination bei gleichen Schlüsseln

Vorlesungen : {[VorINr : integer, Titel : string, SWS : integer] }

Professoren : {[PersNr : integer, Name : string, Rang : string, Raum:integer] }

lesen : {[PersNr : integer, VorINr : integer] }

Relationen mit gleichem Schlüssel können zusammengefasst werden
(ggf. Umbenennung erforderlich):

Vorlesungen : {[VorINr:integer, Titel:string, SWS:integer, gelesenVon:integer] }

Professoren : {[PersNr : integer, Name :string, Rang :string, Raum :integer] }

Elimination bei ungleichen Schlüsseln

Vorlesungen : {[VorlNr : integer, Titel : string, SWS : integer] }

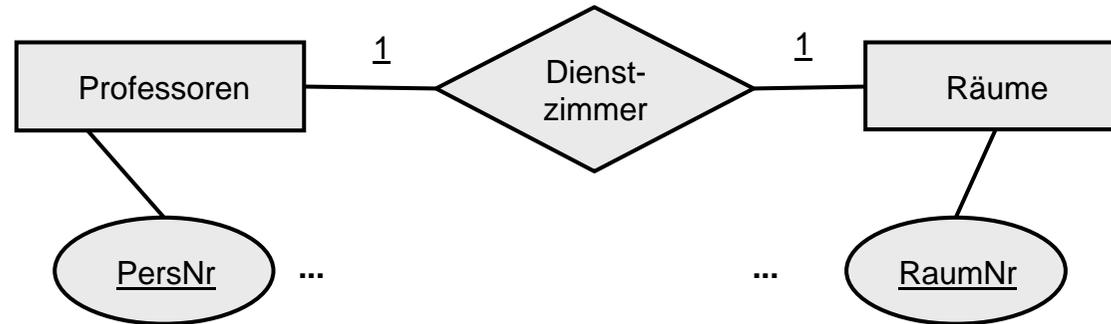
Professoren : {[PersNr :integer, Name :string, Rang :string, Raum : integer] }

Relationen mit ungleichem Schlüssel sollten nicht zusammengefaßt werden:

Professoren' : {[PersNr, liestVorl, Name, Rang, Raum] }

PersNr	liestVorl	Name	Rang	Raum
2125	5041	Sokrates	C4	226
2125	5049	Sokrates	C4	226
2125	4052	Sokrates	C4	226

Elimination bei 1:1-Beziehung



Professoren : { [PersNr, Name, Rang] }

Räume : { [RaumNr, Größe, Lage] }

Dienstzimmer: { [PersNr, RaumNr] }

Professoren : { [PersNr, Name, Rang, Raum] }

Räume : { [RaumNr, Größe, Lage] }

Professoren : { [PersNr, Name, Rang] }

Räume : { [RaumNr, Größe, Lage, ProfPersNr] }

Obacht:
Nullwerte !

Generalisierung

Professoren : {[PersNr, Name, Rang, Raum] }

Assistenten : {[PersNr, Name, Fachgebiet] }

Obertyp mit Gemeinsamkeiten:

Angestellte : {[PersNr, Name] }

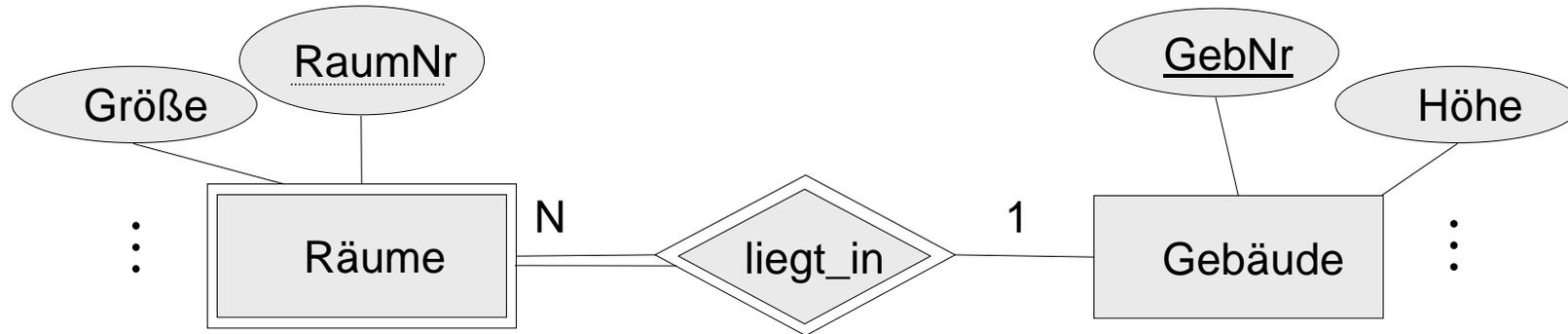
Aber: Die Information zu

[2125, Sokrates, C4, 226]

ist jetzt verteilt auf

[2125, Sokrates] [2125, C4, 226]

Schwacher Entity-Typ



Beziehung *liegt_in* wird verlagert in den Entity-Typ *Räume*:

Räume : { [GebNr, RaumNr, Größe] }

Die Beziehung

bewohnt : Professoren \rightarrow Räume

erfordert drei Attribute

bewohnt : { [PersNr, GebNr, RaumNr] }

Alternative (bei geringer Gebäudeinformation):

Professoren: { [PersNr, Name, Rang, Raum] }

Relationenschema

Studenten : {[MatrNr : integer, Name : string, Semester : integer] }

Vorlesungen: {[VorlNr:integer, Titel:string, SWS:integer, gelesenVon:integer] }

Professoren : {[PersNr :integer, Name:string, Rang : string, Raum : integer] }

Assistenten : {[PersNr :integer, Name:string, Fachgebiet :string, Boss:integer] }

hören : {[MatNr : integer, VorlNr : integer] }

Voraussetzen : {[Vorgänger : integer, Nachfolger : integer] }

prüfen : {[MatrNr :integer, VorlNr :integer, PersNr :integer, Note :decimal] }

Ausprägung Professoren, Assistenten

Professoren

PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Assistenten

PersNr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2134

Ausprägung Vorlesungen,
Studenten

Vorlesungen

VorlNr	Titel	SWS	gelesenVon
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

Studenten

MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

Ausprägung hören, voraussetzen, prüfen

hören

MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
27550	5041
28106	4052
28106	5216
28106	5259
27550	4630
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022
29555	5001

voraussetzen

Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

prüfen

MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1.0
25403	5041	2125	2.0
27550	4630	2137	2.0

Abfragesprachen

- Relationenalgebra (prozedural):
konstruktive Verknüpfung; Operatoren: \cup, \cap, \dots
- Relationenkalkül (deklarativ):
Beschreibung des gewünschten Ergebnisses
mit Formel der Prädikatenlogik 1. Stufe unter
Verwendung von $\exists, \forall, \wedge, \vee, \neg, \Rightarrow$
- Query by Example (für Analphabeten):
Ausfüllen eines Gerüstes mit Beispiel-Einträgen
- SQL (kommerziell):
umgangssprachliche Mischung aus
Relationenalgebra und Relationenkalkül

Relationenalgebra

Operanden = Relationen

Operatoren:

σ Selektion
 π Projektion
 \cup Vereinigung
 $-$ Mengendifferenz
 \times Kartesisches Produkt
 ρ Umbenennung

abgeleitete Operatoren:

\bowtie Verbund
 \cap Durchschnitt
 \div Division

Selektion

$\sigma_{Semester > 10}(Studenten)$

MatNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12

Selektionsprädikat durch Formel mit

- Attributnamen oder Konstanten als Operanden
- arithmetische Vergleichsoperatoren $< = > \leq \neq \geq$
- logische Operatoren: $\wedge \vee \neg$

Projektion

$\Pi_{Rang} (Professoren)$

Rang
C4
C3

per definitionem keine Duplikate !

Vereinigung

$$\Pi_{\text{PersNr, Name}}(\textit{Assistenten}) \cup \Pi_{\text{PersNr, Name}}(\textit{Professoren})$$

PersNr	Name
2125	Sokrates
3002	Platon
	.
	.
	.

Mengendifferenz

$$\Pi_{MatrNr}(\textit{Studenten}) - \Pi_{MatrNr}(\textit{prüfen})$$

MatrNr
24002
26120
26830
.
.
.

Kartesisches Produkt

Professoren × *hören*

PersNr	Name	Rang	Raum	MatrNr	VorlNr
2125	Sokrates	C4	226	26120	5001
...
2125	Sokrates	C4	226	29555	5001
...
2137	Kant	C4	7	29555	5001

$\text{sch}(R \times S) := \text{sch}(R) \cup \text{sch}(S)$.

Ggf. durch Voranstellung des Relationennamens identifizieren: *R.A*

Umbenennung von Relationen und Attributen

$\rho_{Dozenten}(Professoren)$

$\rho_{Zimmer} \leftarrow Raum(Professoren)$

finde Vorgänger vom Vorgänger von Vorlesung 5216:

$\Pi_{V1.Vorgänger}(\sigma_{V1.Nachfolger = V2.Vorgänger \wedge V2.Nachfolger=5216}$
 $(\rho_{V1}(voraussetzen) \times \rho_{V2}(voraussetzen)))$

V1		V2	
Vorgänger	Nachfolger	Vorgänger	Nachfolger
5001	5041	5001	5041
...
5001	5041	5041	5216
...
5052	5259	5052	5259

Relationenalgebra

Operanden = Relationen

Operatoren:

σ Selektion
 π Projektion
 \cup Vereinigung
 $-$ Mengendifferenz
 \times Kartesisches Produkt
 ρ Umbenennung

abgeleitete Operatoren:

$\triangleright \triangleleft$ Verbund
 \cap Durchschnitt
 \div Division

Natürlicher Verbund mit Umbenennung

Vorlesungen der C4-Professoren:

Namen der C4-Professoren mit ihren Vorlesungstiteln:

$\Pi_{Name, Titel} (Professoren \triangleright \triangleleft \rho_{PersNr \leftarrow gelesenVon} (Vorlesungen))$

Name	Titel
Sokrates	Logik
Sokrates	Ethik
Sokrates	Mäeutik
Kant	Die 3 Kritiken
Kant	Grundzüge
...	...

Theta-Join

Statt Gleichheit bei Attributen jetzt Prädikat θ :

$$R \triangleright \triangleleft_{A_1 < B_1 \wedge A_2 = B_2 \wedge A_3 < B_5} S$$

gleichwertig zu

$$R \triangleright \triangleleft_{\theta} S := \sigma_{\theta} (R \times S)$$

Erweitere Professoren und Assistenten um ein Attribut *Gehalt*.

Verbinde Professoren mit höherverdienenden Assistenten:

$$\textit{Professoren} \triangleright \triangleleft_{\textit{Professoren.Gehalt} < \textit{Assistenten.Gehalt} \wedge \textit{Boss} = \textit{Professoren.PersNr}} \textit{Assistenten}$$

Outer Join

Bisher:

Inner Join (Tupel ohne Partner gehen verloren)

Jetzt:

Outer Join (rette partnerlose Tupel):

- left outer join:
Tupel der linken Argumentrelation bleiben erhalten
- right outer join:
Tupel der rechten Argumentrelation bleiben erhalten
- full outer join:
Tupel beider Argumentrelationen bleiben erhalten

Outer Joins

L			R		
A	B	C	C	D	E
a_1	b_1	c_1	c_1	d_1	e_1
a_2	b_2	c_2	c_3	d_2	e_2

inner Join

A	B	C	D	E
a_1	b_1	c_1	d_1	e_1

left outer Join

A	B	C	D	E
a_1	b_1	c_1	d_1	e_1
a_2	b_2	c_2	-	-

right outer Join

A	B	C	D	E
a_1	b_1	c_1	d_1	e_1
-	-	c_3	d_2	e_2

outer Join

A	B	C	D	E
a_1	b_1	c_1	d_1	e_1
a_2	b_2	c_2	-	-
-	-	c_3	d_2	e_2

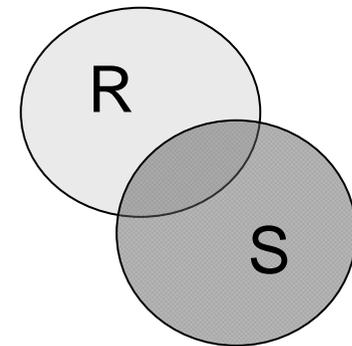
Mengendurchschnitt

Personalnummer der C4-Professoren,
die mindestens eine Vorlesung halten:

$$\Pi_{PersNr} (\rho_{PersNr \leftarrow gelesenVon} (Vorlesungen)) \cap \Pi_{PersNr} (\sigma_{Rang=C4} (Professoren))$$

Äquivalenz:

$$R \cap S = R \setminus (R \setminus S)$$

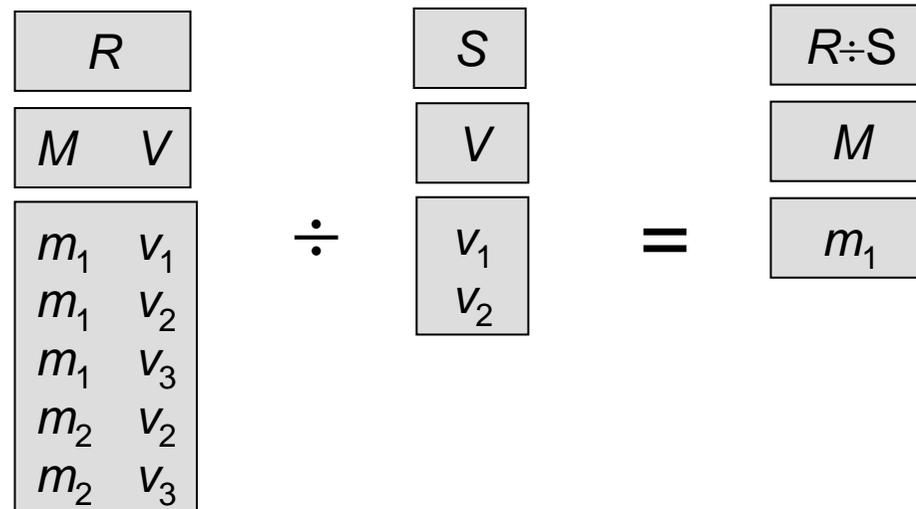


Division

R sei r -stellig, S sei s -stellig, $\mathbf{sch}(S) \subseteq \mathbf{sch}(R)$

$R \div S := \{ t = t_1, t_2, \dots, t_{r-s} \mid \forall u \in S : tu \in R \}$

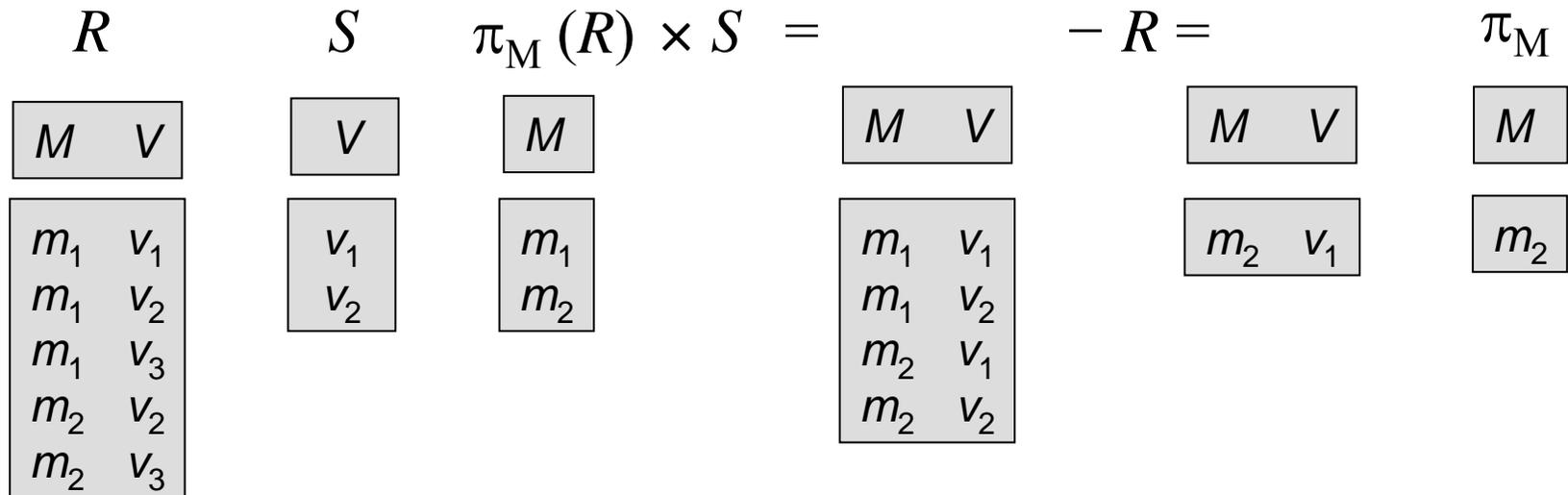
Anfangsstücke von R , zu denen sämtliche Verlängerungen mit Tupeln aus S in R liegen



Namen der Studenten, die alle 4-stündigen Vorlesungen hören:

$\Pi_{Name}(\text{Studenten} \triangleright \triangleleft (\text{Hören} \div \Pi_{VorlNr}(\sigma_{SWS=4}(\text{Vorlesungen}))))$

Kreuzprodukt, Subtraktion, Projektion



$R - \pi_M$

M

m_1

Ableitung der Division

(Projektion über Index statt Namen)

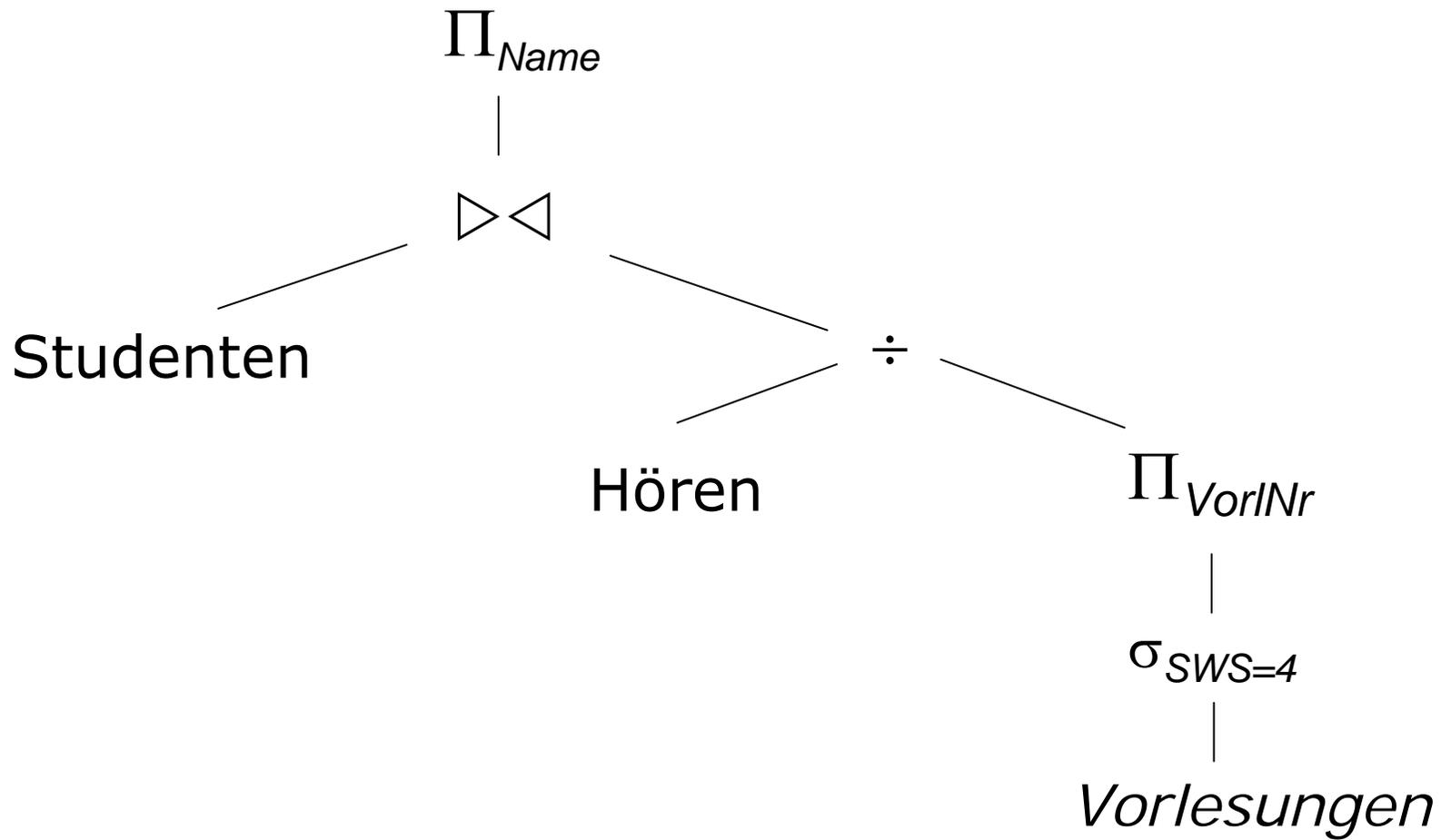
$T := \pi_{1, \dots, r-s} (R)$ alle Anfangsstücke
 $K := T \times S$ kombiniert mit allen Verlängerungen aus S
 $N := K \setminus R$ davon nur solche, die nicht in R sind
 $V := \pi_{1, \dots, r-s} (N)$ davon die Anfangsstücke
 $T \setminus V$ davon das Komplement

$$\pi_{1, \dots, r-s} (R) \setminus \pi_{1, \dots, r-s} ((\pi_{1, \dots, r-s} (R) \times S) \setminus R)$$

Minimalität von σ π \cup $-$ \times ρ

σ	Selektion	[$\pi \cup - \times \rho$ können nicht selektieren]
π	Projektion	[$\sigma \cup - \times \rho$ können nicht projizieren]
\cup	Vereinigung	[$\sigma \pi - \times \rho$ können nicht vereinigen]
$-$	Mengendifferenz	[$\sigma \pi \cup \times \rho$ können nicht negieren]
\times	Kartesisches Produkt	[$\sigma \pi \cup - \rho$ können nicht erweitern]
ρ	Umbenennung	[$\sigma \pi \cup - \times$ können nicht umbenennen]

Operatorbaum-Darstellung



Relationenkalkül

Bisher: Relationenalgebra (konstruktiv)

Jetzt: Relationenkalkül (deklarativ)

- Der relationale Tupelkalkül
(binde freie Variable an Tupel)
- Der relationale Domänenkalkül
(binde freie Variable an Domäne)

Der relationale Tupelkalkül

Sei t eine Tupelvariable (repräsentiert ein Tupel einer Relation)

sei P ein Prädikat unter Verwendung von $\vee \wedge \neg \exists \forall \Rightarrow$

Ein Ausdruck im relationalen Tupelkalkül hat die Form

$$\{ t \mid P(t) \}$$

t ist eine freie Variable, die unter Berücksichtigung des Prädikats sukzessive an die Tupel einer Relation gebunden wird

Der relationale Tupelkalkül

Alle C4-Professoren:

$$\{ p \mid p \in \text{Professoren} \wedge p.\text{Rang} = \text{'C4'} \}$$

Alle Professoren mit den Personalnummern ihrer Assistenten:

$$\{ [p.\text{Name}, a.\text{PersNr}] \mid p \in \text{Professoren} \wedge a \in \text{Assistenten} \wedge p.\text{PersNr} = a.\text{Boss} \}$$

Alle Studenten, die sämtliche 4-stündigen Vorlesungen hören:

$$\{ s \mid s \in \text{Studenten} \wedge \forall v \in \text{Vorlesungen} (v.\text{SWS}=4 \Rightarrow \exists h \in \text{hören} (h.\text{VorlNr} = v.\text{VorlNr} \wedge h.\text{MatrNr} = s.\text{MatrNr})) \}$$

Tupelkalkül versus Relationenalgebra

Sicherer Ausdruck: Ergebnis ist wieder Teilmenge der Domäne.

Z.B. nicht sicher: $\{ n \mid \neg (n \in \text{Professoren}) \}$

Bei Beschränkung auf sichere Ausdrücke sind Tupelkalkül und Relationenalgebra gleichmächtig.

Der relationale Domänenkalkül

Seien v_1, v_2, \dots, v_n Domänenvariable (repräsent. Attributwerte)

Sei P ein Prädikat unter Verwendung von $\vee \wedge \neg \exists \forall \Rightarrow$

Ein Ausdruck im relationalen Domänenkalkül hat die Form

$$\{ [v_1, v_2, \dots, v_n] \mid P(v_1, v_2, \dots, v_n) \}$$

v_1, v_2, \dots, v_n sind freie Domänenvariable, die sukzessive unter Berücksichtigung des Prädikats an Wertebereiche der Attribute gebunden werden.

Der relationale Domänenkalkül (Beispiel)

Alle Professorennamen mit den Personalnummern ihrer Assistenten:

$$\{ [n,a] \mid \exists p, r, t ([p, n, r, t] \in Professoren \wedge \exists v, w ([a, v, w, p] \in Assistenten)) \}$$

Bei Beschränkung auf sichere Ausdrücke sind die Relationenalgebra und der relationale Domänenkalkül gleichmächtig.

QBE

Fordere Tabellenskelett an und fülle es exemplarisch:

Vorlesungen	VorlNr	Titel	SWS	gelesenVon
		p._t	>3	
		Grundzüge Ethik Logik Die 3 Kritiken		

Im Domänenkalkül:

$\{ [t] \mid \exists v, s, r ([v, t, s, r] \in \text{Vorlesungen} \wedge s > 3) \}$

QBE Join

Liste alle Professoren, die Logik lesen:

Vorlesungen	VorlNr	Titel	SWS	gelesenVon
		Logik		_otto

Professoren	PersNr	Name	Rang	Raum
	_otto	p._n		
		Sokrates		

QBE Condition Box

Liste alle Studenten, die in einem höheren Semester sind als Feuerbach:

Studenten	MatrNr	Name	Semester
		p._s	_a
		Feuerbach	_b

conditions

_a > _b

QBE Gruppierung

2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Gruppierung: **g.**
 Aggregatfunktionen: **sum. avg. min. max. all.**

Liste für jede Gehaltsgruppe den Namen des Professors mit der größten Personalnummer:

Professoren	PersNr	Name	Rang	Raum
	p.min._x	p._x	p.g.	
	2137	Kant	C4	
	2133	Popper	C3	

QBE Gruppierung

5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

Liste für jeden Professor die Summe seiner Vorlesungsstunden:

Vorlesungen	VorlNr	Titel	SWS	gelesenVon
			p.sum.all._x	p.g.
			10	2125
			8	2126
			2	2133
			2	2134
			8	2137

QBE Einfügen

Füge neuen Studenten ein:

Studenten	MatrNr	Name	Semester
i.	4711	wacker	5

QBE Ändern

Setze Semesterzahl von Feuerbach auf 3:

Studenten	MatrNr	Name	Semester
		Feuerbach	u. 3

QBE Löschen

Entferne Sokrates und seine Vorlesungen:

Professoren	PersNr	Name	Rang	Raum
d.	_x	Sokrates		

Vorlesungen	VorlNr	Titel	SWS	gelesenVon
d.	_y			_x

hören	VorlNr	MatrNr
d.	_y	

SQL

Die Namen der Studenten,
die 4-stündige Vorlesungen hören
(d.h. mindestens eine):

```
select s.name
from   studenten s, hoeren h, vorlesungen v
where  s.matrnr = h.matrnr
and    h.vorlnr = v.vorlnr
and    v.sws     = 4
```

Relationaler Tupelkalkül

Die Namen der Studenten,
die jeweils alle 4-stündige Vorlesungen hören:

$$\{ s.name \mid s \in \textit{Studenten} \wedge \forall v \in \textit{Vorlesungen} \\ (v.SWS=4 \Rightarrow \exists h \in \textit{hören} \\ (h.VorlNr = v.VorlNr \wedge h.MatrNr = s.MatrNr)) \}$$

Äquivalenzen

$$A \Rightarrow B$$

$$\neg A \vee B$$

$$\neg (A \vee B)$$

$$\neg A \wedge \neg B$$

$$\forall t \in R(P(t))$$

$$\neg (\exists t \in R(\neg P(t)))$$

Relationaler Tupelkalkül

Die Namen der Studenten,
die jeweils alle 4-stündigen Vorlesungen hören:

$\{ s.name \mid s \in \text{Studenten} \wedge \forall v \in \text{Vorlesungen}$

$\{ s.name \mid s \in \text{Studenten} \wedge \neg (\exists v \in \text{Vorlesungen}$

$(v.SWS=4 \Rightarrow \exists h \in \text{hoeren}$

$\neg (v.SWS=4 \Rightarrow \exists h \in \text{hoeren}$

$\neg (\neg v.SWS=4 \vee \exists h \in \text{hoeren}$

$(v.SWS=4 \wedge \neg \exists h \in \text{hoeren}$

$(h.VorlNr = v.VorlNr \wedge h.MatrNr = s.MatrNr)) \}$

$(h.VorlNr = v.VorlNr \wedge h.MatrNr = s.MatrNr)) \}$

SQL

Die Namen der Studenten,
die jeweils alle 4-stündige Vorlesungen hören:

$$\{ s.name \mid s \in \textit{Studenten} \wedge \neg (\exists v \in \textit{Vorlesungen} \\ (v.SWS=4 \wedge \neg \exists h \in \textit{hoeren} \\ (h.VorlNr = v.VorlNr \wedge h.MatrNr = s.MatrNr))) \}$$

```
select s.name from Studenten s
where not exists
  (select * from Vorlesungen v
   where sws=4 and not exists
     (select * from hoeren h
      where h.vorlnr = v.vorlnr
        and h.matrnr = s.matrnr))
```

MySQLWorkbench