

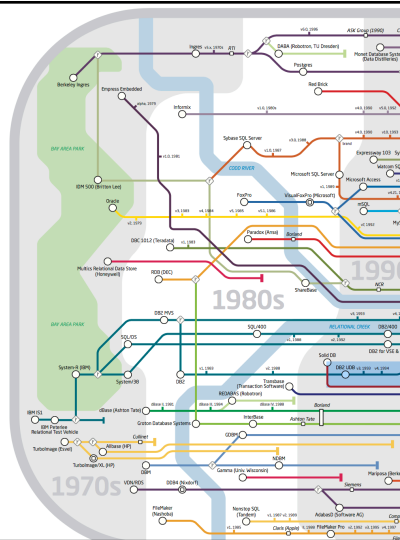
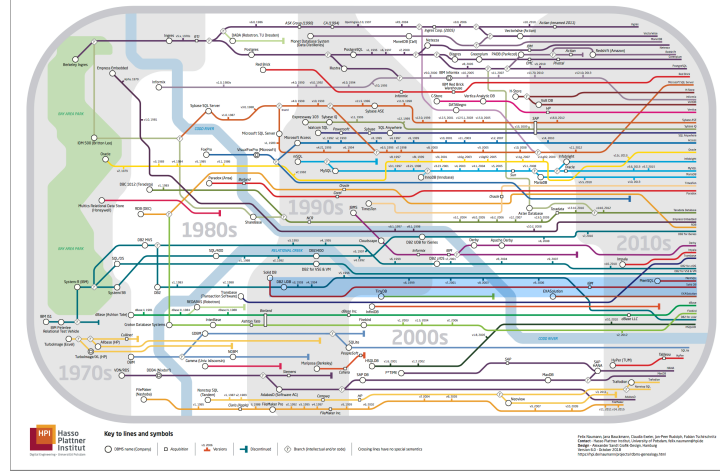
Historische Entwicklung relationaler DBMS



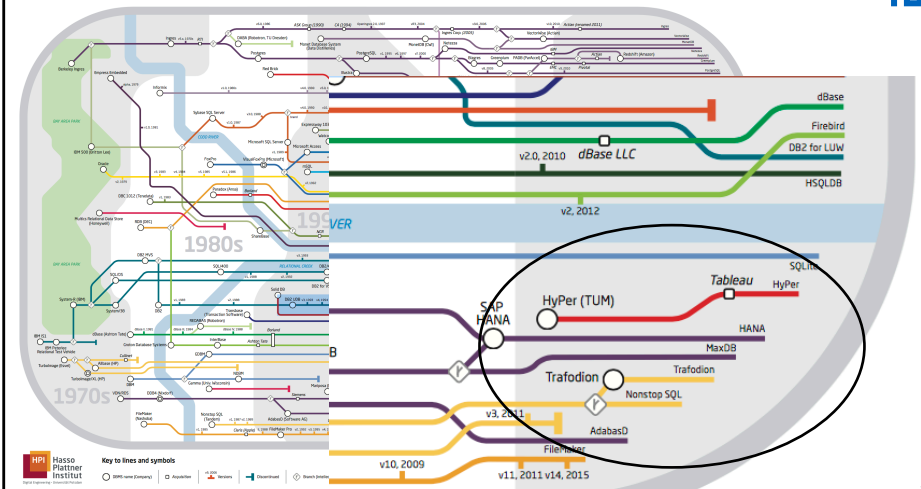
Ted Codd: A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks, Comm. ACM, Juni 1970, S. 377–387



Genealogy of Relational Database Management Systems



Genealogy of Relational Database Management Systems



Grundlagen des relationalen Modells

Seien D_1, D_2, \dots, D_n Domänen (~Wertebereiche)

Relation: $R \subseteq D_1 \times \dots \times D_n$ Teilmenge des Kreuzprodukts

Bsp.: $Telefonbuch \subseteq string \times string \times integer$

Name X Adresse X Telefon#

Tupel: $t \in R$

Bsp.: $t = („Mickey Mouse“, „Main Street“, 4711)$

Schema: legt die Struktur der gespeicherten Daten fest

Bsp.:

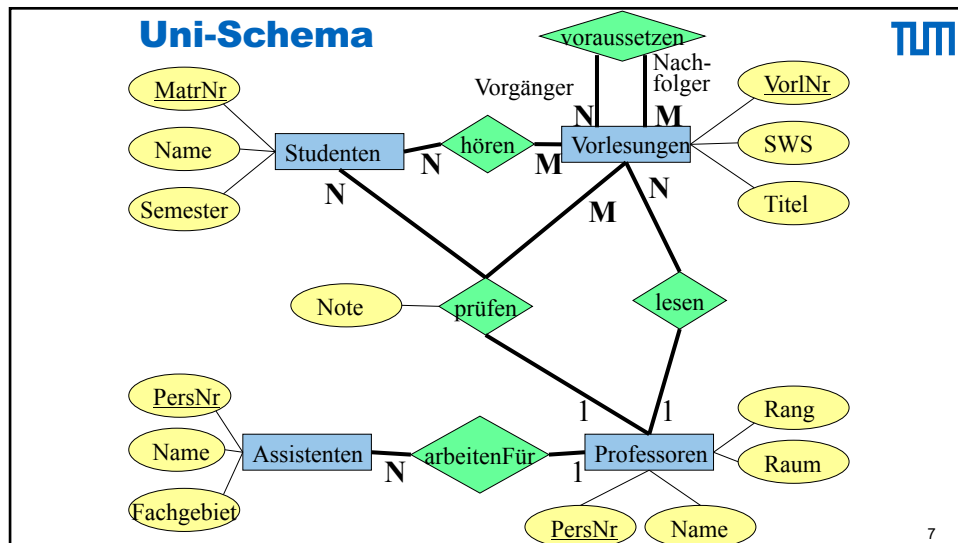
$Telefonbuch: \{[Name: string, Adresse: string, \underline{Telefon#}: integer]\}$

5

| Telefonbuch | | |
|--------------|-------------|----------|
| Name | Straße | Telefon# |
| Mickey Mouse | Main Street | 4711 |
| Minnie Mouse | Broadway | 94725 |
| Donald Duck | Broadway | 95672 |
| ... | ... | ... |

- **Ausprägung:** der aktuelle Zustand der Datenbasis
- **Schlüssel:** minimale Menge von Attributen, deren Werte ein Tupel eindeutig identifizieren
- **Primärschlüssel:** wird unterstrichen
 - Einer der Schlüsselkandidaten wird als Primärschlüssel ausgewählt
 - Hat eine besondere Bedeutung bei der Referenzierung von Tupeln

6



Relationale Darstellung von Entity-Typen

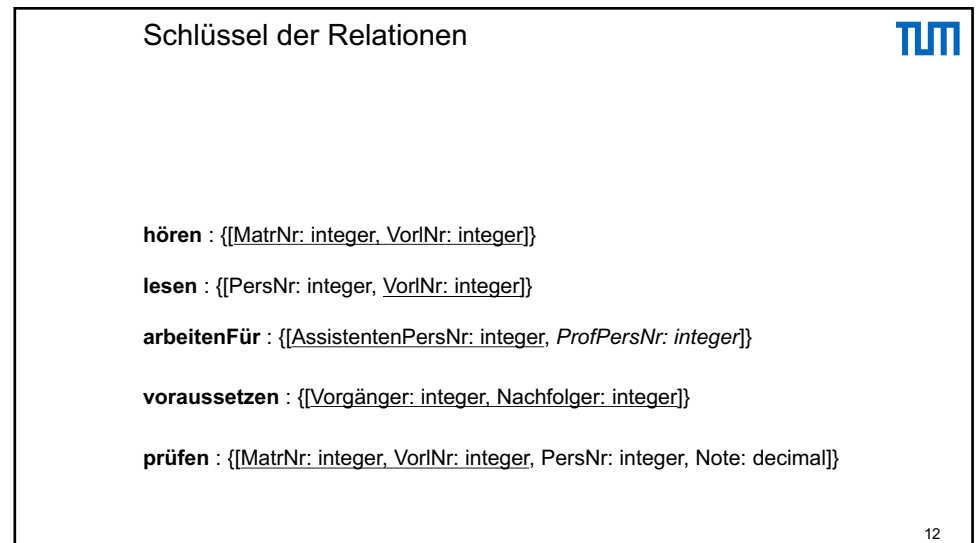
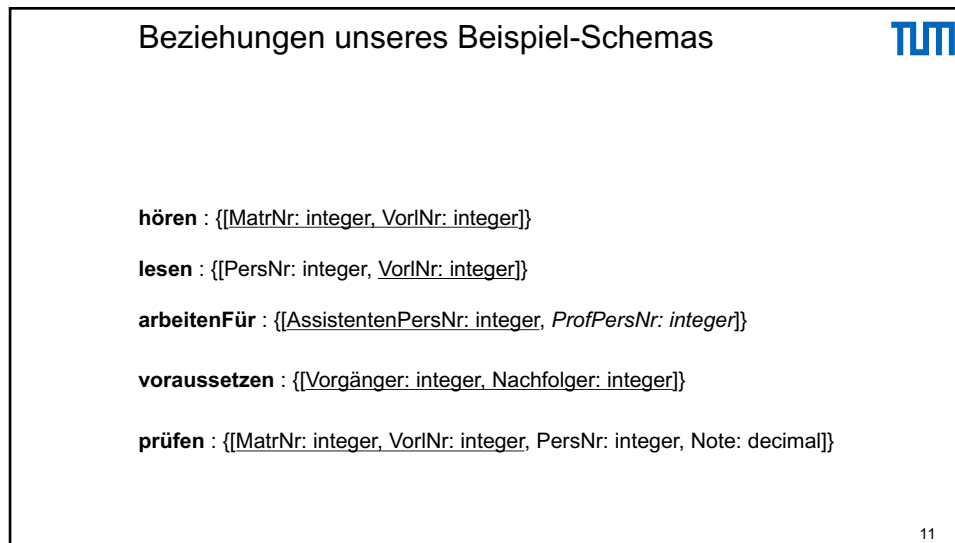
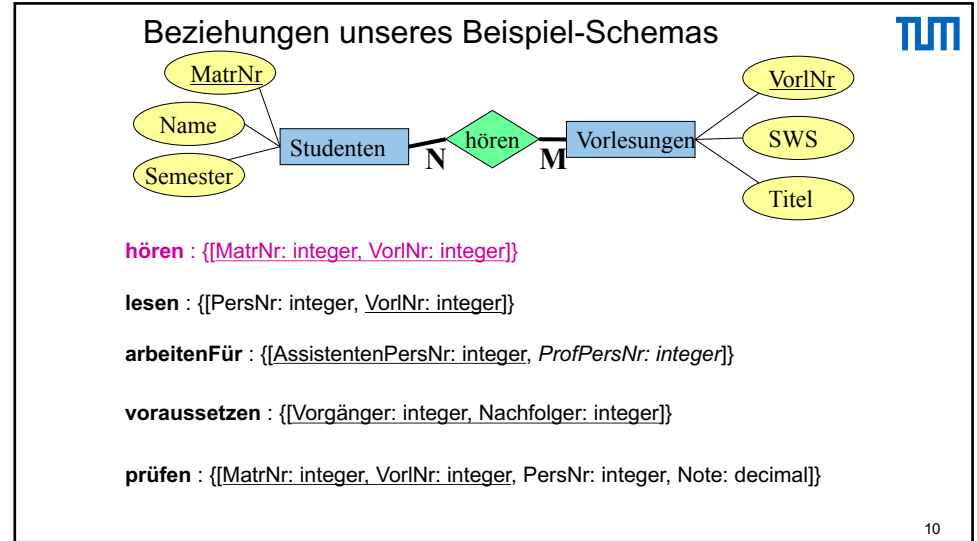
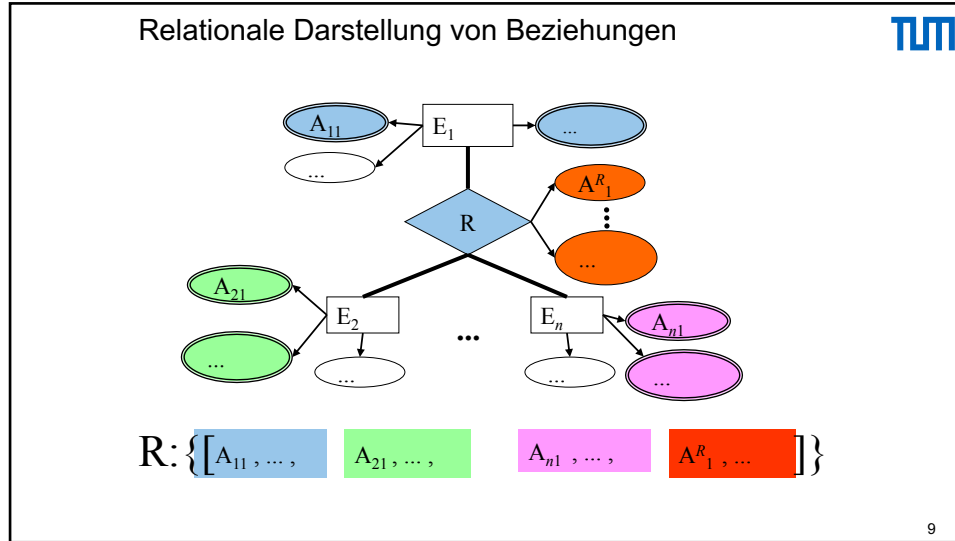
Studenten: $\{[MatrNr: integer, Name: string, Semester: integer]\}$

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

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

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

8



Ausprägung der Beziehung hören

| Studenten | |
|-----------|-----|
| MatrNr | ... |
| 26120 | ... |
| 27550 | ... |
| ... | ... |

| hören | |
|--------|--------|
| MatrNr | VorlNr |
| 26120 | 5001 |
| 27550 | 5001 |
| 27550 | 4052 |
| 28106 | 5041 |
| 28106 | 5052 |
| 28106 | 5216 |
| 28106 | 5259 |
| 29120 | 5001 |
| 29120 | 5041 |
| 29120 | 5049 |
| 29555 | 5022 |
| 25403 | 5022 |
| 29555 | 5001 |

| Vorlesungen | |
|-------------|-----|
| VorlNr | ... |
| 5001 | ... |
| 4052 | ... |
| ... | ... |

13

Verfeinerung des relationalen Schemas

1:N-Beziehung: Initial-Entwurf

- **Vorlesungen** : {[VorlNr, Titel, SWS]}
- **Professoren** : {[PersNr, Name, Rang, Raum]}
- **lesen** : {[VorlNr, PersNr]}

14

Verfeinerung des relationalen Schemas

1:N-Beziehung
Initial-Entwurf

Vorlesungen : {[VorlNr, Titel, SWS]}

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

lesen : {[VorlNr, PersNr]}

Verfeinerung durch Zusammenfassung

Vorlesungen : {[VorlNr, Titel, SWS, **gelesenVon**]}

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

Regel
Relationen mit gleichem Schlüssel kann man zusammenfassen aber nur diese und keine anderen!

15

Ausprägung von Professoren und Vorlesungen

| 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 |

| Vorlesungen | | | |
|-------------|----------------------|-----|-------------|
| VorlNr | Titel | SWS | Gelesen Von |
| 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 |

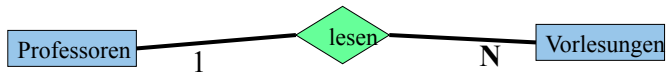
16

Vorsicht: So geht es NICHT



| Professoren | | | | |
|-------------|------------|------|------|-------|
| PersNr | Name | Rang | Raum | liest |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | 5041 |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | 5049 |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | 4052 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 2134 | Augustinus | C3 | 309 | 5022 |
| 2136 | Curie | C4 | 36 | ?? |

| Vorlesungen | | |
|-------------|----------------------|-----|
| VorNr | Titel | SWS |
| 5001 | Grundzüge | 4 |
| 5041 | Ethik | 4 |
| 5043 | Erkenntnistheorie | 3 |
| 5049 | Mäeutik | 2 |
| 4052 | Logik | 4 |
| 5052 | Wissenschaftstheorie | 3 |
| 5216 | Bioethik | 2 |
| 5259 | Der Wiener Kreis | 2 |
| 5022 | Glaube und Wissen | 2 |
| 4630 | Die 3 Kritiken | 4 |



17

Vorsicht: So geht es NICHT:



Folgen → Anomalien

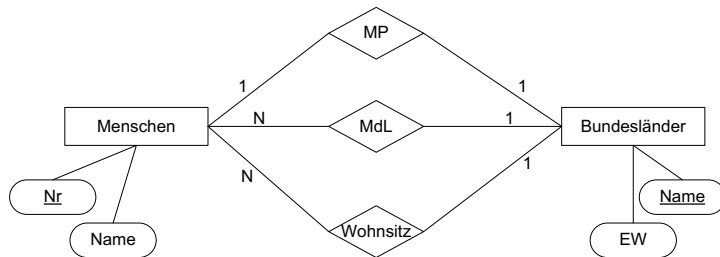
| Professoren | | | | |
|-------------|------------|------|------|-------|
| PersNr | Name | Rang | Raum | liest |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | 5041 |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | 5049 |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | 4052 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 2134 | Augustinus | C3 | 309 | 5022 |
| 2136 | Curie | C4 | 36 | ?? |

| Vorlesungen | | |
|-------------|----------------------|-----|
| VorNr | Titel | SWS |
| 5001 | Grundzüge | 4 |
| 5041 | Ethik | 4 |
| 5043 | Erkenntnistheorie | 3 |
| 5049 | Mäeutik | 2 |
| 4052 | Logik | 4 |
| 5052 | Wissenschaftstheorie | 3 |
| 5216 | Bioethik | 2 |
| 5259 | Der Wiener Kreis | 2 |
| 5022 | Glaube und Wissen | 2 |
| 4630 | Die 3 Kritiken | 4 |

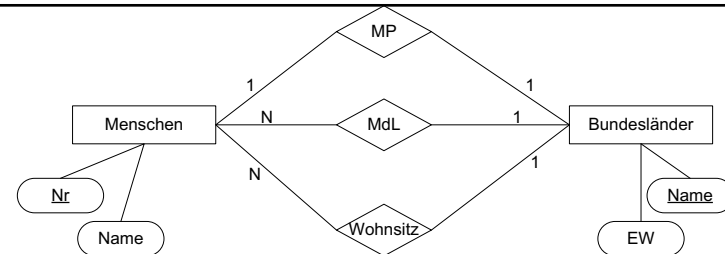
Update-Anomalie: Was passiert wenn Sokrates umzieht
 Löschanomalie: Was passiert wenn „Glaube und Wissen“ wegfällt
 Einfügeanomalie: Curie ist neu und liest noch keine Vorlesungen

18

Vermeidung von Null-Werten

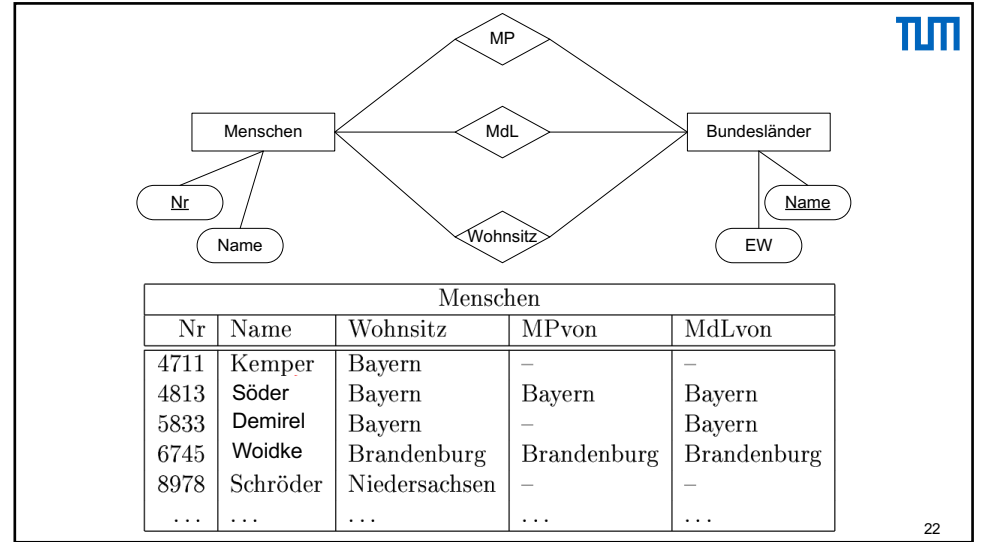
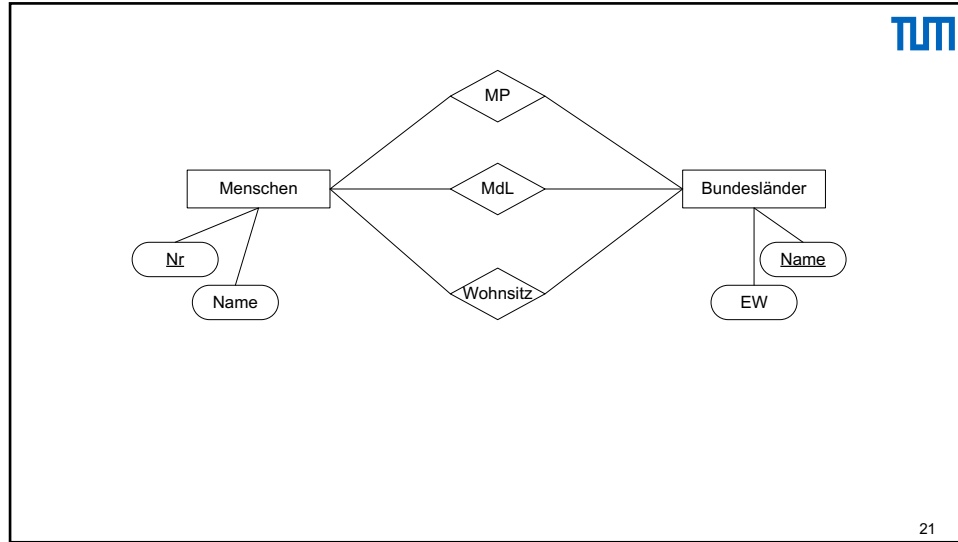


19



| Menschen | | | | |
|----------|----------|---------------|-------------|-------------|
| Nr | Name | Wohnsitz | MPvon | MdLvon |
| 4711 | Kemper | Bayern | - | - |
| 4813 | Söder | Bayern | Bayern | Bayern |
| 5833 | Demirel | Bayern | - | Bayern |
| 6745 | Woidke | Brandenburg | Brandenburg | Brandenburg |
| 8978 | Schröder | Niedersachsen | - | - |
| ... | ... | ... | ... | ... |

20



- Der *Wohnsitz* kann als Fremdschlüssel in der Entity-Relation *Menschen* bleiben.
- Die Beziehung *MP* modelliert man am besten als Fremdschlüssel in *Bundesländer*, da alle Bundesländer *einen* MP haben.
- Die Beziehung *MdL* repräsentiert man als eigenständige Relation mit den Fremdschlüsseln *Nr* auf *Menschen* und *Bundesland* auf *Bundesländer*.

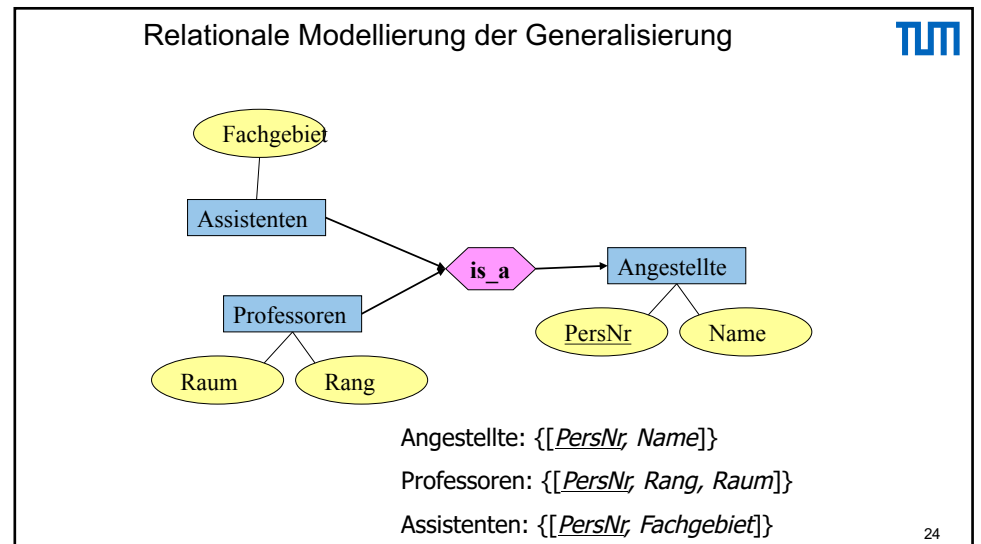
Nachfolgend sind die revidierten Relationenschemata mit den resultierenden Beispieldaten gezeigt:

| Menschen | | | MdL | |
|----------|----------|---------------|------|-------------|
| Nr | Name | Wohnsitz | Nr | Bundesland |
| 4711 | Kemper | Bayern | 4813 | Bayern |
| 4813 | Söder | Bayern | 5833 | Bayern |
| 5833 | Demirel | Bayern | 6745 | Brandenburg |
| 6745 | Woidke | Brandenburg | ... | ... |
| 8978 | Schröder | Niedersachsen | | |
| ... | ... | ... | | |

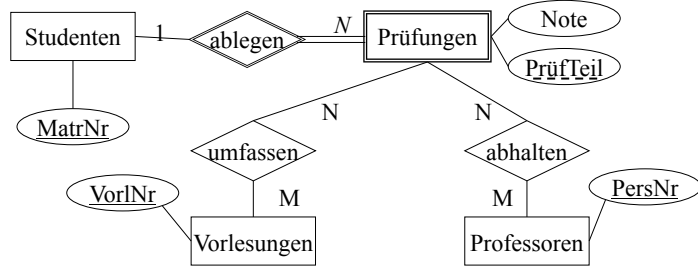
| Bundesländer | | |
|--------------|----------|------|
| Name | EW | MP |
| Bayern | 12443893 | 4813 |
| Brandenburg | 2562946 | 6745 |
| ... | ... | ... |

TUM

23



Relationale Modellierung schwacher Entitytypen



```

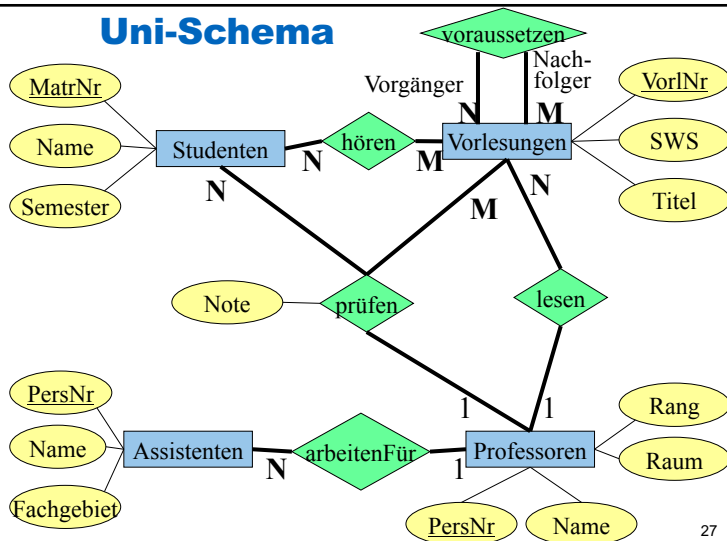
Prüfungen: {[MatrNr: integer, PrüfTeil: string, Note: integer]}
umfassen: {[MatrNr: integer, PrüfTeil: string, VorlNr: integer]}
abhalten: {[MatrNr: integer, PrüfTeil: string, PersNr: integer]}
    
```

Fremdschlüssel auf ein schwaches Entity



Man beachte, dass in diesem Fall der (global eindeutige) Schlüssel der Relation *Prüfungen* nämlich *MatrNr* und *PrüfTeil* als Fremdschlüssel in die Relationen *umfassen* und *abhalten* übernommen werden muss.

Uni-Schema



| 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 |

| 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 |

| Vorlesungen | | | |
|-------------|----------------------|-----|-------------|
| VorlNr | Titel | SWS | gelesen von |
| 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 |

| voraussetzen | |
|--------------|------------|
| Vorgänger | Nachfolger |
| 5001 | 5041 |
| 5001 | 5043 |
| 5001 | 5049 |
| 5041 | 5216 |
| 5043 | 5052 |
| 5041 | 5052 |
| 5052 | 5259 |

| hören | |
|--------|--------|
| MatrNr | VorlNr |
| 26120 | 5001 |
| 27550 | 5001 |
| 27550 | 4052 |
| 28106 | 5041 |
| 28106 | 5052 |
| 28106 | 5216 |
| 28106 | 5259 |
| 29120 | 5001 |
| 29120 | 5041 |
| 29120 | 5049 |
| 29555 | 5022 |
| 25403 | 5022 |

| prüfen | | | |
|--------|--------|--------|------|
| MatrNr | VorlNr | PersNr | Note |
| 28106 | 5001 | 2126 | 1 |
| 25403 | 5041 | 2125 | 2 |
| 27550 | 4630 | 2137 | 2 |

| 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 | 2126 |



Die relationale Uni-DB

Die relationale Algebra TUM

- σ Selektion
- π Projektion
- × Kreuzprodukt
- ⋈ Join (Verbund)
- ρ Umbenennung
- − Mengendifferenz
- ÷ Division
- ∪ Vereinigung
- ∩ Mengendurchschnitt
- ⋉ Semi-Join (linkes Argument wird gefiltert)
- ⋊ Semi-Join (rechtes Argument wird gefiltert)
- ⋈⋈ linker äußerer Join
- ⋈⋊ rechter äußerer Join
- ⋈⋈⋈ (voller) äußerer Join

29

Die relationalen Algebra-Operatoren TUM

Selektion

σ_{Semester > 10} (Studenten)

| MatrNr | Name | Semester |
|--------|------------|----------|
| 24002 | Xenokrates | 18 |
| 25403 | Jonas | 12 |

Projektion

Π_{Rang}(Professoren)

| Rang |
|------|
| C4 |
| C3 |

30

Die relationalen Algebra-Operatoren TUM

Kartesisches Produkt Professoren x hören

| 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 |

- Problem: riesige Zwischenergebnisse
- Beispiel: (Professoren x hören)
- "bessere" Operation: Join (siehe unten)

31

Die relationalen Algebra-Operatoren TUM

Umbenennung

Umbenennung von Relationen
 Beispiel: Ermittlung indirekter Vorgänger 2. Stufe der Vorlesung 5216

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

Umbenennung von Attributen

$\rho_{Voraussetzung \leftarrow Vorgänger}(voraussetzen)$

32

Formale Definition der Algebra TUM

Basisausdrücke
 Relation der Datenbank oder
 konstante Relationen

Operationen
 Selektion: $\sigma_p(E_1)$
 Projektion: $\Pi_S(E_1)$
 Kartesisches Produkt: $E_1 \times E_2$
 Umbenennung: $\rho_V(E_1), \rho_{A \leftarrow B}(E_1)$
 Vereinigung: $E_1 \cup E_2$
 Differenz: $E_1 - E_2$

33

Der natürliche Verbund (Join) TUM

Gegeben seien:

- $R(A_1, \dots, A_m, B_1, \dots, B_k)$
- $S(B_1, \dots, B_k, C_1, \dots, C_n)$

$R \bowtie S = \Pi_{A_1, \dots, A_m, R.B_1, \dots, R.B_k, C_1, \dots, C_n}(\sigma_{R.B_1=S.B_1 \wedge \dots \wedge R.B_k=S.B_k}(R \times S))$

| R ⋈ S | | | | | | | | | | | |
|----------------|----------------|-----|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|
| R - S | | | | R ∩ S | | | | S - R | | | |
| A ₁ | A ₂ | ... | A _m | B ₁ | B ₂ | ... | B _k | C ₁ | C ₂ | ... | C _n |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |

34

Drei-Wege-Join TUM

(Studenten ⋈ hören) ⋈ Vorlesungen

| (Studenten ⋈ hören) ⋈ Vorlesungen | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|----------|-------|----------------------|-----|------------|
| MatrNr | Name | Semester | VorNr | Titel | SWS | gelesenVon |
| 26120 | Fichte | 10 | 5001 | Grundzüge | 4 | 2137 |
| 27550 | Jonas | 12 | 5022 | Glaube und Wissen | 2 | 2134 |
| 28106 | Carnap | 3 | 4052 | Wissenschaftstheorie | 3 | 2126 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

35

Allgemeiner Join (Theta-Join) TUM

Gegeben seien folgende Relationen(-Schemata)

- $R(A_1, \dots, A_n)$ und
- $S(B_1, \dots, B_m)$

$R \bowtie_{\theta} S = \sigma_{\theta}(R \times S)$

| R ⋈ _θ S | | | | | | | |
|--------------------|----------------|-----|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|
| R | | | | S | | | |
| A ₁ | A ₂ | ... | A _n | B ₁ | B ₂ | ... | B _m |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |

36

TUM

Andere Join-Arten

- natürlicher Join

| L | | |
|----------------|----------------|----------------|
| A | B | C |
| a ₁ | b ₁ | c ₁ |
| a ₂ | b ₂ | c ₂ |

 \bowtie

| R | | |
|----------------|----------------|----------------|
| C | D | E |
| c ₁ | d ₁ | e ₁ |
| c ₃ | d ₂ | e ₂ |

 $=$

| Resultat | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A | B | C | D | E |
| a ₁ | b ₁ | c ₁ | d ₁ | e ₁ |

- linker äußerer Join

| L | | |
|----------------|----------------|----------------|
| A | B | C |
| a ₁ | b ₁ | c ₁ |
| a ₂ | b ₂ | c ₂ |

 \bowtie

| R | | |
|----------------|----------------|----------------|
| C | D | E |
| c ₁ | d ₁ | e ₁ |
| c ₃ | d ₂ | e ₂ |

 $=$

| Resultat | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A | B | C | D | E |
| a ₁ | b ₁ | c ₁ | d ₁ | e ₁ |
| a ₂ | b ₂ | c ₂ | - | - |

37

TUM

- rechter äußerer Join

| L | | |
|----------------|----------------|----------------|
| A | B | C |
| a ₁ | b ₁ | c ₁ |
| a ₂ | b ₂ | c ₂ |

 \bowtie

| R | | |
|----------------|----------------|----------------|
| C | D | E |
| c ₁ | d ₁ | e ₁ |
| c ₃ | d ₂ | e ₂ |

 $=$

| Resultat | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A | B | C | D | E |
| a ₁ | b ₁ | c ₁ | d ₁ | e ₁ |
| - | - | c ₃ | d ₂ | e ₂ |

38

TUM

Andere Join-Arten

- äußerer Join

| L | | |
|----------------|----------------|----------------|
| A | B | C |
| a ₁ | b ₁ | c ₁ |
| a ₂ | b ₂ | c ₂ |

 \bowtie

| R | | |
|----------------|----------------|----------------|
| C | D | E |
| c ₁ | d ₁ | e ₁ |
| c ₃ | d ₂ | e ₂ |

 $=$

| Resultat | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 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 |

- Semi-Join von L mit R

| L | | |
|----------------|----------------|----------------|
| A | B | C |
| a ₁ | b ₁ | c ₁ |
| a ₂ | b ₂ | c ₂ |

 \times

| R | | |
|----------------|----------------|----------------|
| C | D | E |
| c ₁ | d ₁ | e ₁ |
| c ₃ | d ₂ | e ₂ |

 $=$

| Resultat | | |
|----------------|----------------|----------------|
| A | B | C |
| a ₁ | b ₁ | c ₁ |

39

TUM

Andere Join-Arten (Forts.)

- Semi-Join von R mit L

| L | | |
|----------------|----------------|----------------|
| A | B | C |
| a ₁ | b ₁ | c ₁ |
| a ₂ | b ₂ | c ₂ |

 \times

| R | | |
|----------------|----------------|----------------|
| C | D | E |
| c ₁ | d ₁ | e ₁ |
| c ₃ | d ₂ | e ₂ |

 $=$

| Resultat | | |
|----------------|----------------|----------------|
| C | D | E |
| c ₁ | d ₁ | e ₁ |

40

Andere Join-Arten (Forts.)



- Anti-Semi-Join von L mit R

| L | | | R | | | Resultat | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A | B | C | C | D | E | A | B | C |
| a ₁ | b ₁ | c ₁ | c ₁ | d ₁ | e ₁ | a ₂ | b ₂ | c ₂ |
| a ₂ | b ₂ | c ₂ | c ₃ | d ₂ | e ₂ | | | |

41



42

Die relationale Division



Bsp.: Finde MatrNr der Studenten, die **alle** vierstündigen Vorlesungen hören

$$L := \Pi_{\text{VorNr}}(\sigma_{\text{SWS}=4}(\text{Vorlesungen}))$$

$$\text{hören} \div \underbrace{\Pi_{\text{VorNr}}(\sigma_{\text{SWS}=4}(\text{Vorlesungen}))}_L$$

43

Definition der Division



$t \in R \div S$, falls für jedes $ts \in S$ ein $tr \in R$ existiert, so dass gilt:

- $tr.S = ts.S$
- $tr.(R-S) = t$

| R | | ÷ | S | | = | R ÷ S | |
|----------------|----------------|---|----------------|---|----------------|-------|--|
| M | V | | V | M | | | |
| m ₁ | v ₁ | | v ₁ | | m ₁ | | |
| m ₁ | v ₂ | | v ₂ | | | | |
| m ₁ | v ₃ | | v ₃ | | | | |
| m ₂ | v ₂ | | | | | | |
| m ₂ | v ₃ | | | | | | |

Die Division $R \div S$ kann auch durch Differenz, Kreuzprodukt und Projektion ausgedrückt werden.

$$R \div S = \Pi_{(R-S)}(R) - \Pi_{(R-S)}((\Pi_{(R-S)}(R) \times S) - R)$$

44

Mengendurchschnitt



Als Beispielanwendung für den Mengendurchschnitt (Operatorsymbol \cap) betrachten wir folgende Anfrage: Finde die *PersNr* aller C4-Professoren, die mindestens eine Vorlesung halten.

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

Mengendurchschnitt nur auf zwei Argumentrelationen mit gleichem Schema anwendbar

Deshalb ist die Umbenennung des Attribute *gelesenVon* in *PersNr* in der Relation *Vorlesungen* notwendig

Der Mengendurchschnitt zweier Relationen $R \cap S$ kann durch die Mengendifferenz wie folgt ausgedrückt werden:

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



| 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 |

| 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 |

| Vorlesungen | | | |
|-------------|----------------------|-----|-------------|
| VorNr | Titel | SWS | gelesen von |
| 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 |

| voraussetzen | |
|--------------|------------|
| Vorgänger | Nachfolger |
| 5001 | 5041 |
| 5001 | 5043 |
| 5001 | 5049 |
| 5041 | 5216 |
| 5043 | 5052 |
| 5041 | 5052 |
| 5052 | 5259 |

| hören | |
|--------|-------|
| MatrNr | VorNr |
| 26120 | 5001 |
| 27550 | 5001 |
| 27550 | 4052 |
| 28106 | 5041 |
| 28106 | 5052 |
| 28106 | 5216 |
| 28106 | 5259 |
| 29120 | 5001 |
| 29120 | 5041 |
| 29120 | 5049 |
| 29555 | 5022 |
| 25403 | 5022 |

| prüfen | | | |
|--------|-------|--------|------|
| MatrNr | VorNr | PersNr | Note |
| 28106 | 5001 | 2126 | 1 |
| 25403 | 5041 | 2125 | 2 |
| 27550 | 4630 | 2137 | 2 |

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

Mengendurchschnitt



| 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 |

| 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 |

| Vorlesungen | | | |
|-------------|----------------------|-----|-------------|
| VorNr | Titel | SWS | gelesen von |
| 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 |

| voraussetzen | |
|--------------|------------|
| Vorgänger | Nachfolger |
| 5001 | 5041 |
| 5001 | 5043 |
| 5001 | 5049 |
| 5041 | 5216 |
| 5043 | 5052 |
| 5041 | 5052 |
| 5052 | 5259 |

| hören | |
|--------|-------|
| MatrNr | VorNr |
| 26120 | 5001 |
| 27550 | 5001 |
| 27550 | 4052 |
| 28106 | 5041 |
| 28106 | 5052 |
| 28106 | 5216 |
| 28106 | 5259 |
| 29120 | 5001 |
| 29120 | 5041 |
| 29120 | 5049 |
| 29555 | 5022 |
| 25403 | 5022 |

| prüfen | | | |
|--------|-------|--------|------|
| MatrNr | VorNr | PersNr | Note |
| 28106 | 5001 | 2126 | 1 |
| 25403 | 5041 | 2125 | 2 |
| 27550 | 4630 | 2137 | 2 |

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

| LieblingsProfs | |
|----------------|--------|
| MatrNr | PersNr |
| 26120 | 2125 |
| 27550 | 2134 |
| 26120 | 2137 |
| ... | ... |
| ... | ... |
| ... | ... |

Gruppierung und Aggregation



(geht über die klassische Algebra hinaus – mehr als syntaktischer Zucker)

$$\gamma_{\text{Semester}; \text{count}(*)}(\text{Studenten})$$

| $\gamma_{\text{Semester}; \text{count}(*)}(\text{Studenten})$ | |
|---|----------|
| Semester | count(*) |
| 18 | 1 |
| 12 | 1 |
| 10 | 1 |
| 8 | 1 |
| 6 | 1 |
| 3 | 1 |
| 2 | 2 |

Aggregation & Gruppierung


 $\gamma_{\text{gelesenVon}; \text{count}(*), \text{sum}(\text{SWS})}(\text{Vorlesungen})$

| $\gamma_{\text{gelesenVon}; \text{count}(*), \text{sum}(\text{SWS})}(\text{Vorlesungen})$ | | |
|---|----------|----------|
| gelesenVon | count(*) | sum(SWS) |
| 2125 | 3 | 10 |
| 2126 | 3 | 8 |
| 2133 | 1 | 2 |
| 2134 | 1 | 2 |
| 2137 | 2 | 8 |

49

Der Relationenkalkül



Eine Anfrage im Relationenkalkül hat die Form

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

mit P(t) Formel.

Beispiele: C4-Professoren

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

Studenten mit mindestens einer Vorlesung von Curie

$$\{s \mid s \in \text{Studenten} \\ \wedge \exists h \in \text{hören}(s.\text{MatrNr}=h.\text{MatrNr} \\ \wedge \exists v \in \text{Vorlesungen}(h.\text{VorlNr}=v.\text{VorlNr} \\ \wedge \exists p \in \text{Professoren}(p.\text{PersNr}=v.\text{gelesenVon} \\ \wedge p.\text{Name} = \text{'Curie'}))\}$$

50

Dieselbe Anfrage in SQL ...



... belegt die Verwandtschaft

```
select s.*
from Studenten s
where exists (
  select h.*
  from hören h
  where h.MatrNr = s.MatrNr and exists (
    select *
    from Vorlesungen v
    where v.VorlNr = h.VorlNr and exists (
      select *
      from Professoren p
      where p.Name = 'Curie' and
            p.PersNr= v.gelesenVon )))
```

51

Allquantor



Wer hat **alle** vierstündigen Vorlesungen gehört

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

52

Definition des Tupelkalküls

**Atome**

$s \mid R$, mit s Tupelvariable und R Relationenname

$s.A \phi t.B$, mit s und t Tupelvariablen, A und B Attributnamen und ϕ Vergleichsoperator ($=, \neq, \leq, \dots$)

$s.A \phi c$ mit c Konstante

Formeln

Alle Atome sind Formeln

Ist P Formel, so auch $\neg P$ und (P)

Sind P_1 und P_2 Formeln, so auch $P_1 \wedge P_2$, $P_1 \vee P_2$ und $P_1 \Rightarrow P_2$

Ist $P(t)$ Formel mit freier Variable t , so auch

$$\forall t \in R(P(t)) \text{ und } \exists t \in R(P(t))$$

53

Sicherheit



Einschränkung auf Anfragen mit endlichem Ergebnis.

Die folgende Beispielanfrage

$$\{n \mid \neg (n \in \text{Professoren})\}$$

ist nicht sicher.

Das Ergebnis ist unendlich.

Bedingung: Ergebnis des Ausdrucks muss Teilmenge der Domäne der Formel sein.

Die Domäne einer Formel enthält

- alle in der Formel vorkommenden Konstanten
- alle Attributwerte von Relationen, die in der Formel referenziert werden

54

Der Domänenkalkül



Ein Ausdruck des Domänenkalküls hat die Form

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

mit v_1, \dots, v_n Domänenvariablen und P Formel.

Beispiel: MatrNr und Namen der Prüflinge von Curie

$$\{[m, n] \mid \exists s ([m, n, s] \in \text{Studenten} \wedge \exists v, p, g ([m, v, p, g] \in \text{prüfen} \wedge \exists a, r, b ([p, a, r, b] \in \text{Professoren} \wedge a = \text{'Curie'}))\}}$$

55

Prolog ~ Domänenkalkül



56

Sicherheit des Domänenkalküls



Sicherheit ist analog zum Tupelkalkül

Zum Beispiel ist

$\{[p,n,r,o] \mid \neg ([p,n,r,o] \in \text{Professoren})\}$
nicht sicher.

Ein Ausdruck

$\{[x_1, x_2, \dots, x_n] \mid P(x_1, x_2, \dots, x_n)\}$
ist sicher, falls folgende drei Bedingungen gelten:

57



1. Falls Tupel $[c_1, c_2, \dots, c_n]$ mit Konstante c_i im Ergebnis enthalten ist, so muss jedes c_i ($1 \leq i \leq n$) in der Domäne von P enthalten sein.
2. Für jede existenz-quantifizierte Teilformel $\exists x(P_1(x))$ muss gelten, dass P_1 nur für Elemente aus der Domäne von P_1 erfüllbar sein kann - oder evtl. für gar keine. Mit anderen Worten, wenn für eine Konstante c das Prädikat $P_1(c)$ erfüllt ist, so muss c in der Domäne von P_1 enthalten sein.
3. Für jede universal-quantifizierte Teilformel $\forall x(P_1(x))$ muss gelten, dass sie dann und nur dann erfüllt ist, wenn $P_1(x)$ für alle Werte der Domäne von P_1 erfüllt ist- Mit anderen Worten, $P_1(d)$ muss für alle d , die nicht in der Domäne von P_1 enthalten sind, auf jeden Fall erfüllt sein.

58

Ausdrucks kraft



Die drei Sprachen

1. relationale Algebra,
 2. relationaler Tupelkalkül, eingeschränkt auf sichere Ausdrücke und
 3. relationaler Domänenkalkül, eingeschränkt auf sichere Ausdrücke
- sind **gleich mächtig**

59

Zwei erweiterte Relationen: zum Üben bestens geeignet – sind auch auf der HyPer Webschnittstelle verfügbar



| ProfessorenF | | | | |
|--------------|------------|------|------|-------------|
| PersNr | Name | Rang | Raum | Fakultaet |
| 2125 | Sokrates | C4 | 226 | Philosophie |
| 2126 | Russel | C4 | 232 | Philosophie |
| 2127 | Kopernikus | C3 | 310 | Physik |
| 2133 | Popper | C3 | 52 | Philosophie |
| 2134 | Augustinus | C3 | 309 | Theologie |
| 2136 | Curie | C4 | 36 | Physik |
| 2137 | Kant | C4 | 7 | Philosophie |

| StudentenGF | | | | |
|-------------|--------------|----------|------------|-------------|
| MatrNr | Name | Semester | Geschlecht | Fakultaet |
| 24002 | Xenokrates | 18 | M | Philosophie |
| 25403 | Jonas | 12 | W | Theologie |
| 26120 | Fichte | 10 | W | Philosophie |
| 26830 | Aristoxenos | 8 | M | Philosophie |
| 27550 | Schopenhauer | 6 | M | Philosophie |
| 28106 | Carnap | 3 | W | Physik |
| 29120 | Theophrastos | 2 | M | Physik |
| 29555 | Feuerbach | 2 | W | Theologie |

60

Beispiel-Anfragen



- Welche Fakultät hat den höchsten Frauenanteil
- Wer hat nur Vorlesungen seiner/ihrer Fakultät gehört
- Wer hat 80% aller Vorlesungen seiner/ihrer Fakultät gehört
- Welche Professoren haben alle Studenten ihrer Fakultät unterrichtet
- ... Und vieles mehr (dann mglw. in der Klausur)