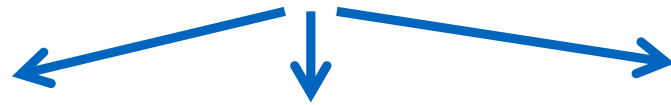


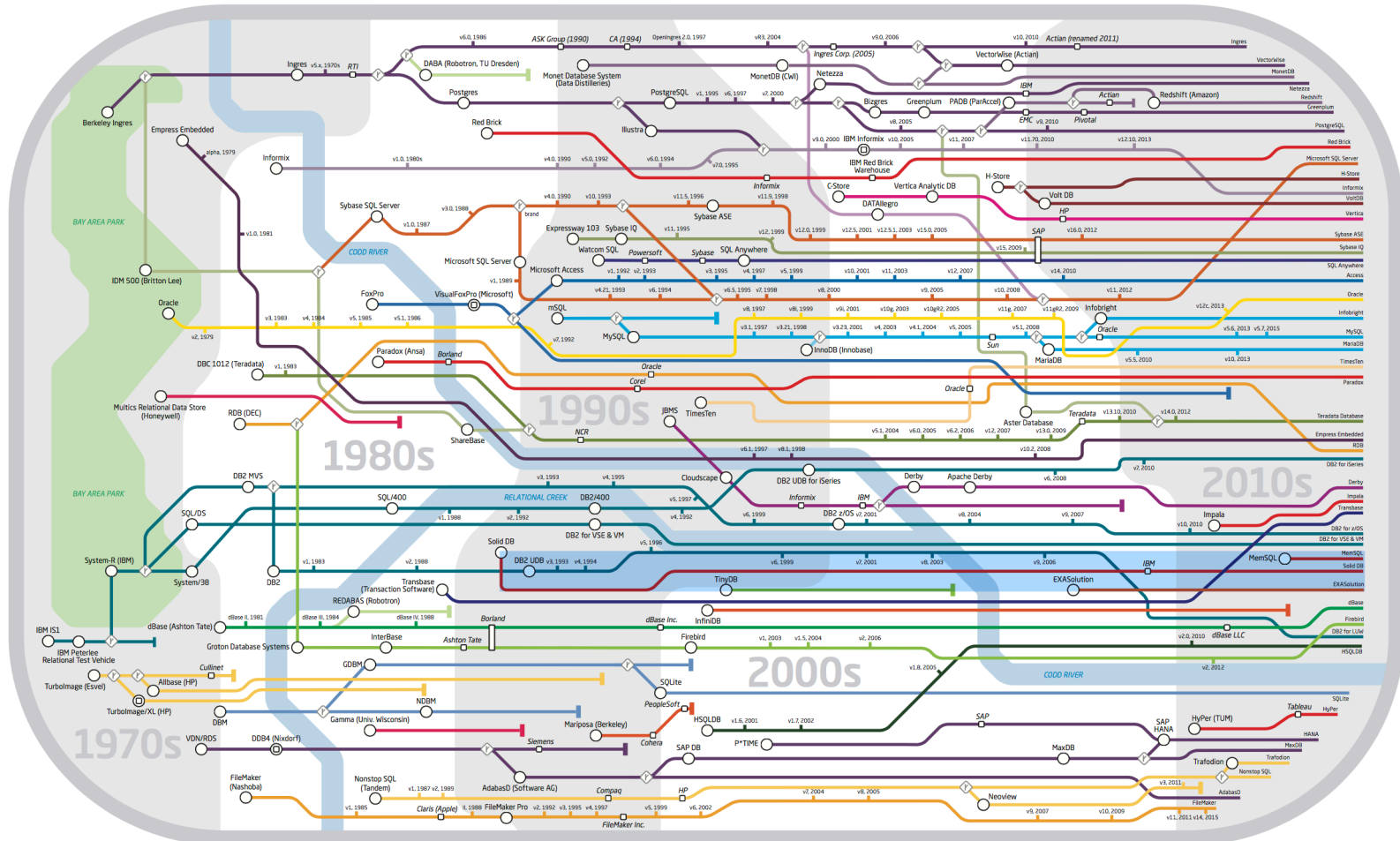
Historische Entwicklung relationaler DBMS



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

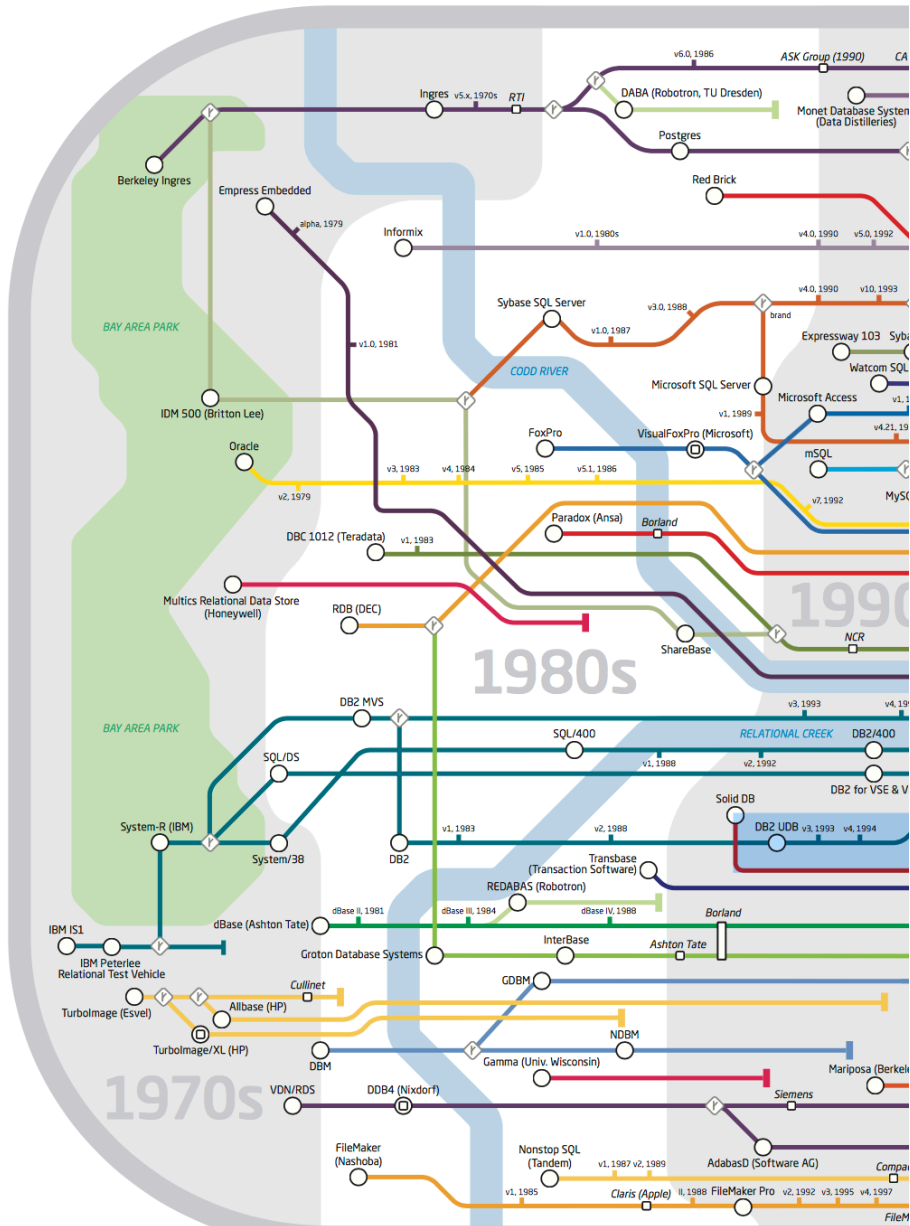


HPI Hasso Plattner Institut
Digital Engineering · Universität Potsdam

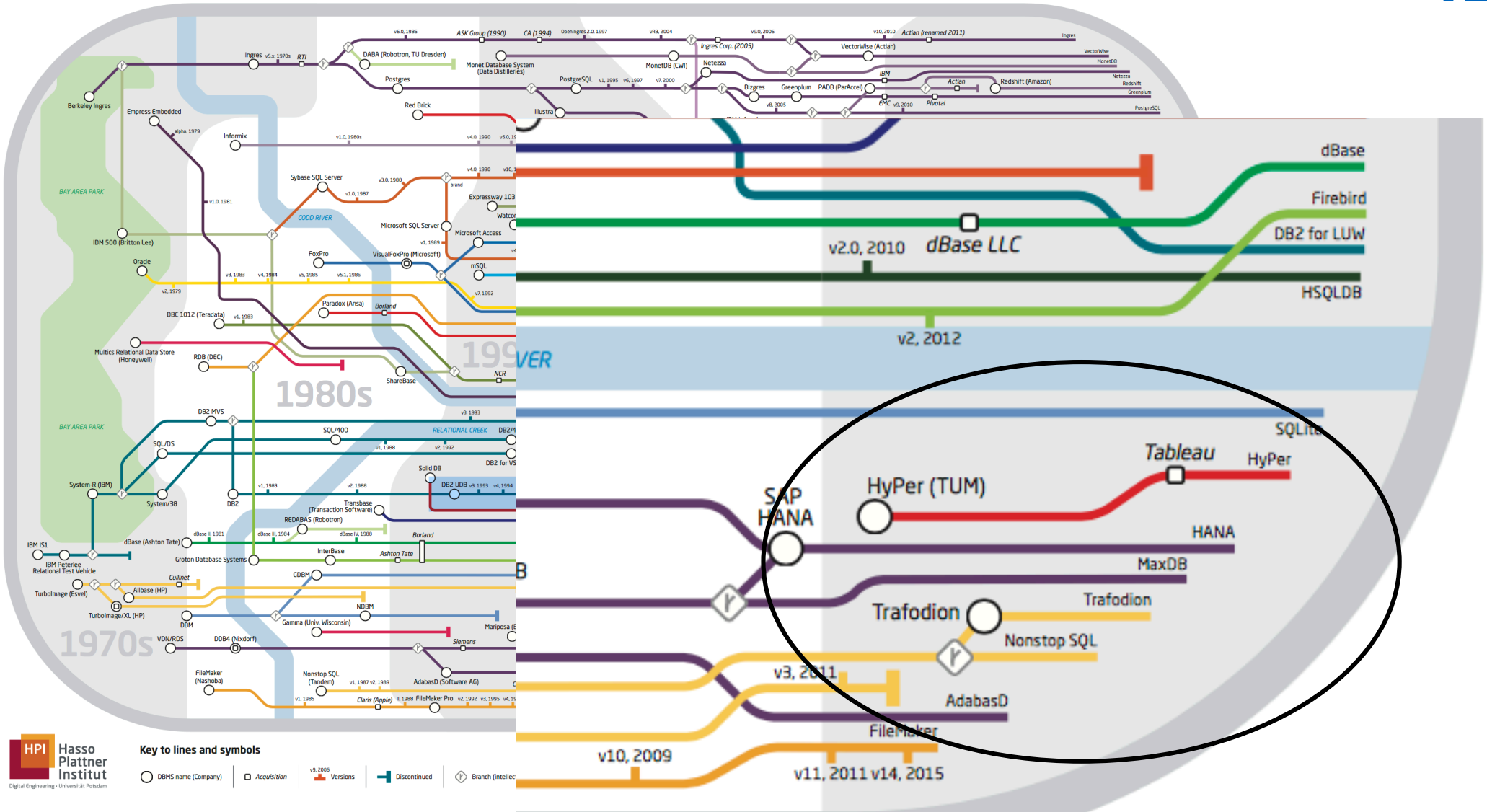
Key to lines and symbols

- DBMS name (Company)
- Acquisition
- ▲ Versions
- Discontinued
- ◇ Branch (intellectual and/or code)
- Crossing lines have no special semantics

Felix Naumann, Jana Bauckmann, Claudia Exeler, Jan-Peer Rudolph, Fabian Tschirschnitz
Contact - Hasso Plattner Institut, University of Potsdam, felix.naumann@hpi.de
Design - Alexander Sarati Grafik-Design, Hamburg
Version 6.0 - October 2018
<https://hpi.de/naumann/projects/rdbms-genealogy.html>



Genealogy of Relational Database Management Systems



Grundlagen des relationalen Modells

Seien D_1, D_2, \dots, D_n Domänen (\sim 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.: $t = (\text{„Mickey Mouse“}, \text{„Main Street“}, 4711)$

Schema: legt die Struktur der gespeicherten Daten fest

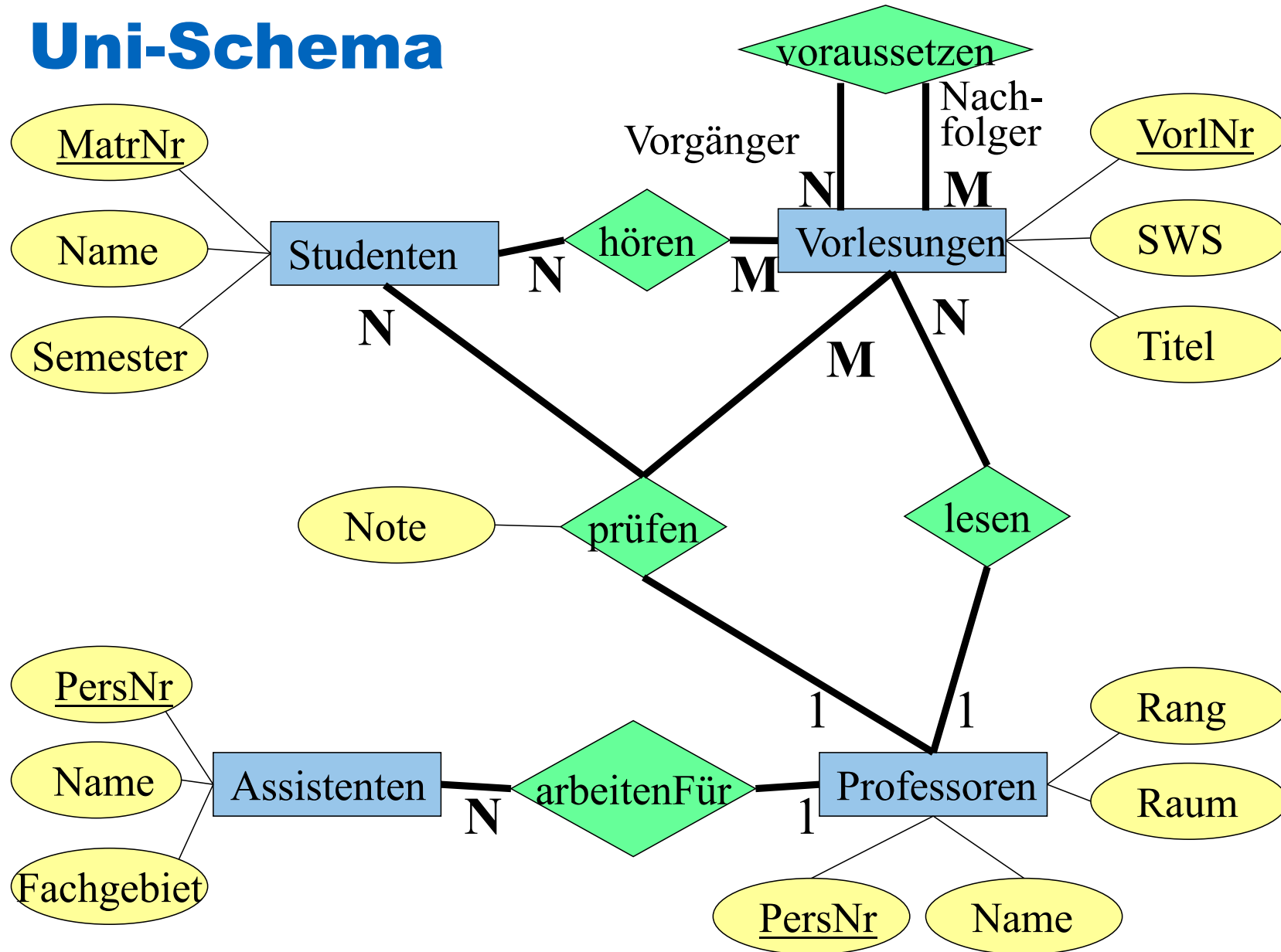
Bsp.:

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

Telefonbuch		
Name	Straße	<u>Telefon#</u>
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

Uni-Schema



Relationale Darstellung von Entity-Typen



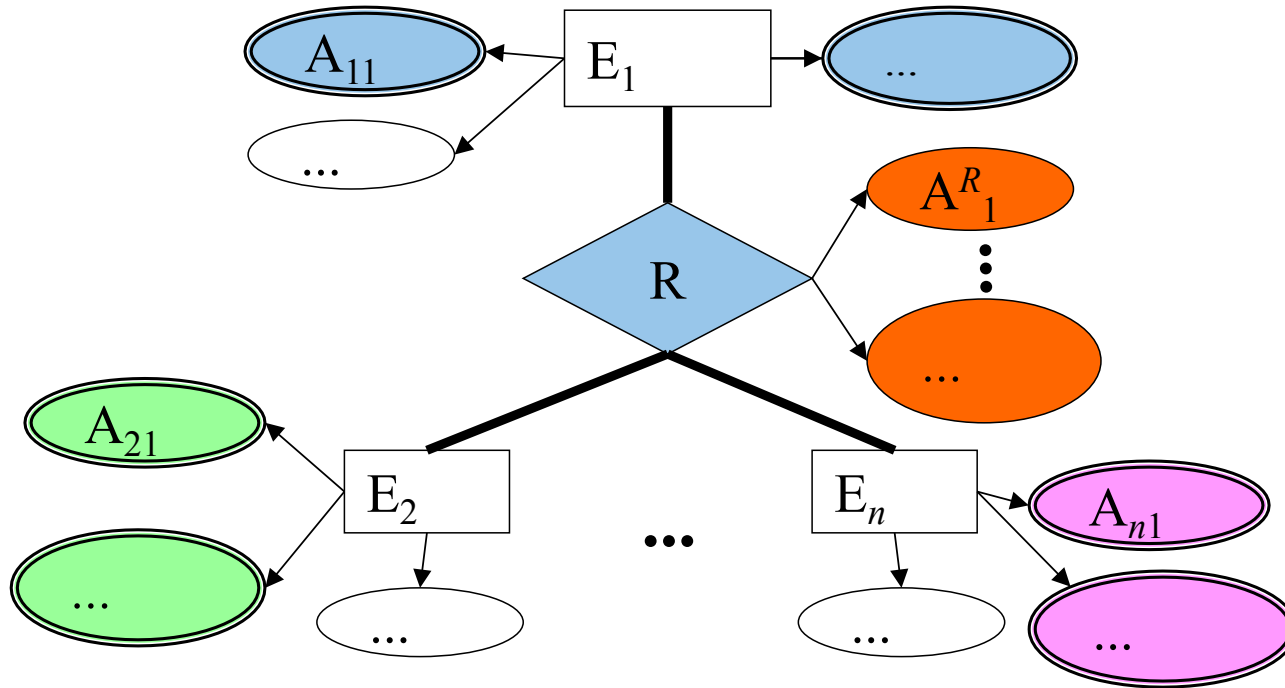
Studenten: {[MatrNr:integer, *Name: string*, *Semester: integer*]}

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

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

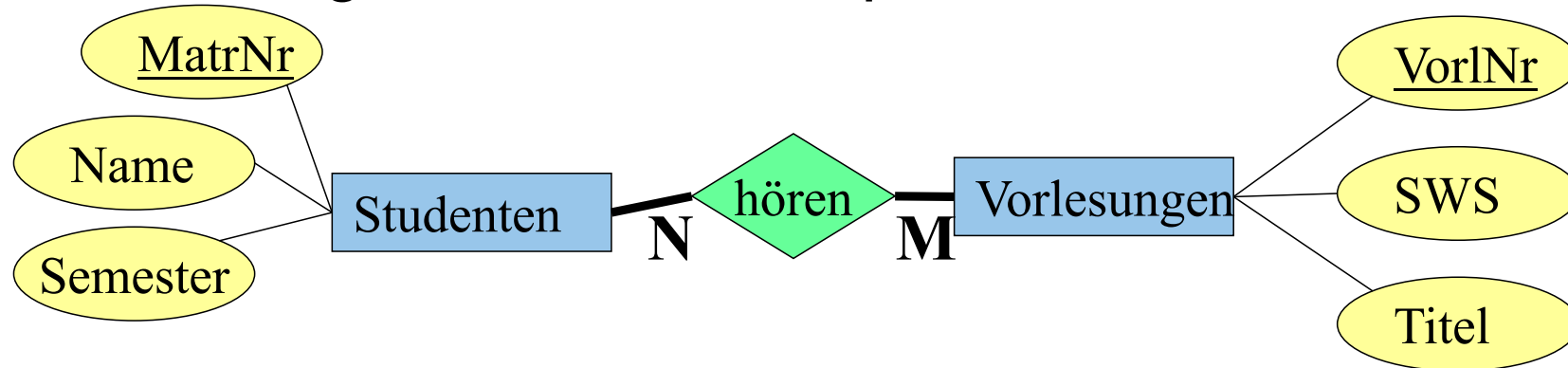
Assistenten: {[PersNr:integer, *Name: string*, *Fachgebiet: string*]}

Relationale Darstellung von Beziehungen



$$R: \left\{ \left[A_{11}, \dots, \quad A_{21}, \dots, \quad A_{n1}, \dots, \quad A^R_1, \dots \right] \right\}$$

Beziehungen unseres Beispiel-Schemas



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

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

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

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

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

Beziehungen unseres Beispiel-Schemas



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

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

arbeitenFür : {[AssistentenPersNr: integer, *ProfPersNr: integer*]}

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

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

Schlüssel der Relationen



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

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

arbeitenFür : {[AssistentenPersNr: integer, *ProfPersNr: integer*]}

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

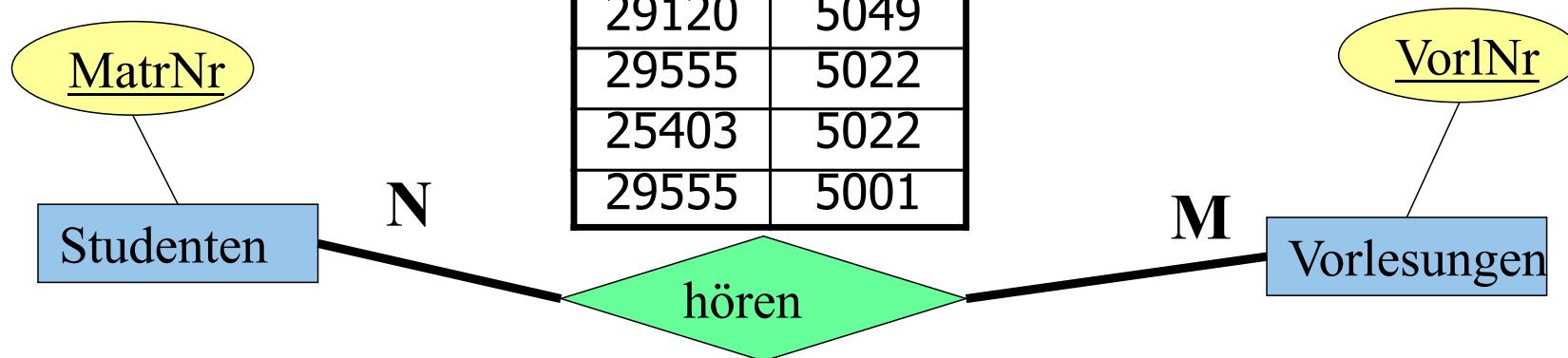
prüfen : {[MatrNr: integer, VorlNr: integer, PersNr: integer, Note: decimal]}

Ausprägung der Beziehung *hören*

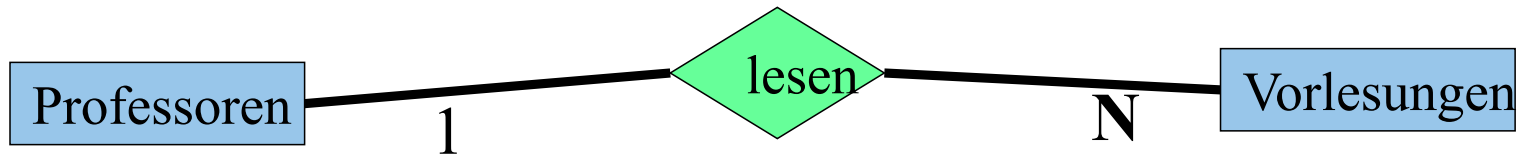
Studenten	
<i>MatrNr</i>	...
26120	...
27550	...
...	...

hören	
<i>MatrNr</i>	<i>VorlNr</i>
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	
<i>VorlNr</i>	...
5001	...
4052	...
...	...



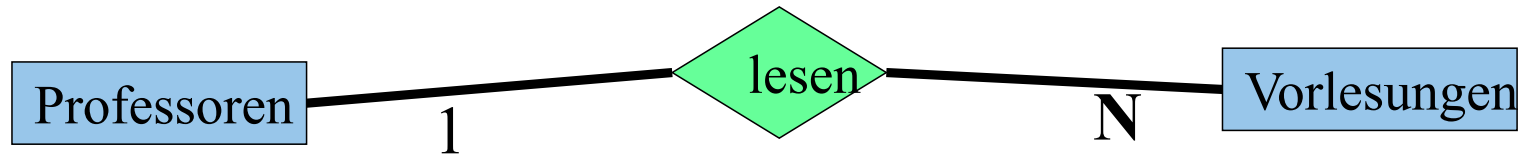
Verfeinerung des relationalen Schemas



1:N-Beziehung: Initial-Entwurf

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

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]}

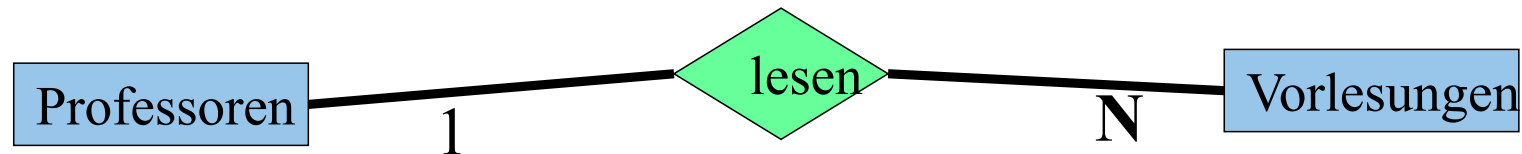
Regel

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

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

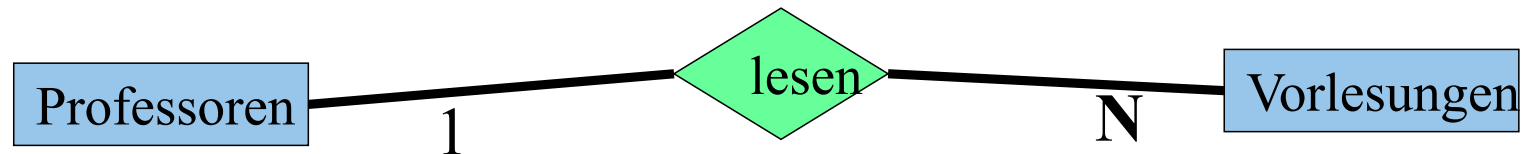
Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	Gelesen Von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137



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		
VorlNr	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



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	??

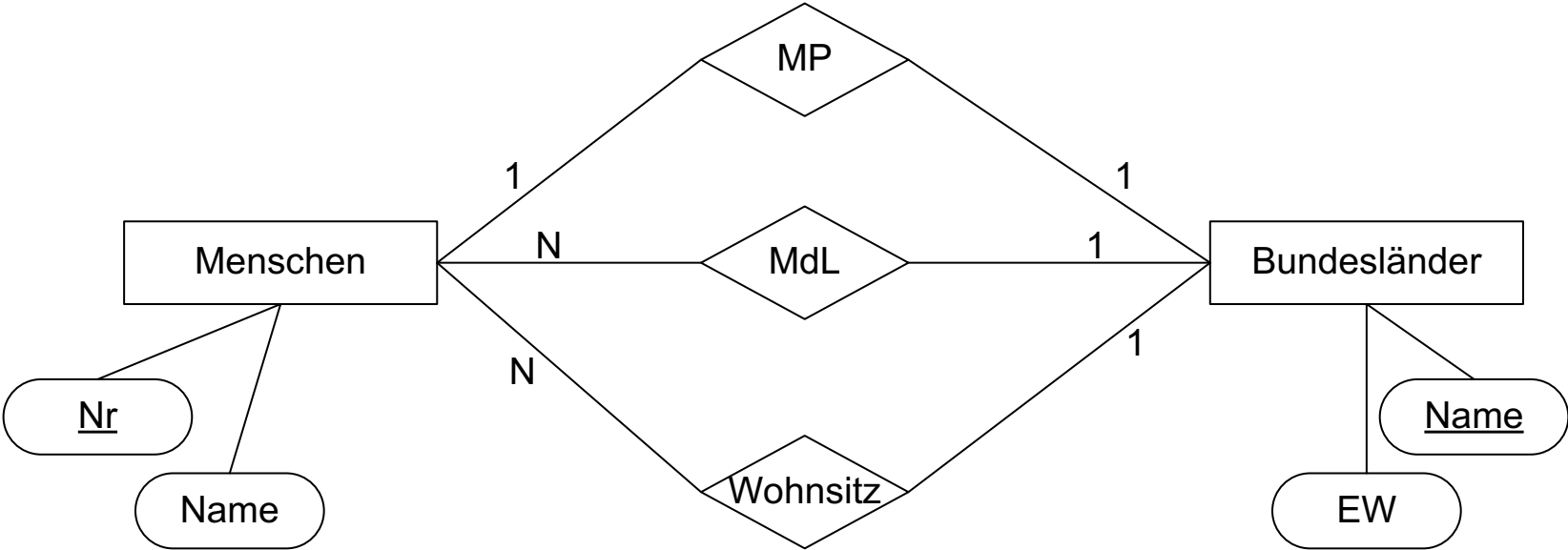
Vorlesungen		
VorlNr	Titel	SWS
5001	Grundzüge	4
5041	Ethik	4
5043	Erkenntnistheorie	3
5049	Mäeutik	2
4052	Logik	4
5052	Wissenschaftstheorie	3
5216	Bioethik	2
5259	Der Wiener Kreis	2
5022	Glaube und Wissen	2
4630	Die 3 Kritiken	4

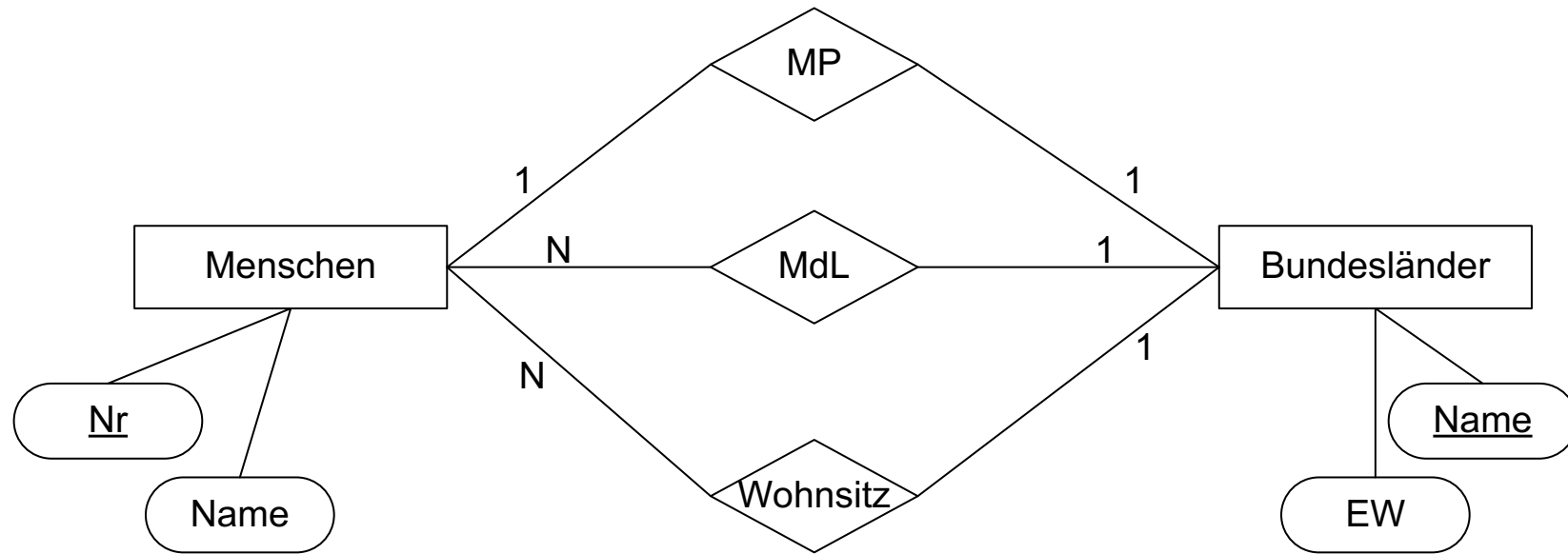
Update-Anomalie: Was passiert wenn Sokrates umzieht

Lösch-Anomalie: Was passiert wenn „Glaube und Wissen“ wegfällt

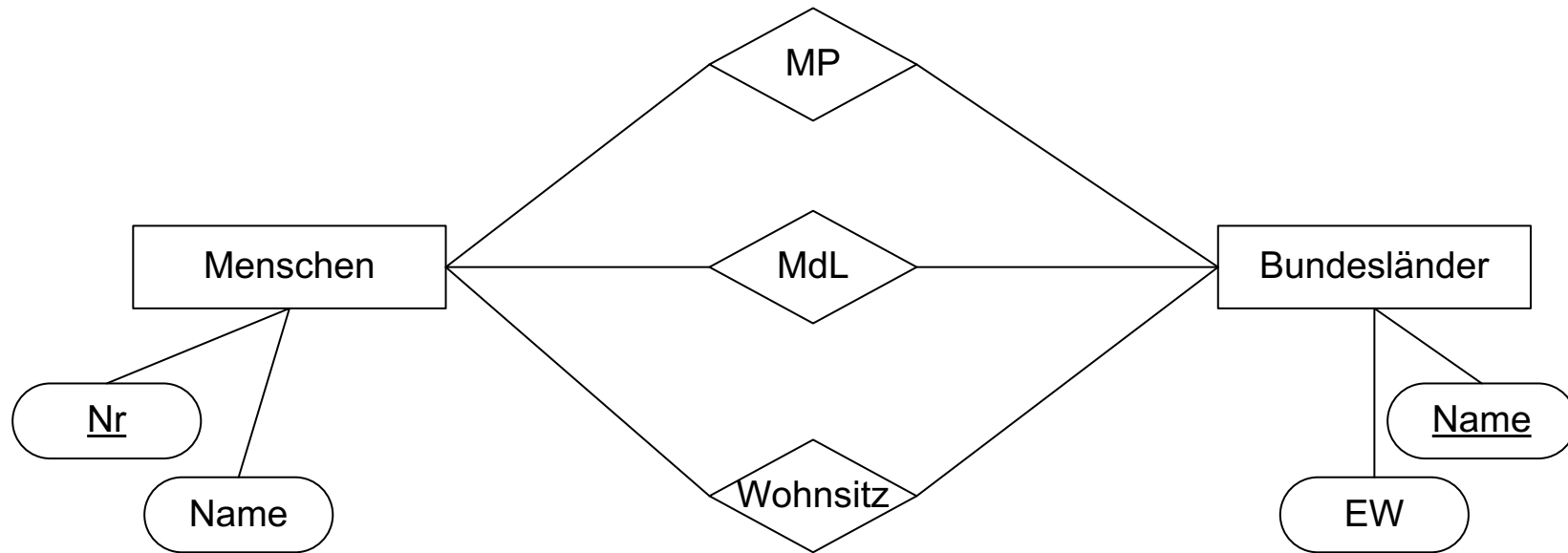
Einfügeanomalie: Curie ist neu und liest noch keine Vorlesungen

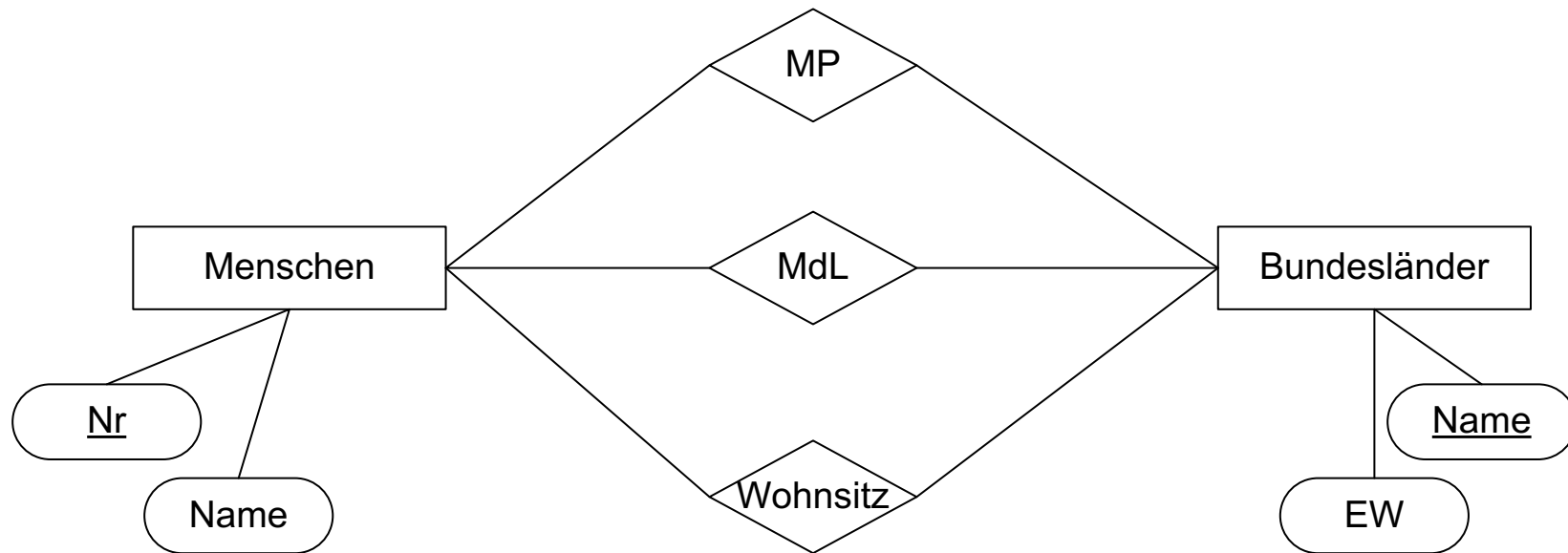
Vermeidung von Null-Werten





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	–	–
...





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	–	–
...

- 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*.

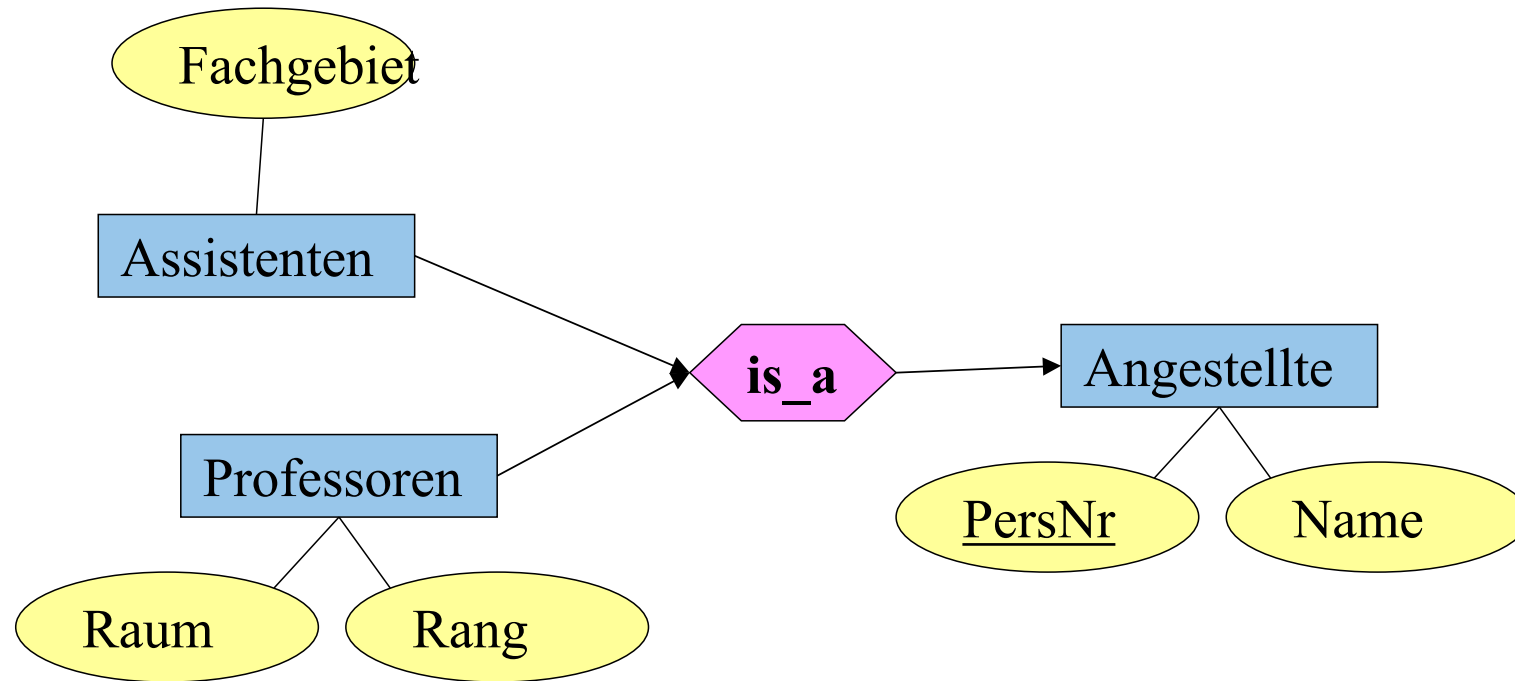
Nachfolgend sind die revidierten Relationenschemata mit den resultierenden Beispiel-Tupeln gezeigt:

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

MdL	
Nr	Bundesland
4813	Bayern
5833	Bayern
6745	Brandenburg
...	...

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

Relationale Modellierung der Generalisierung

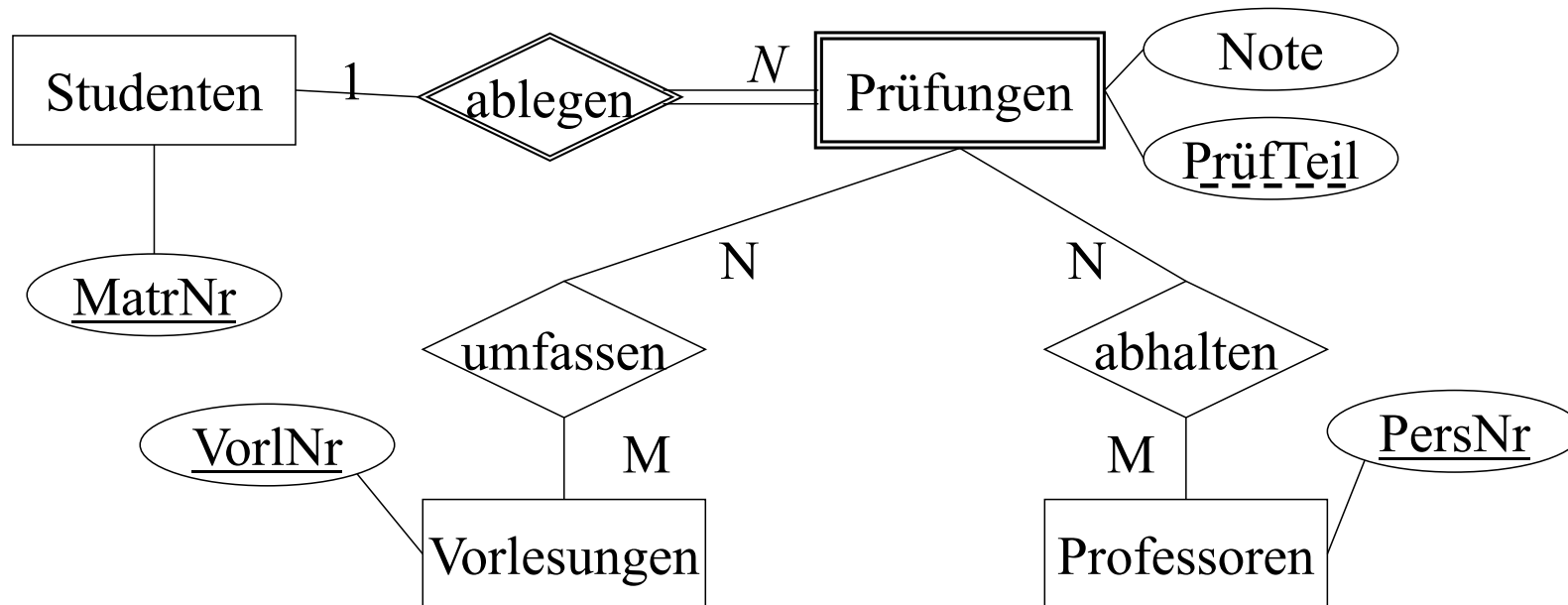


Angestellte: {[PersNr, Name]}

Professoren: {[PersNr, Rang, Raum]}

Assistenten: {[PersNr, Fachgebiet]}

Relationale Modellierung schwacher Entitytypen



Prüfungen: {[MatrNr: integer, PrüfTeil: string, Note: integer]}

umfassen: {[MatrNr: integer, PrüfTeil: string, VorlNr: integer]}

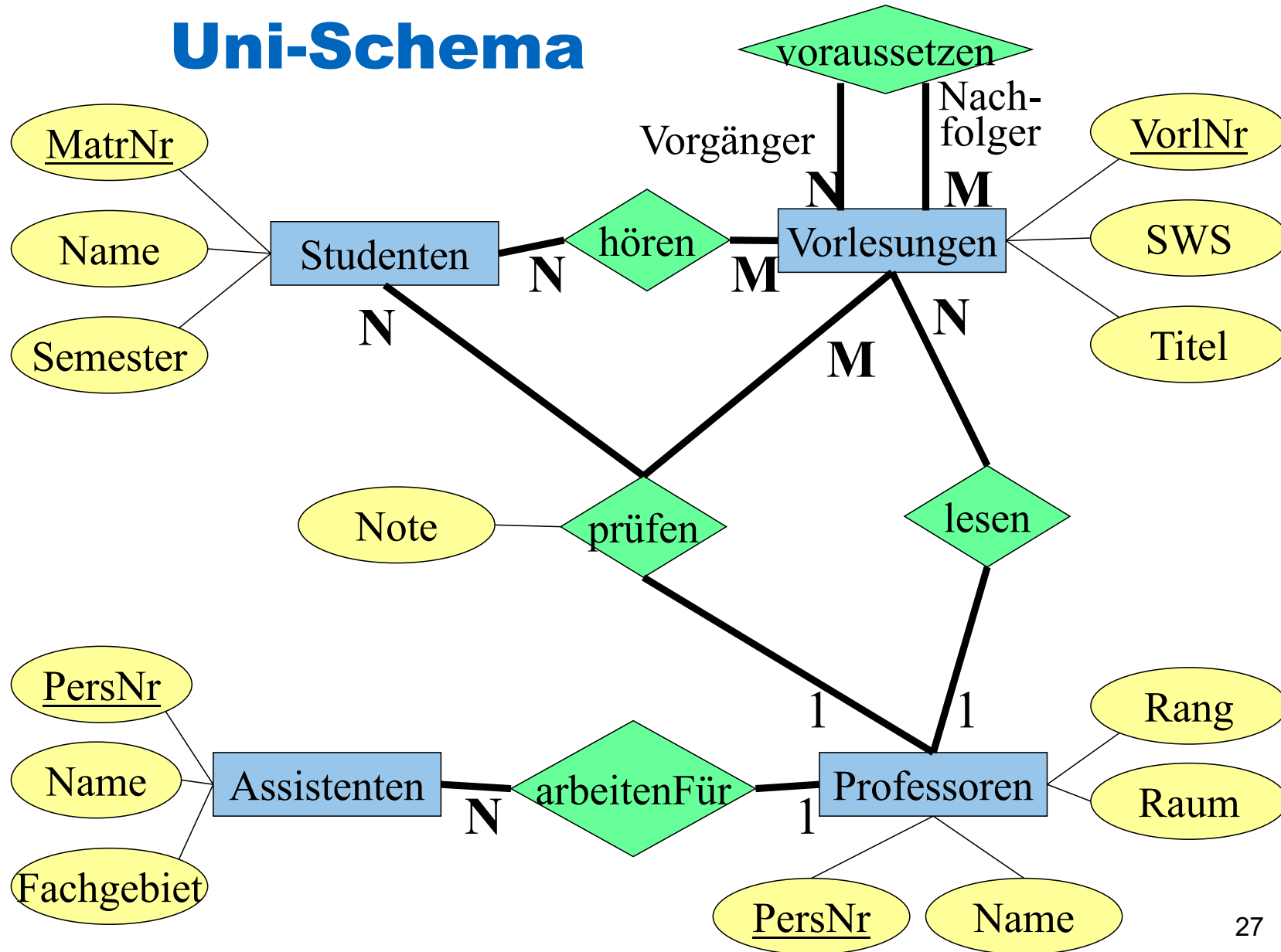
abhalten: {[MatrNr: integer, PrüfTeil: string, PersNr: integer]}

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

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

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

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

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

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

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 Algebra

- σ Selektion
- π Projektion
- \times Kreuzprodukt
- \bowtie Join (Verbund)
- ρ Umbenennung
- $-$ Mengendifferenz
- \div Division
- \cup Vereinigung
- \cap Mengendurchschnitt
- \ltimes Semi-Join (linkes Argument wird gefiltert)
- \rtimes Semi-Join (rechtes Argument wird gefiltert)
- \ltimes linker äußerer Join
- \rtimes rechter äußerer Join
- \bowtie (voller) äußerer Join

Die relationalen Algebra-Operatoren



Selektion

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

$\sigma_{\text{Semester} > 10}$ (Studenten)		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12

Projektion

Π_{Rang} (Professoren)

Π_{Rang} (Professoren)
Rang
C4
C3

Die relationalen Algebra-Operatoren

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)

Die relationalen Algebra-Operatoren



Umbenennung

Umbenennung von Relationen

Beispiel: Ermittlung indirekter Vorgänger 2. Stufe der Vorlesung 5216

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

Umbenennung von Attributen

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

Formale Definition der Algebra



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: $E_1 - E_2$

Der natürliche Verbund (Join)

Gegeben seien:

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

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

$R \bowtie S$											
$R - S$				$R \cap S$				$S - R$			
A_1	A_2	...	A_m	B_1	B_2	...	B_k	C_1	C_2	...	C_n
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Drei-Wege-Join

(Studenten \bowtie hören) \bowtie Vorlesungen

(Studenten \bowtie hören) \bowtie Vorlesungen						
MatrNr	Name	Semester	VorlNr	Titel	SWS	gelesenVon
26120	Fichte	10	5001	Grundzüge	4	2137
27550	Jonas	12	5022	Glaube und Wissen	2	2134
28106	Carnap	3	4052	Wissenschtstheorie	3	2126
...

Allgemeiner Join (Theta-Join)

Gegeben seien folgende Relationen(-Schemata)

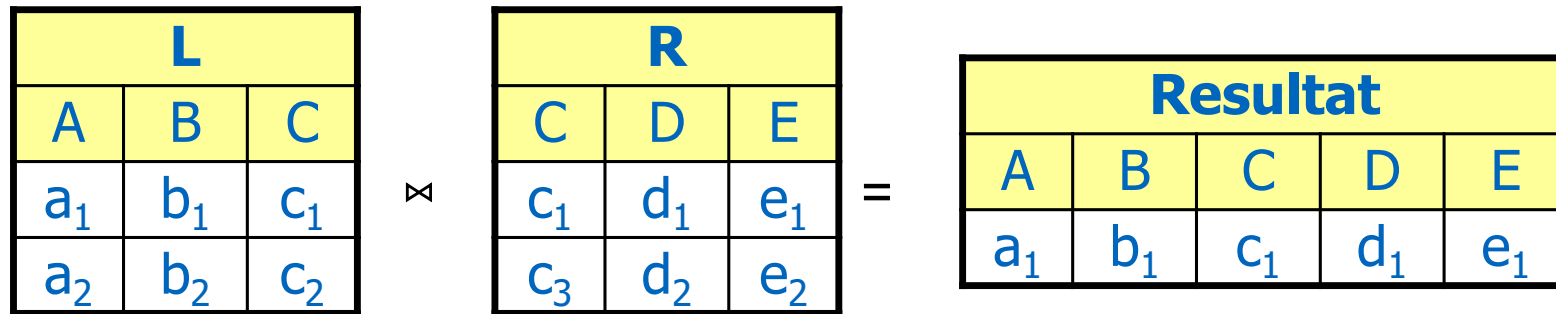
- $R(A_1, \dots, A_n)$ und
- $S(B_1, \dots, B_m)$

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

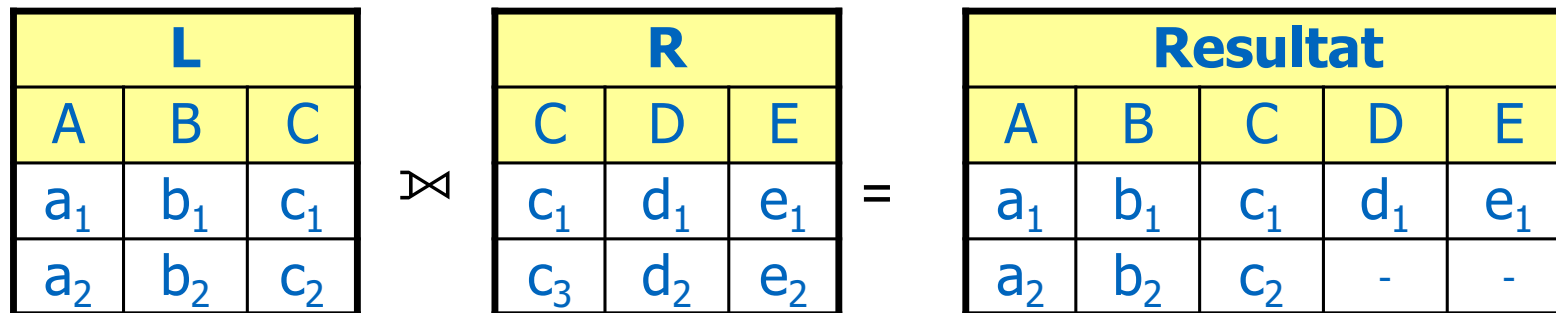
$R \bowtie_{\theta} S$							
R				S			
A_1	A_2	...	A_n	B_1	B_2	...	B_m
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Andere Join-Arten

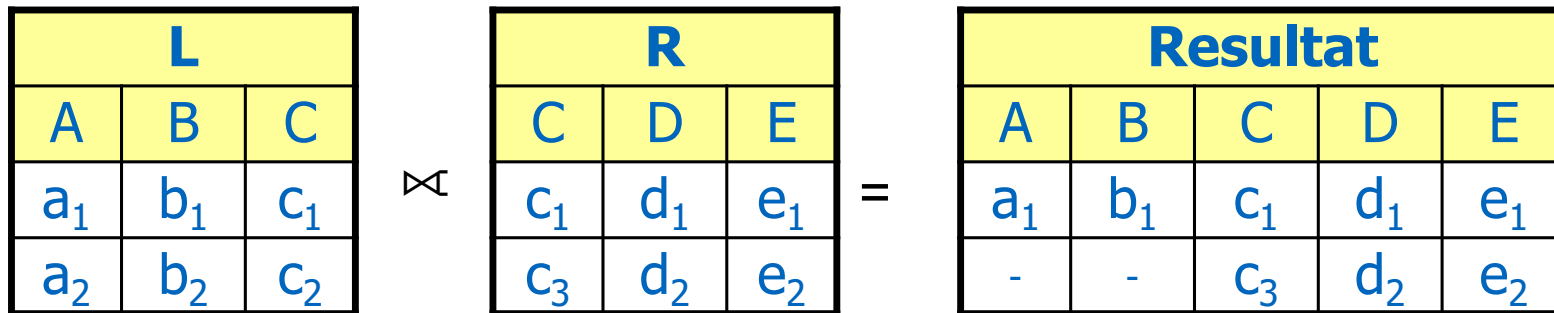
- natürlicher Join



- linker äußerer Join



- rechter äußerer Join



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

 \ltimes

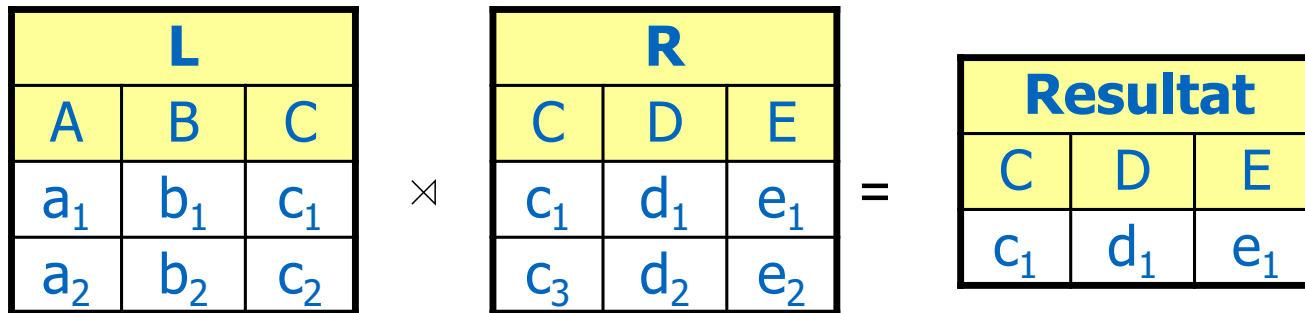
R		
C	D	E
c ₁	d ₁	e ₁
c ₃	d ₂	e ₂

 $=$

Resultat		
A	B	C
a ₁	b ₁	c ₁

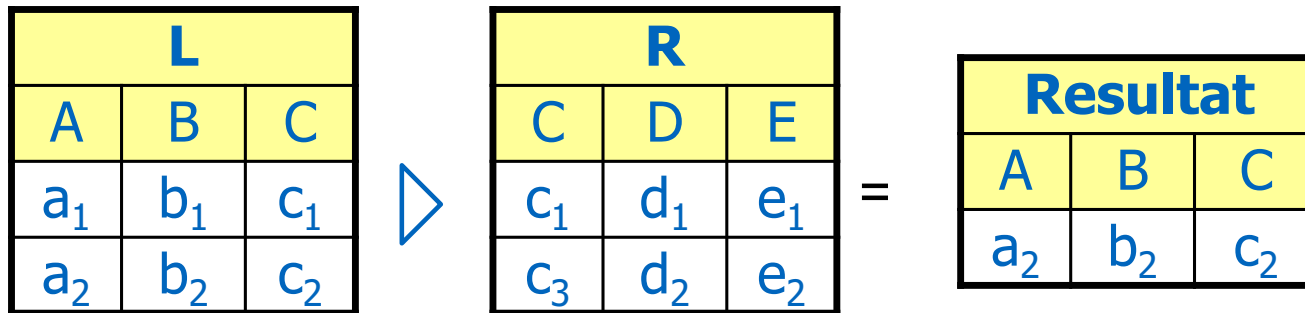
Andere Join-Arten (Forts.)

- Semi-Join von R mit L



Andere Join-Arten (Forts.)

- Anti-Semi-Join von L mit R



Die relationale Division

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

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

L

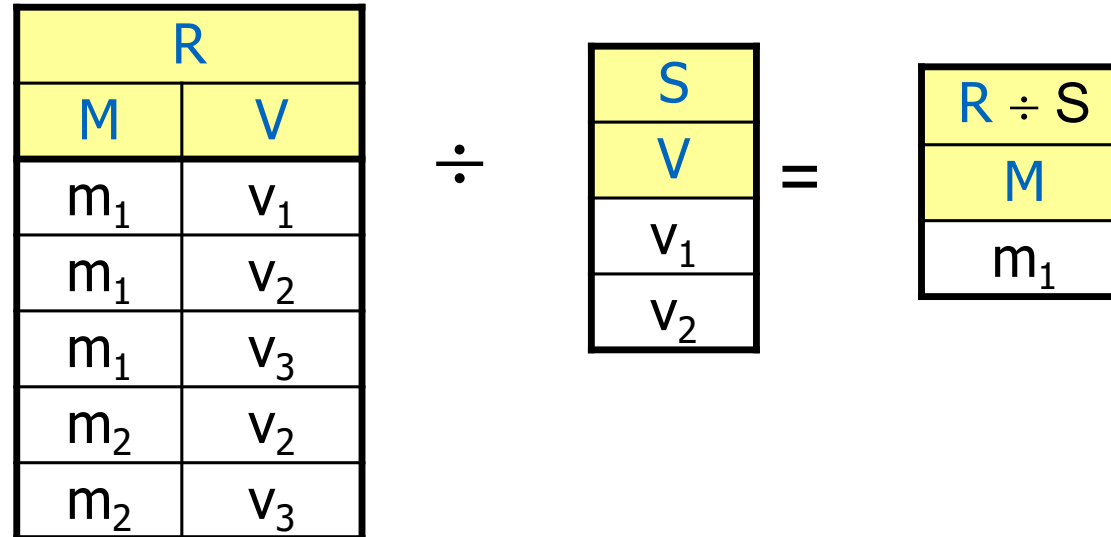


$$\text{hören} \div \Pi_{\text{VorlNr}}(\sigma_{\text{SWS}=4}(\text{Vorlesungen}))$$

Definition der Division

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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			
PerslNr	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

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

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

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

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

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

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 )))
```

Wer hat **alle** vierstündigen Vorlesungen gehört

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

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

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

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

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

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

Prolog ~ Domänenkalkül



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:

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.

Ausdruckskraft



Die drei Sprachen

1. relationale Algebra,
2. relationaler Tupelkalkül, eingeschränkt auf sichere Ausdrücke und
3. relationaler Domänenkalkül, eingeschränkt auf sichere Ausdrücke

sind **gleich mächtig**

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

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)