
Non-Standard-Datenbanken

Probabilistische Datenbanken

Prof. Dr. Ralf Möller

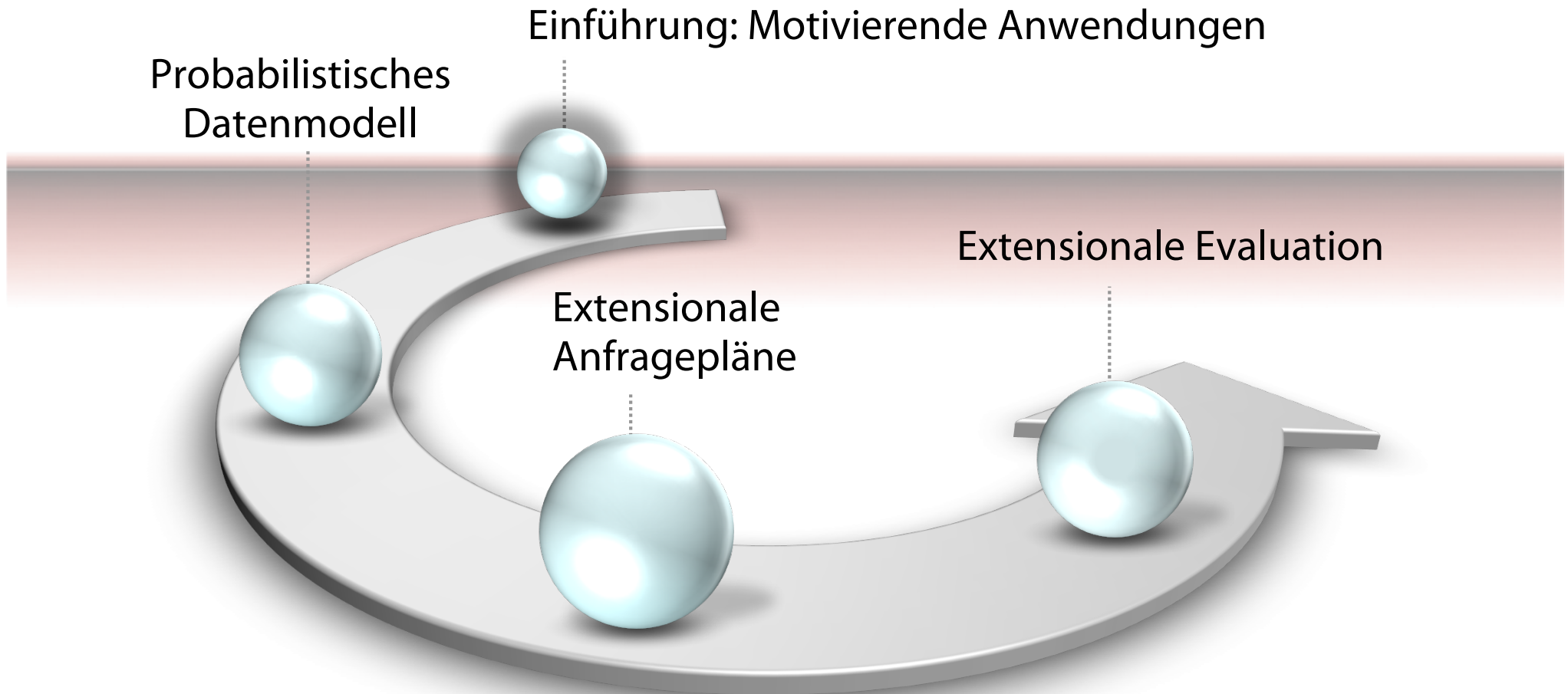
Universität zu Lübeck

Institut für Informationssysteme



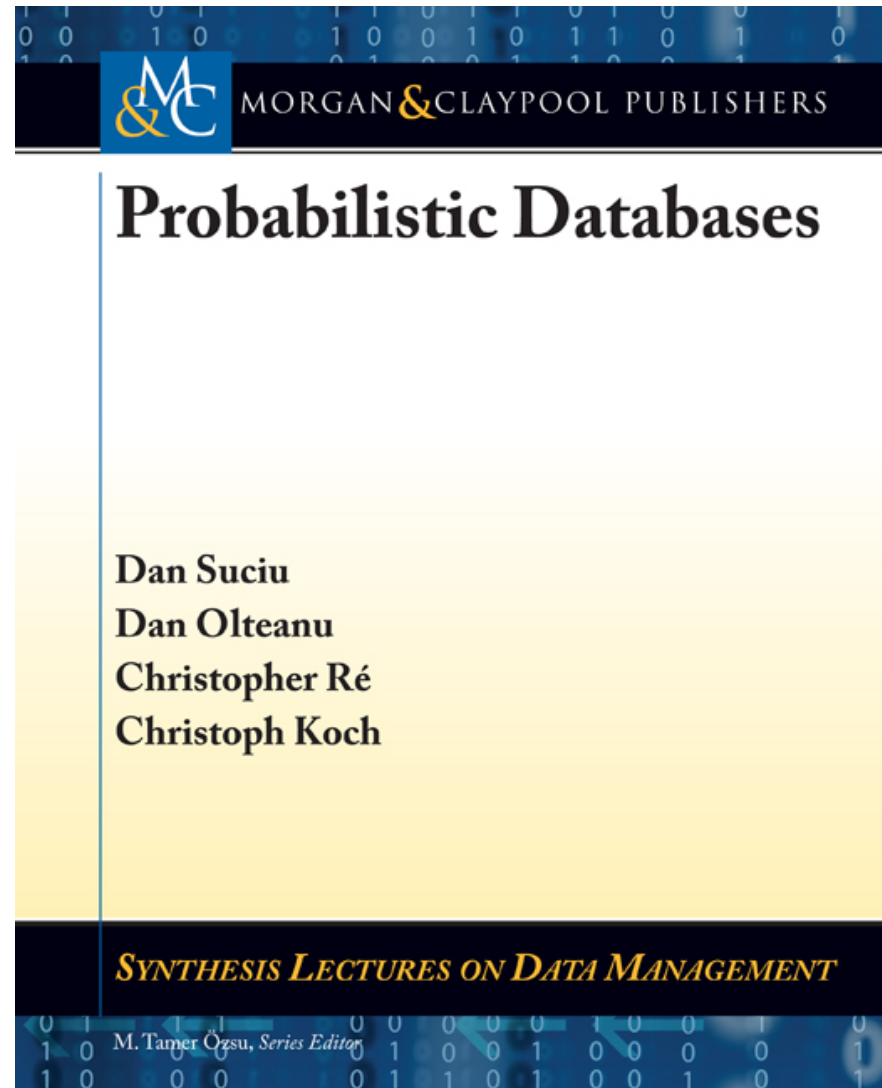
Non-Standard-Datenbanken

Probabilistische Datenbanken



Danksagung

Die Präsentationen sind nach einem Tutorial von Dan Suciu gestaltet und basieren auf dem Lehrbuch Probabilistic Databases



Probabilistische Datenbanken

- **Daten**: Relationale Daten plus **Wahrscheinlichkeiten**, um Grad der Unsicherheit auszudrücken
- **Anfragen**: SQL-Anfragen, deren Antworten annotiert sind mit **Ausgabewahrscheinlichkeiten**
- **Formale Logik** kombiniert mit **Inferenzen über Wahrscheinlichkeiten**
- Ermöglicht Ihnen einen neuen Blick auf beides, Datenbanken und Wahrscheinlichkeiten

Beispiel 1: Informationsextraktion

52-A Goregaon West Mumbai 400 076

Extraktion

Standard DB: Speichere nur
wahrscheinlichste Extraktion

Id	House_no	Area	City	Pincode	Prob
1	52	Goregaon West	Mumbai	400 062	0.1
1	52-A	Goregaon	West Mumbai	400 062	0.2
1	52-A	Goregaon West	Mumbai	400 062	0.5
1	52	Goregaon	West Mumbai	400 062	0.2

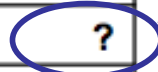
Probabilistische DB: Speichert die meisten/alle
Extraktionen um **Recall zu erhöhen**

Kernidee: Wahrscheinlichkeiten gegeben durch Extraktion
korrelieren mit der Präzision der Extraktion

Beispiel 2: Modellierung fehlender Daten

id	age	edu	inc	nw
t1	20	HS	?	?
t2	20	BS	50K	100K
t3	20	?	50K	?
t4	20	HS	100K	500K
t5	20	?	?	?
t6	20	HS	50K	100K
t7	20	HS	50K	500K
t8	?	HS	?	?
t9	30	BS	100K	100K
t10	30	?	100K	?
t11	30	HS	?	?
t12	30	MS	?	?
t13	40	BS	100K	100K
t14	40	HS	?	?
t15	40	BS	50K	500K
t16	40	HS	?	500K
t17	40	HS	100K	500K

Standard-DB: NULL



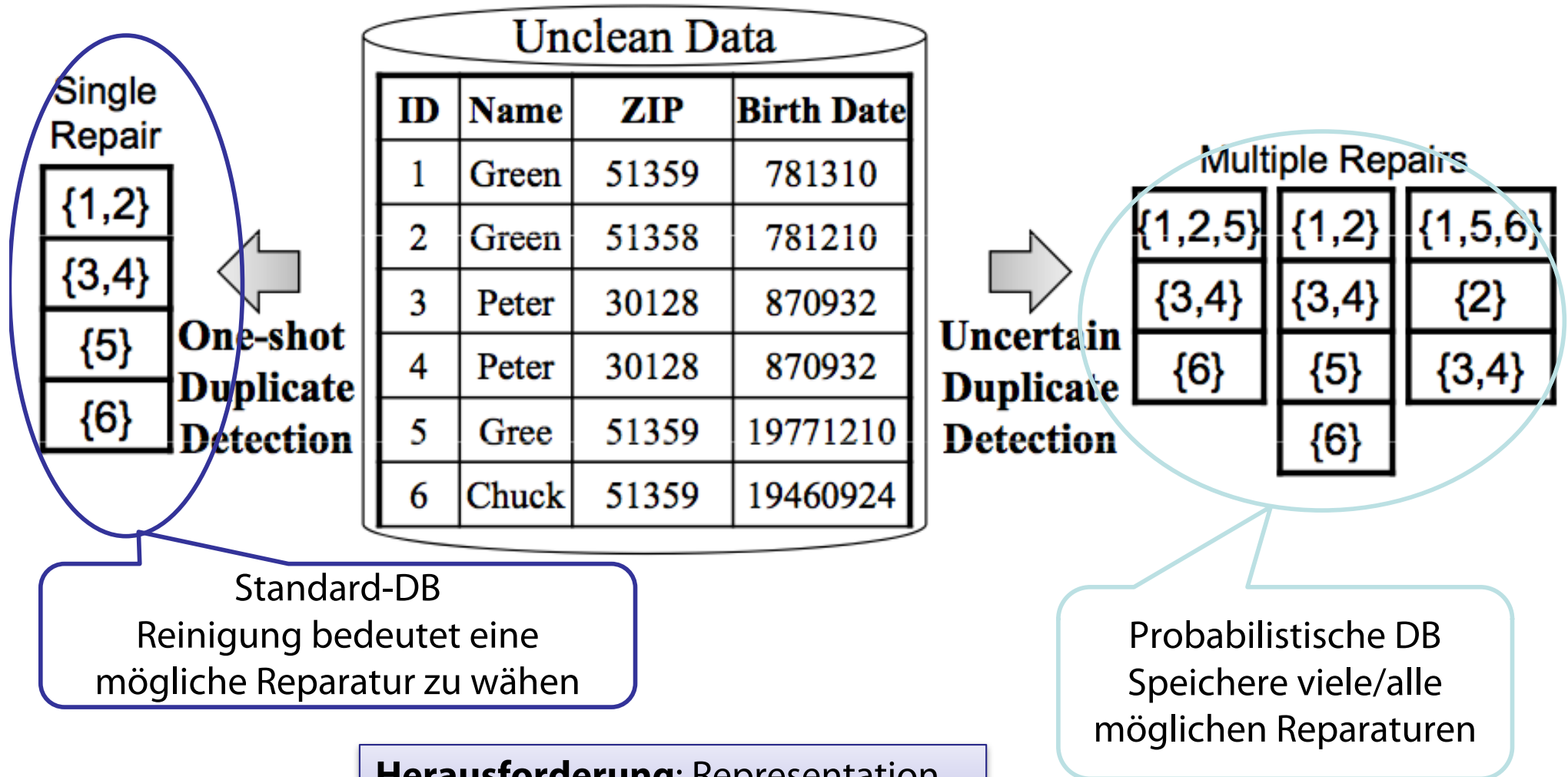
Probabilistische DB:
Verteilung auf mögl. Werten

id	age	edu	inc	nw	prob
t12.1	30	MS	50K	100K	0.30
t12.2	30	MS	50K	500K	0.45
t12.3	30	MS	100K	100K	0.10
t12.4	30	MS	100K	500K	0.15

Kernidee:
Inferiere Verteilung
für fehlende Daten.

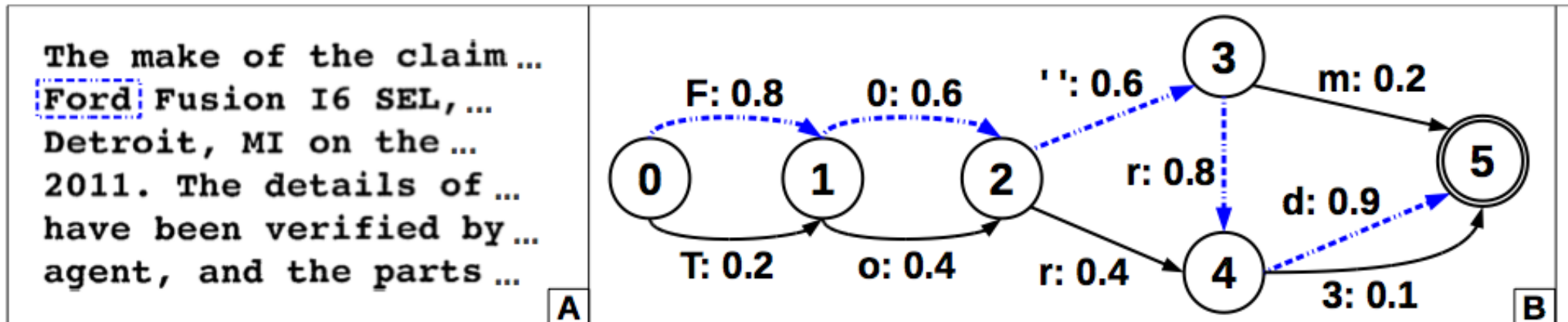
Stoyanovich,
Davidson, Milo,
Tannen: Deriving
probabilistic
databases with
inference
ensembles. ICDE
2011

Beispiel 3: Datenreinigung



Herausforderung: Representation von multiplen Reparaturen

Beispiel 4: OCR



Verwendung von OCRopus von Google Books: Ausgabe ist stochastischer Automat

Üblicherweise wird nur Maximum A priori Estimate (MAP) gespeichert

Mit probabilistischer Databasis: Speicherung verschiedener Möglichkeiten: Erhöhe Recall.

```
SELECT DocId, Loss
FROM Claims
WHERE Year = 2010
AND DocData LIKE '%Ford%';
```

Zusammenfassung der Anwendungen

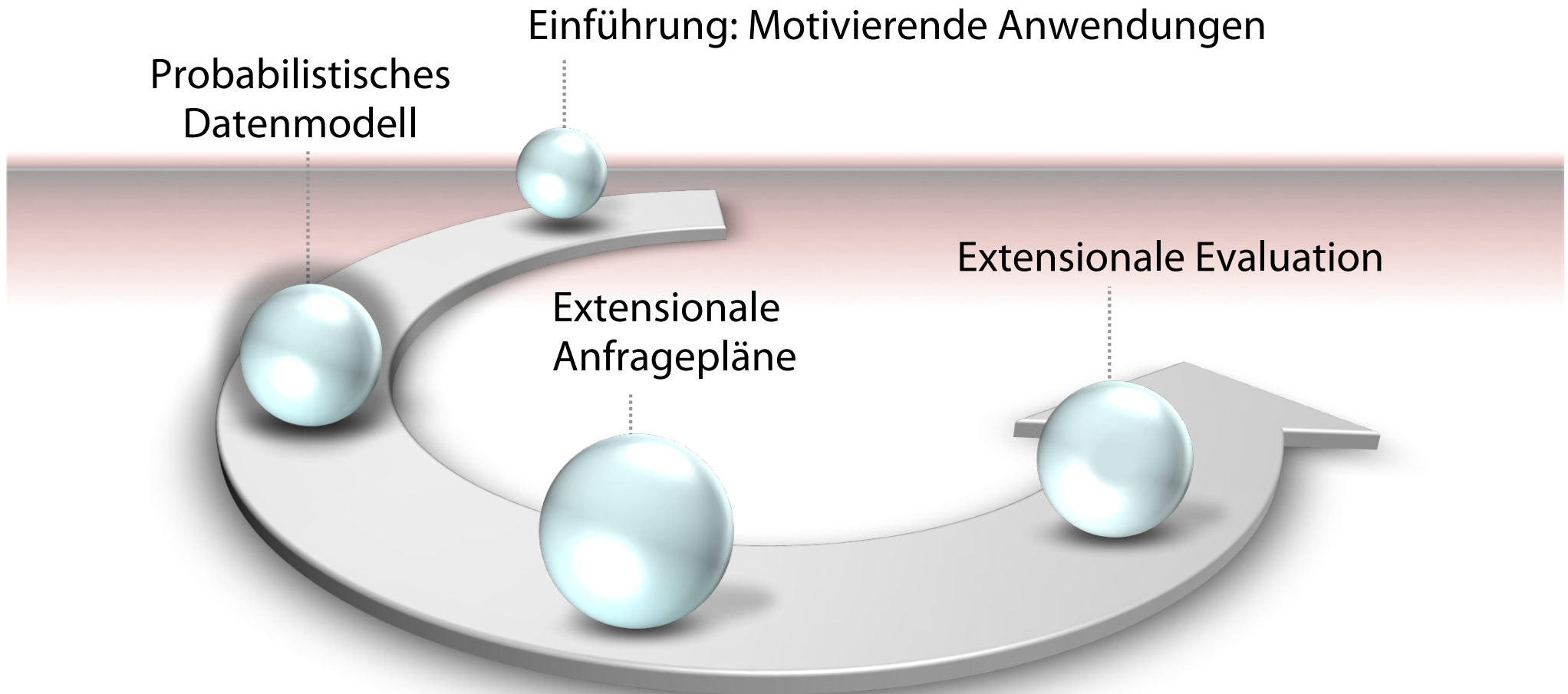
- Strukturierte, aber unsichere Daten
- Modelliert als **probabilistische Daten**
- Antworten für **SQL queries** annotiert mit **Wahrscheinlichkeiten**

Probabilistische Datenbank:

- Kombination aus Standard-Datenmanagement mit probabilistischer Inferenz

Non-Standard-Datenbanken

Probabilistische Datenbanken



Wiederholung: Relationales Datenmodell

Daten:
gespeichert in Relationen (= Tabellen)

Owner

Name	Object
Joe	Book302
Joe	Laptop77
Jim	Laptop77
Fred	GgleGlass

Location

Object	Time	Loc
Laptop77	5:07	Hall
Laptop77	9:05	Office
Book302	8:18	Office

Wiederholung: Relationales Datenmodell

Daten:
gespeichert in Relationen (= Tabellen)

Owner

Name	Object
Joe	Book302
Joe	Laptop77
Jim	Laptop77
Fred	GgleGlass

Location

Object	Time	Loc
Laptop77	5:07	Hall
Laptop77	9:05	Office
Book302	8:18	Office

Anfragen: SQL,

Find all owners of objects in the Office

-- SQL: z.B. Postgres

```
SELECT DISTINCT Owner.name
FROM Owner, Location
WHERE Owner.object = Location.object
and Location.loc = 'Office'
```


Wiederholung: Relationales Datenmodell

Daten:
gespeichert in Relationen (= Tabellen)

Owner

Name	Object
Joe	Book302
Joe	Laptop77
Jim	Laptop77
Fred	GgleGlass

Location

Object	Time	Loc
Laptop77	5:07	Hall
Laptop77	9:05	Office
Book302	8:18	Office

Anfragen: SQL,

Find all owners of objects in the Office

-- SQL: z.B. Postgres

```
SELECT DISTINCT Owner.name
FROM Owner, Location
WHERE Owner.object = Location.object
and Location.loc = 'Office'
```

Vereinigung konjunktiver Anfragen
Unions of Conjunctive Queries (UCQs)

$$Q(z) = \text{Owner}(z,x), \text{Location}(x,t,y), y='Office'$$

NB x,t sind existenzquantifiziert:

$$Q(z) = \exists x \exists t (\text{Owner}(z,x), \text{Location}(x,t,'Office'))$$

Wiederholung: Relationales Datenmodell

Daten:
gespeichert in Relationen (= Tabellen)

Owner

Name	Object
Joe	Book302
Joe	Laptop77
Jim	Laptop77
Fred	GgleGlass

Location

Object	Time	Loc
Laptop77	5:07	Hall
Laptop77	9:05	Office
Book302	8:18	Office

Anfragen: SQL,

Find all owners of objects in the Office

-- SQL: z.B. Postgres

```
SELECT DISTINCT Owner.name
FROM Owner, Location
WHERE Owner.object = Location.object
and Location.loc = 'Office'
```

Antwort: Q=

Name
Joe
Jim

Vereinigung konjunktiver Anfragen
Unions of Conjunctive Queries (UCQs)

$$Q(z) = \text{Owner}(z,x), \text{Location}(x,t,y), y='Office'$$

NB x,t sind existenzquantifiziert:

$$Q(z) = \exists x \exists t (\text{Owner}(z,x), \text{Location}(x,t,'Office'))$$

Wiederholung: Relationales Datenmodell

Daten:
gespeichert in Relationen (= Tabellen)

Owner		Location		
Name	Object	Object	Time	Loc
Joe	Book302	Laptop77	5:07	Hall
Joe	Laptop77	Laptop77	9:05	Office
Jim	Laptop77	Book302	8:18	Office
Fred	GgleGlass			

Anfragen: SQL,

Find all owners of objects in the Office

-- SQL: z.B. Postgres

```
SELECT DISTINCT Owner.name
FROM Owner, Location
WHERE Owner.object = Location.object
and Location.loc = 'Office'
```

Antwort: Q=

Name
Joe
Jim

Vereinigung konjunktiver Anfragen
Unions of Conjunctive Queries (UCQs)

$$Q(z) = \text{Owner}(z,x), \text{Location}(x,t,y), y='Office'$$

NB x,t sind existenzquantifiziert:

$$Q(z) = \exists x \exists t (\text{Owner}(z,x), \text{Location}(x,t,'Office'))$$

Wiederholung: Komplexität der Anfragebeantwortung

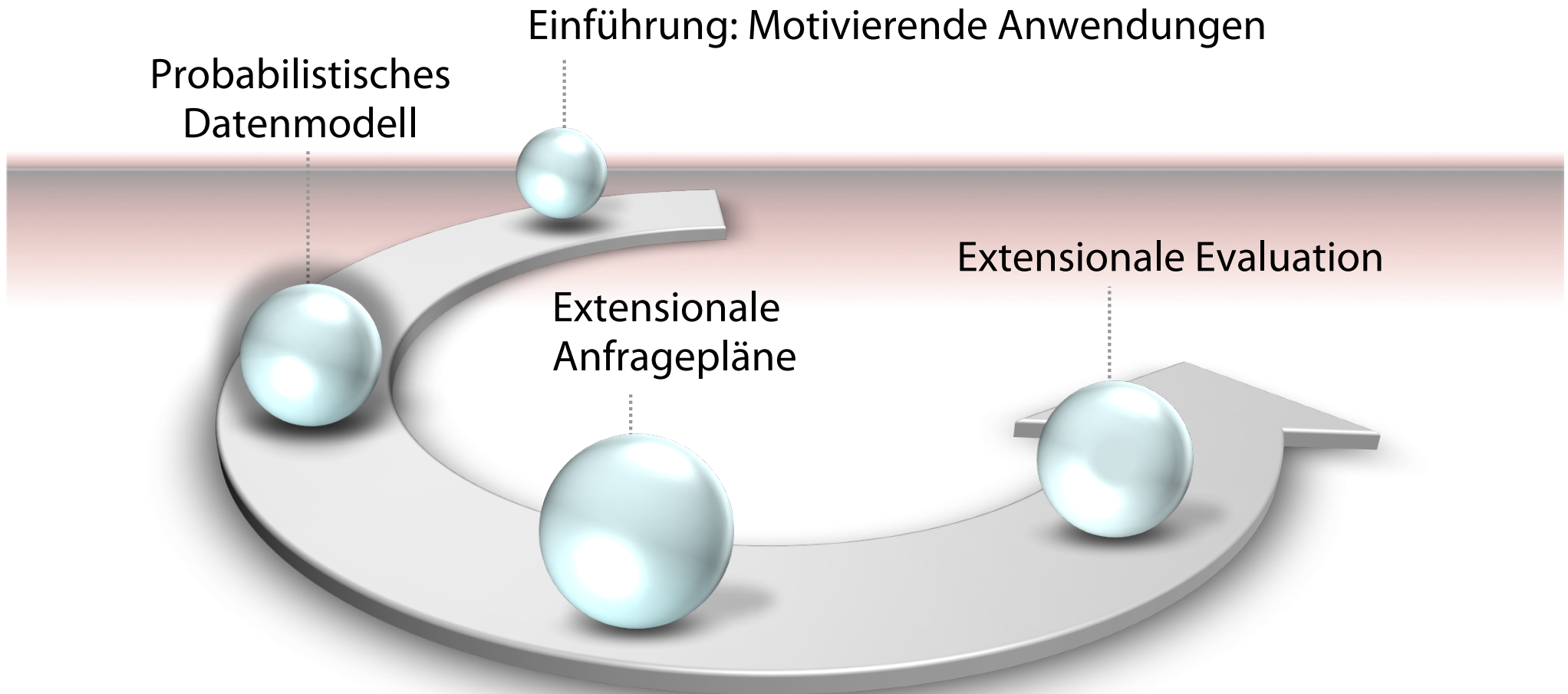
Anfrage Q , Datenbank D

- Datenkomplexität:
fix Q , Komplexität = $f(D)$
- Anfragekomplexität:
fix D , Komplexität = $f(Q)$
- Kombinierte Komplexität: Komplexität = $f(D, Q)$

Datenkomplexität wird im Bereich
der Datenbankforschung betrachtet

Non-Standard-Datenbanken

Probabilistische Datenbanken



Unvollständige Datenbank

Definition Eine **unvollständige Datenbank** ist eine endliche Menge von Datenbankinstanzen

$$\mathbf{W} = (W_1, W_2, \dots, W_n)$$

Jedes W_i heißt mögliche Welt

Unvollständige Datenbank

Definition Eine **unvollständige Datenbank** ist eine endliche Menge von Datenbankinstanzen
 $\mathbf{W} = (W_1, W_2, \dots, W_n)$

Jedes W_i heißt mögliche Welt

W_1	W_2	W_3	W_4																						
<p>Owner</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Object</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Joe</td> <td>Book302</td> </tr> <tr> <td>Joe</td> <td>Laptop77</td> </tr> <tr> <td>Jim</td> <td>Laptop77</td> </tr> <tr> <td>Fred</td> <td>GgleGlass</td> </tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Object</th> <th>Time</th> <th>Loc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Laptop77</td> <td>5:07</td> <td>Hall</td> </tr> <tr> <td>Laptop77</td> <td>9:05</td> <td>Office</td> </tr> <tr> <td>Book302</td> <td>8:18</td> <td>Office</td> </tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Joe	Laptop77	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office			
Name	Object																								
Joe	Book302																								
Joe	Laptop77																								
Jim	Laptop77																								
Fred	GgleGlass																								
Object	Time	Loc																							
Laptop77	5:07	Hall																							
Laptop77	9:05	Office																							
Book302	8:18	Office																							

Unvollständige Datenbank

Definition Eine **unvollständige Datenbank** ist eine endliche Menge von Datenbankinstanzen
 $\mathbf{W} = (W_1, W_2, \dots, W_n)$

Jedes W_i heißt mögliche Welt

W_1	W_2	W_3	W_4																																				
<p>Owner</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Object</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Joe</td> <td>Book302</td> </tr> <tr> <td>Joe</td> <td>Laptop77</td> </tr> <tr> <td>Jim</td> <td>Laptop77</td> </tr> <tr> <td>Fred</td> <td>GgleGlass</td> </tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Object</th> <th>Time</th> <th>Loc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Laptop77</td> <td>5:07</td> <td>Hall</td> </tr> <tr> <td>Laptop77</td> <td>9:05</td> <td>Office</td> </tr> <tr> <td>Book302</td> <td>8:18</td> <td>Office</td> </tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Joe	Laptop77	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office	<p>Owner</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Object</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Joe</td> <td>Book302</td> </tr> <tr> <td>Jim</td> <td>Laptop77</td> </tr> <tr> <td>Fred</td> <td>GgleGlass</td> </tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Object</th> <th>Time</th> <th>Loc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Book302</td> <td>8:18</td> <td>Office</td> </tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Object	Time	Loc	Book302	8:18	Office		
Name	Object																																						
Joe	Book302																																						
Joe	Laptop77																																						
Jim	Laptop77																																						
Fred	GgleGlass																																						
Object	Time	Loc																																					
Laptop77	5:07	Hall																																					
Laptop77	9:05	Office																																					
Book302	8:18	Office																																					
Name	Object																																						
Joe	Book302																																						
Jim	Laptop77																																						
Fred	GgleGlass																																						
Object	Time	Loc																																					
Book302	8:18	Office																																					

Unvollständige Datenbank

Definition Eine **unvollständige Datenbank** ist eine endliche Menge von Datenbankinstanzen
 $\mathbf{W} = (W_1, W_2, \dots, W_n)$

Jedes W_i heißt mögliche Welt

W_1	W_2	W_3	W_4																																																																					
<p>Owner</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Joe</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Joe	Laptop77	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office	<p>Owner</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Object	Time	Loc	Book302	8:18	Office	<p>Owner</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Jim	Laptop77	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	<p>Owner</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office
Name	Object																																																																							
Joe	Book302																																																																							
Joe	Laptop77																																																																							
Jim	Laptop77																																																																							
Fred	GgleGlass																																																																							
Object	Time	Loc																																																																						
Laptop77	5:07	Hall																																																																						
Laptop77	9:05	Office																																																																						
Book302	8:18	Office																																																																						
Name	Object																																																																							
Joe	Book302																																																																							
Jim	Laptop77																																																																							
Fred	GgleGlass																																																																							
Object	Time	Loc																																																																						
Book302	8:18	Office																																																																						
Name	Object																																																																							
Jim	Laptop77																																																																							
Object	Time	Loc																																																																						
Laptop77	5:07	Hall																																																																						
Laptop77	9:05	Office																																																																						
Name	Object																																																																							
Joe	Book302																																																																							
Jim	Laptop77																																																																							
Fred	GgleGlass																																																																							
Object	Time	Loc																																																																						
Laptop77	5:07	Hall																																																																						
Laptop77	9:05	Office																																																																						
Book302	8:18	Office																																																																						

Unvollständige Datenbank: Anfragesemantik

Definition Gegeben eine Anfrage Q , eine unvollständige DB W :

- Eine Antwort t ist **sicher (certain)**, falls $\forall W_i, t \in Q(W_i)$
- Eine Antwort t ist **möglich (possible)** falls $\exists W_i, t \in Q(W_i)$

Unvollständige Datenbank: Anfragesemantik

Definition Gegeben eine Anfrage Q , eine unvollständige DB W :

- Eine Antwort t ist **sicher (certain)**, falls $\forall W_i, t \in Q(W_i)$
- Eine Antwort t ist **möglich (possible)** falls $\exists W_i, t \in Q(W_i)$

$$Q(z) = \text{Owner}(z,x), \\ \text{Location}(x,t,'Office')$$


W_1	W_2	W_3	W_4																																							
Owner <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Object</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Joe</td> <td>Book302</td> </tr> <tr> <td>Joe</td> <td>Laptop77</td> </tr> <tr> <td>Jim</td> <td>Laptop77</td> </tr> <tr> <td>Fred</td> <td>GgleGlass</td> </tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Joe	Laptop77	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Owner <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Object</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Joe</td> <td>Book302</td> </tr> <tr> <td>Jim</td> <td>Laptop77</td> </tr> <tr> <td>Fred</td> <td>GgleGlass</td> </tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Owner <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Object</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Joe</td> <td>Laptop77</td> </tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Laptop77	Owner <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Object</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Joe</td> <td>Book302</td> </tr> <tr> <td>Jim</td> <td>Laptop77</td> </tr> <tr> <td>Fred</td> <td>GgleGlass</td> </tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Joe	Laptop77																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Name	Object																																									
Joe	Laptop77																																									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Location <table border="1"> <thead> <tr> <th>Object</th> <th>Time</th> <th>Loc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Laptop77</td> <td>5:07</td> <td>Hall</td> </tr> <tr> <td>Laptop77</td> <td>9:05</td> <td>Office</td> </tr> <tr> <td>Book302</td> <td>8:18</td> <td>Office</td> </tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office	Location <table border="1"> <thead> <tr> <th>Object</th> <th>Time</th> <th>Loc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Book302</td> <td>8:18</td> <td>Office</td> </tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Book302	8:18	Office	Location <table border="1"> <thead> <tr> <th>Object</th> <th>Time</th> <th>Loc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Laptop77</td> <td>5:07</td> <td>Hall</td> </tr> <tr> <td>Laptop77</td> <td>9:05</td> <td>Office</td> </tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Location <table border="1"> <thead> <tr> <th>Object</th> <th>Time</th> <th>Loc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Laptop77</td> <td>5:07</td> <td>Hall</td> </tr> <tr> <td>Laptop77</td> <td>9:05</td> <td>Office</td> </tr> <tr> <td>Book302</td> <td>8:18</td> <td>Office</td> </tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Book302	8:18	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Book302	8:18	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Book302	8:18	Office																																								

Unvollständige Datenbank: Anfragesemantik

Definition Gegeben eine Anfrage Q , eine unvollständige DB W :

- Eine Antwort t ist **sicher (certain)**, falls $\forall W_i, t \in Q(W_i)$
- Eine Antwort t ist **möglich (possible)** falls $\exists W_i, t \in Q(W_i)$

$$Q(z) = \text{Owner}(z,x), \\ \text{Location}(x,t,'Office')$$

W_1	W_2	W_3	W_4																																																																					
<p>Owner</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Joe</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Joe	Laptop77	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office	<p>Owner</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Object	Time	Loc	Book302	8:18	Office	<p>Owner</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Laptop77</td></tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Laptop77	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	<p>Owner</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office
Name	Object																																																																							
Joe	Book302																																																																							
Joe	Laptop77																																																																							
Jim	Laptop77																																																																							
Fred	GgleGlass																																																																							
Object	Time	Loc																																																																						
Laptop77	5:07	Hall																																																																						
Laptop77	9:05	Office																																																																						
Book302	8:18	Office																																																																						
Name	Object																																																																							
Joe	Book302																																																																							
Jim	Laptop77																																																																							
Fred	GgleGlass																																																																							
Object	Time	Loc																																																																						
Book302	8:18	Office																																																																						
Name	Object																																																																							
Joe	Laptop77																																																																							
Object	Time	Loc																																																																						
Laptop77	5:07	Hall																																																																						
Laptop77	9:05	Office																																																																						
Name	Object																																																																							
Joe	Book302																																																																							
Jim	Laptop77																																																																							
Fred	GgleGlass																																																																							
Object	Time	Loc																																																																						
Laptop77	5:07	Hall																																																																						
Laptop77	9:05	Office																																																																						
Book302	8:18	Office																																																																						
 <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> <tr><td>Jim</td></tr> </table>	Joe	Jim	$Q=$ <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> </table>	Joe	$Q=$ <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> </table>	Joe	$Q=$ <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> <tr><td>Jim</td></tr> </table>	Joe	Jim																																																															
Joe																																																																								
Jim																																																																								
Joe																																																																								
Joe																																																																								
Joe																																																																								
Jim																																																																								




Unvollständige Datenbank: Anfragesemantik

Definition Gegeben eine Anfrage Q , und eine unvollständige Datenbasis W :

- Eine Antwort t heißt **sicher (certain)**, falls $\forall W_i: t \in Q(W_i)$
- Eine Antwort t heißt **possible**, falls $\exists W_i: t \in Q(W_i)$

$$Q(z) = \text{Owner}(z,x), \text{Location}(x,t,'Office')$$

Sichere Antwort für Q : Joe
Mögliche Antwort f. Q : Joe, Jim

W_1	W_2	W_3	W_4																																																																					
<p>Owner</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Joe</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Joe	Laptop77	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office	<p>Owner</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Object	Time	Loc	Book302	8:18	Office	<p>Owner</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Laptop77</td></tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Laptop77	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	<p>Owner</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table> <p>Location</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office
Name	Object																																																																							
Joe	Book302																																																																							
Joe	Laptop77																																																																							
Jim	Laptop77																																																																							
Fred	GgleGlass																																																																							
Object	Time	Loc																																																																						
Laptop77	5:07	Hall																																																																						
Laptop77	9:05	Office																																																																						
Book302	8:18	Office																																																																						
Name	Object																																																																							
Joe	Book302																																																																							
Jim	Laptop77																																																																							
Fred	GgleGlass																																																																							
Object	Time	Loc																																																																						
Book302	8:18	Office																																																																						
Name	Object																																																																							
Joe	Laptop77																																																																							
Object	Time	Loc																																																																						
Laptop77	5:07	Hall																																																																						
Laptop77	9:05	Office																																																																						
Name	Object																																																																							
Joe	Book302																																																																							
Jim	Laptop77																																																																							
Fred	GgleGlass																																																																							
Object	Time	Loc																																																																						
Laptop77	5:07	Hall																																																																						
Laptop77	9:05	Office																																																																						
Book302	8:18	Office																																																																						
 <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> <tr><td>Jim</td></tr> </table>	Joe	Jim	$Q=$ <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> </table>	Joe	$Q=$ <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> </table>	Joe	$Q=$ <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> <tr><td>Jim</td></tr> </table>	Joe	Jim																																																															
Joe																																																																								
Jim																																																																								
Joe																																																																								
Joe																																																																								
Joe																																																																								
Jim																																																																								

Probabilistische Datenbank

Definition Eine **probabilistische DB** ist ein Tupel (\mathbf{W}, \mathbf{P}) , wobei \mathbf{W} eine unvollständige DB und $\mathbf{P}: \mathbf{W} \rightarrow [0,1]$ eine Wahrscheinlichkeitsverteilung ist: $\sum_{i=1,n} P(W_i) = 1$

Probabilistische Datenbank

Definition Eine **probabilistische DB** ist ein Tupel (W, P) , wobei W eine unvollständige DB und $P: W \rightarrow [0,1]$ eine Wahrscheinlichkeitsverteilung ist: $\sum_{i=1,n} P(W_i) = 1$

W_1	W_2	W_3	W_4																																							
0.3	0.4	0.2	0.1																																							
Owner	Owner	Owner	Owner																																							
<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Joe</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Joe	Laptop77	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Jim	Laptop77	<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Joe	Laptop77																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Name	Object																																									
Jim	Laptop77																																									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Location	Location	Location	Location																																							
<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office	<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Book302	8:18	Office	<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Book302	8:18	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Book302	8:18	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Book302	8:18	Office																																								

Probabilistische Datenbank: Anfragesemantik

Definition Gegeben eine Anfrage Q , eine probabilistische DB (\mathbf{W}, P) :

- Die Randwahrscheinlichkeit einer Antwort t ist:

$$P(t) = \sum \{ P(W_i) \mid W_i \in \mathbf{W}, t \in Q(W_i) \}$$

Probabilistische Datenbank: Anfragesemantik

$$Q(z) = \text{Owner}(z,x), \\ \text{Location}(x,t,'Office')$$

Definition Gegeben eine Anfrage Q , eine probabilistische DB (W,P) :

- Die Randwahrscheinlichkeit einer Antwort t ist:

$$P(t) = \sum \{ P(W_i) \mid W_i \in W, t \in Q(W_i) \}$$

W_1	W_2	W_3	W_4																																							
Owner 0.3	Owner 0.4	Owner 0.2	Owner 0.1																																							
<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Joe</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Joe	Laptop77	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Jim	Laptop77	<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Joe	Laptop77																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Name	Object																																									
Jim	Laptop77																																									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Location	Location	Location	Location																																							
<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office	<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Book302	8:18	Office	<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Book302	8:18	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Book302	8:18	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Book302	8:18	Office																																								


Probabilistische Datenbank: Anfragesemantik

$$Q(z) = \text{Owner}(z,x), \\ \text{Location}(x,t,'Office')$$

Definition Gegeben eine Anfrage Q , eine probabilistische DB (W,P) :

- Die Randwahrscheinlichkeit einer Antwort t ist:

$$P(t) = \sum \{ P(W_i) \mid W_i \in W, t \in Q(W_i) \}$$

W_1	W_2	W_3	W_4																																							
Owner 0.3	Owner 0.4	Owner 0.2	Owner 0.1																																							
<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Joe</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Joe	Laptop77	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Laptop77</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Laptop77	<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Joe	Laptop77																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Name	Object																																									
Joe	Laptop77																																									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Location	Location	Location	Location																																							
<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office	<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Book302	8:18	Office	<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Book302	8:18	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Book302	8:18	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Book302	8:18	Office																																								
 <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> <tr><td>Jim</td></tr> </table>	Joe	Jim	$Q=$ <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> </table>	Joe	$Q=$ <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> </table>	Joe	$Q=$ <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> <tr><td>Jim</td></tr> </table>	Joe	Jim																																	
Joe																																										
Jim																																										
Joe																																										
Joe																																										
Joe																																										
Jim																																										

Probabilistische Datenbank: Anfragesemantik

Definition Gegeben eine Anfrage Q , eine probabilistische DB (W,P) :

- Die Randwahrscheinlichkeit einer Antwort t ist:

$$P(t) = \sum \{ P(W_i) \mid W_i \in W, t \in Q(W_i) \}$$

$$Q(z) = \text{Owner}(z,x), \\ \text{Location}(x,t,'Office')$$

$$P(\text{Joe}) = 1.0$$

$$P(\text{Jim}) = 0.4$$

W_1	W_2	W_3	W_4																																							
Owner 0.3	Owner 0.4	Owner 0.2	Owner 0.1																																							
<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Joe</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Joe	Laptop77	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass	<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Laptop77</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Laptop77	<table border="1"> <thead> <tr><th>Name</th><th>Object</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Joe</td><td>Book302</td></tr> <tr><td>Jim</td><td>Laptop77</td></tr> <tr><td>Fred</td><td>GgleGlass</td></tr> </tbody> </table>	Name	Object	Joe	Book302	Jim	Laptop77	Fred	GgleGlass									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Joe	Laptop77																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Name	Object																																									
Joe	Laptop77																																									
Name	Object																																									
Joe	Book302																																									
Jim	Laptop77																																									
Fred	GgleGlass																																									
Location	Location	Location	Location																																							
<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office	<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Book302	8:18	Office	<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	<table border="1"> <thead> <tr><th>Object</th><th>Time</th><th>Loc</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Laptop77</td><td>5:07</td><td>Hall</td></tr> <tr><td>Laptop77</td><td>9:05</td><td>Office</td></tr> <tr><td>Book302</td><td>8:18</td><td>Office</td></tr> </tbody> </table>	Object	Time	Loc	Laptop77	5:07	Hall	Laptop77	9:05	Office	Book302	8:18	Office
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Book302	8:18	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Book302	8:18	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Object	Time	Loc																																								
Laptop77	5:07	Hall																																								
Laptop77	9:05	Office																																								
Book302	8:18	Office																																								
<table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> <tr><td>Jim</td></tr> </table>	Joe	Jim	$Q=$ <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> </table>	Joe	$Q=$ <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> </table>	Joe	$Q=$ <table border="1"> <tr><td>Joe</td></tr> <tr><td>Jim</td></tr> </table>	Joe	Jim																																	
Joe																																										
Jim																																										
Joe																																										
Joe																																										
Joe																																										
Jim																																										



Diskussion

- Intuition: Eine probabilistische Datenbank sagt aus, dass eine Datenbank in einem von verschiedenen möglichen Zuständen ist. Jeder Zustand hat eine Wahrscheinlichkeit
- **Mögliche Anfrageantworten:** Eine Menge von Antworten, annotiert mit Wahrscheinlichkeiten:
 $(t_1, p_1), (t_2, p_2), (t_3, p_3), \dots$
Üblicherweise: $p_1 \geq p_2 \geq p_3 \geq \dots$
- **Problem:** Die Anzahl der möglichen Welten in einer probabilistischen Datenbank ist sehr groß.
- Ziel: Anfragebeantwortung ohne explizite Generierung aller möglichen Welten (eventuell Einschränkungen in der Ausdrucksstärke hinnehmen)

Unabhängige und disjunkte Tupel

Definition Gegeben eine probabilistische DB (\mathbf{W}, P) .

Zwei Tupel t_1, t_2 werden heißen:

- **unabhängig**, falls: $P(t_1 t_2) = P(t_1) P(t_2)$
- **disjunkt** (or exklusiv), falls: $P(t_1 t_2) = 0$

Unabhängige und disjunkte Tupel

Definition Gegeben eine probabilistische DB (\mathbf{W}, \mathbf{P}) .
Zwei Tupel t_1, t_2 werden heißen:

- **unabhängig**, falls: $P(t_1, t_2) = P(t_1) P(t_2)$
- **disjunkt** (or exklusiv), falls: $P(t_1, t_2) = 0$

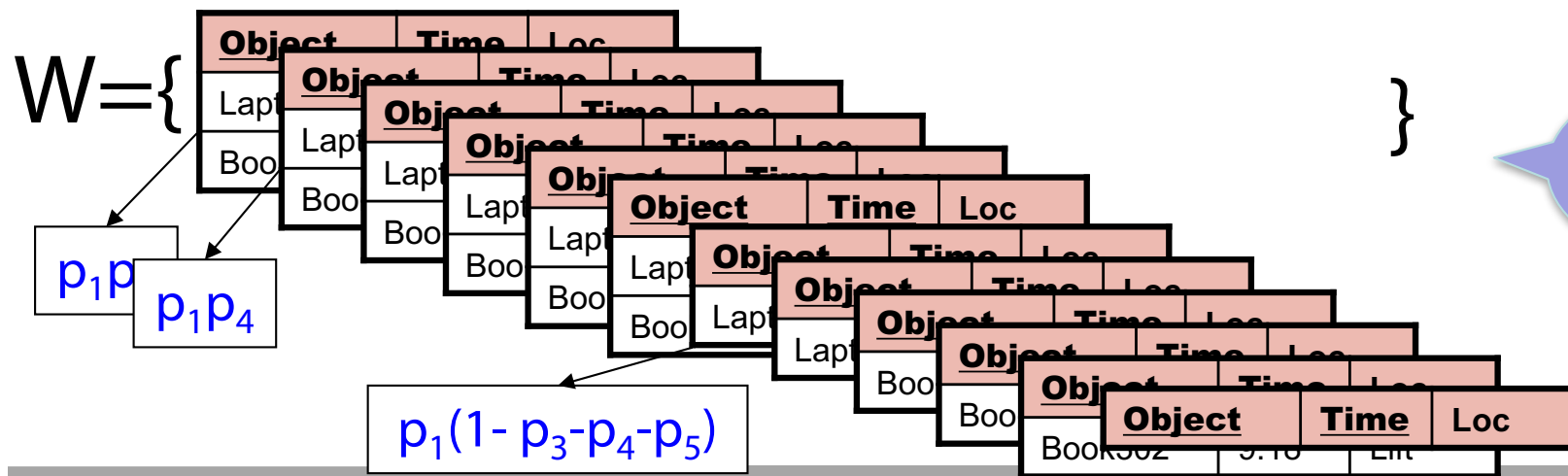
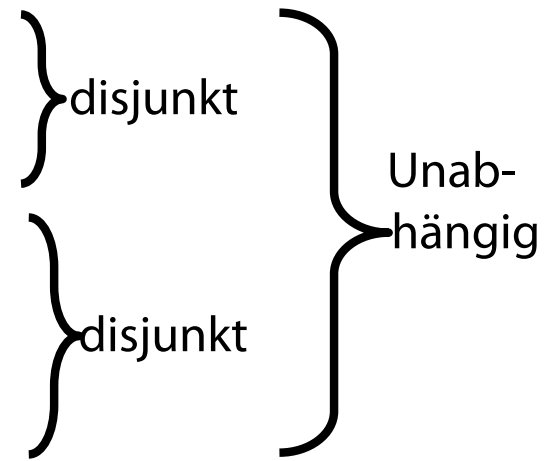
Definition Eine probabilistische DB heißt *block-unabhängig-disjunkt* (BUD), falls die Tupel in Blöcke gruppiert werden können, so dass:

- Tupel vom gleichen Block **disjunkt** sind
- Tupel von verschiedenen Blöcken **unabhängig** sind.

Beispiel: BUD-Tabelle

Object	Time	Loc	P
Laptop77	9:07	Rm444	p_1
Laptop77	9:07	Hall	p_2
Book302	9:18	Office	p_3
Book302	9:18	Rm444	p_4
Book302	9:18	Lift	p_5

BUD Tabelle



Mögliche Welten

Das Anfrage-Evaluationsproblem

Gegeben: BUD-Datenbank D , Anfrage Q , Ausgabebetupel t

Berechne: $P(t)$

NB: D habe, sagen wir, 1.000.000 Tupel,
dann ist die Anzahl der möglichen Welten: $2^{1.000.000}$

Herausforderung: Berechne $P(t)$ effizient, in der Größe von D

Datenkomplexität: die Komplexität von P
hängt von D , der Anzahl der Datenelemente, ab.

Ein Beispiel

```
SELECT DISTINCT 'true'
FROM R, S
WHERE R.x = S.x
```

Boolesche Anfrage:
Join-Tupel vorhanden?

$Q() = R(x), S(x,y)$

$$P(Q) = 1 - \{1 - p_1 * [1 - (1 - q_1) * (1 - q_2)]\} * \\ \{1 - p_2 * [1 - (1 - q_3) * (1 - q_4) * (1 - q_5)]\}$$

Man kann $P(Q)$ in PTIME
bzgl. der Größe der DB D bestimmen

R

x	P
a1	p1
a2	p2
a3	p3

S

x	y	P
a1	b1	q1
a1	b2	q2
a2	b3	q3
a2	b4	q4
a2	b5	q5

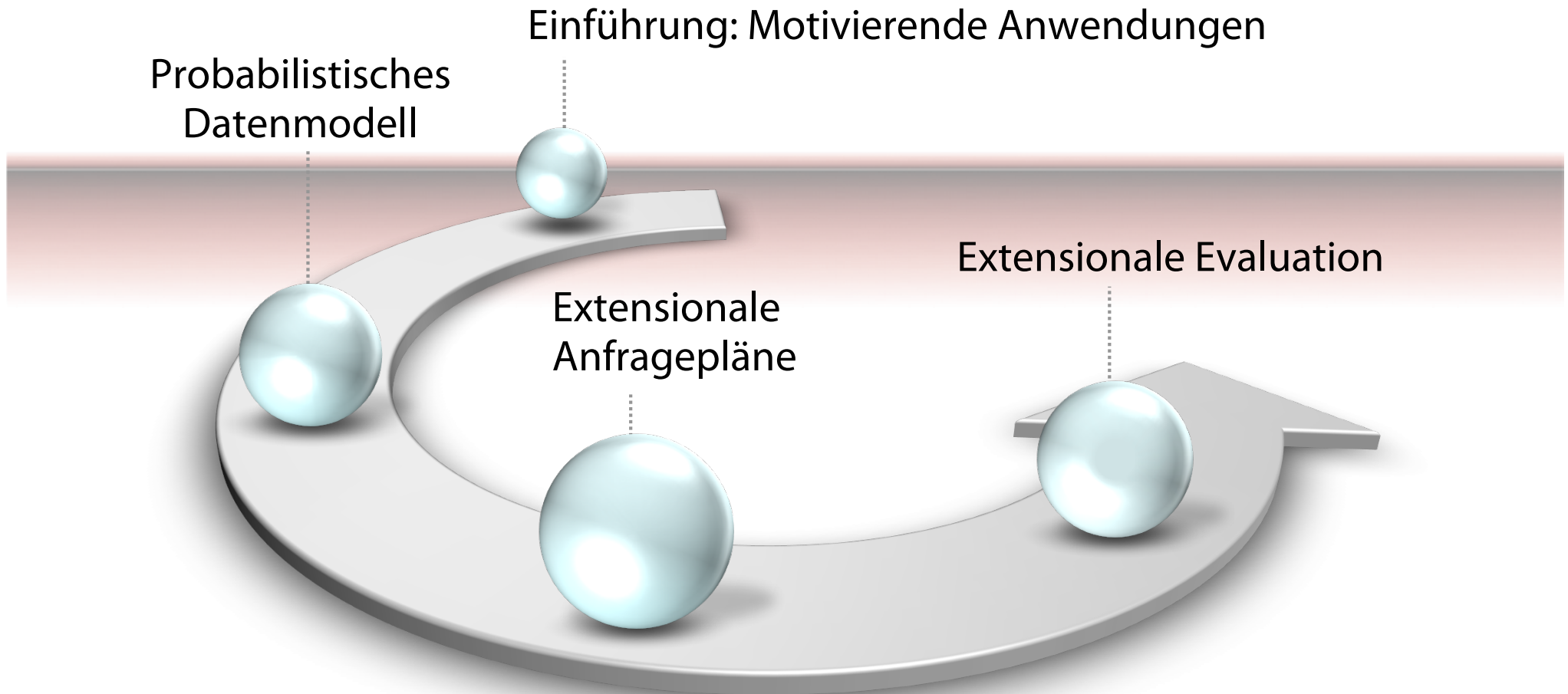
Zusammenfassung: Das probabilistische Datenmodell

- Mögliche-Welten-Semantik:
Mächtig, aber schwierig zu repräsentieren
- **Block-unabhängig-disjunkte** Datenbasen haben effiziente Repräsentationen:
D wird in traditioneller DB gespeichert
- **Unabhängige Datenbasen**: noch einfacher

Herausforderung: evaluiere Q effizient
bzgl. der Größe von **D**

Non-Standard-Datenbanken

Probabilistische Datenbanken



Relationale Algebra

1. Verbund (join) \bowtie
2. Projektion
(mit Duplikat-
Elimination) Π
3. Vereinigung \cup
1. Auswahl (selection) σ
2. Differenz: $-$
hier nicht verwendet

Wiederholung: Anfragebearbeitungspläne

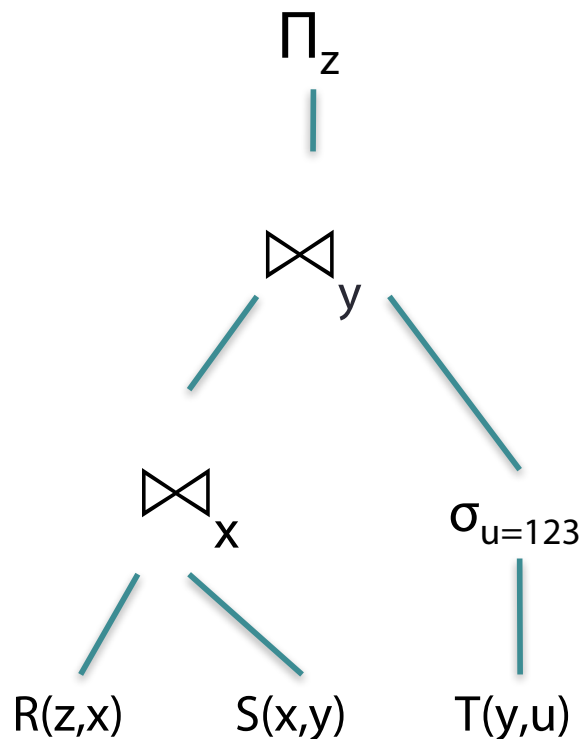
```
SELECT DISTINCT R.z  
FROM R, S, T  
WHERE R.x = S.x  
and S.y=T.y  
and T.u = 123
```

```
Q(z) = R(z,x), S(x,y),T(y,u)
```

Wiederholung: Anfragebearbeitungspläne

```
SELECT DISTINCT R.z
FROM R, S, T
WHERE R.x = S.x
and S.y=T.y
and T.u = 123
```

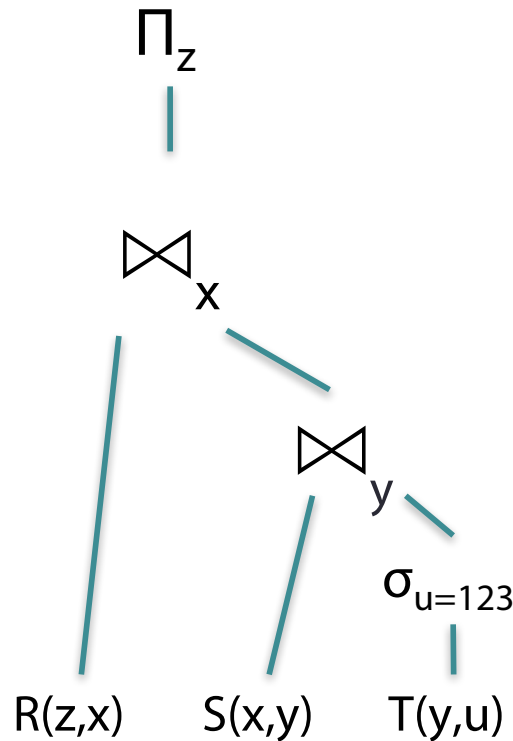
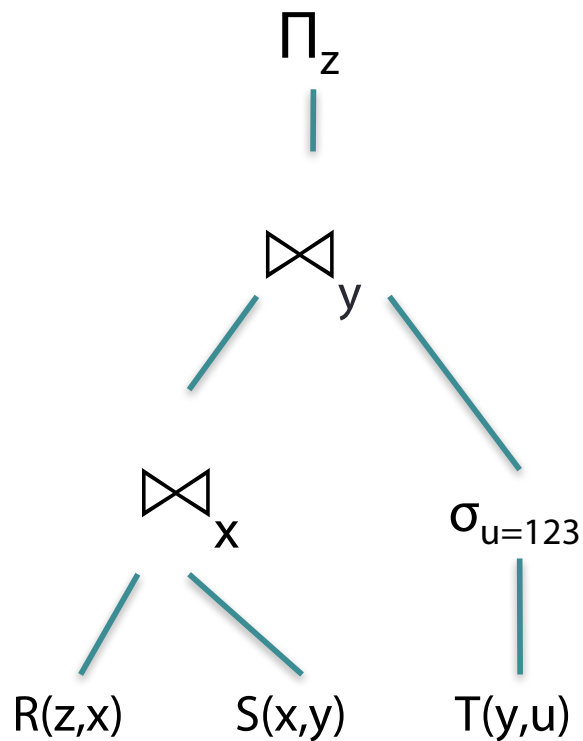
$Q(z) = R(z,x), S(x,y), T(y,u)$



Wiederholung: Anfragebearbeitungspläne

SELECT DISTINCT R.z
FROM R, S, T
WHERE R.x = S.x
and S.y=T.y
and T.u = 123

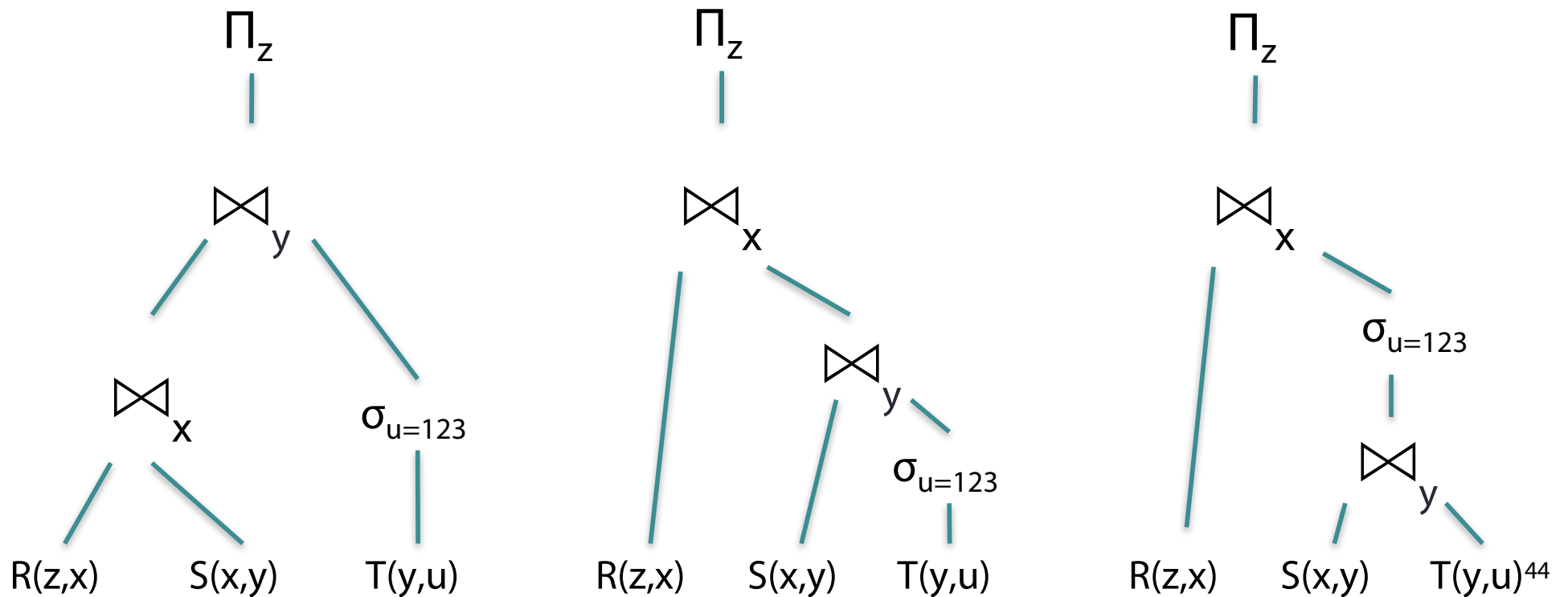
$Q(z) = R(z,x), S(x,y), T(y,u)$



Wiederholung: Anfragebearbeitungspläne

SELECT DISTINCT R.z
FROM R, S, T
WHERE R.x = S.x
and S.y=T.y
and T.u = 123

$Q(z) = R(z,x), S(x,y), T(y,u)$

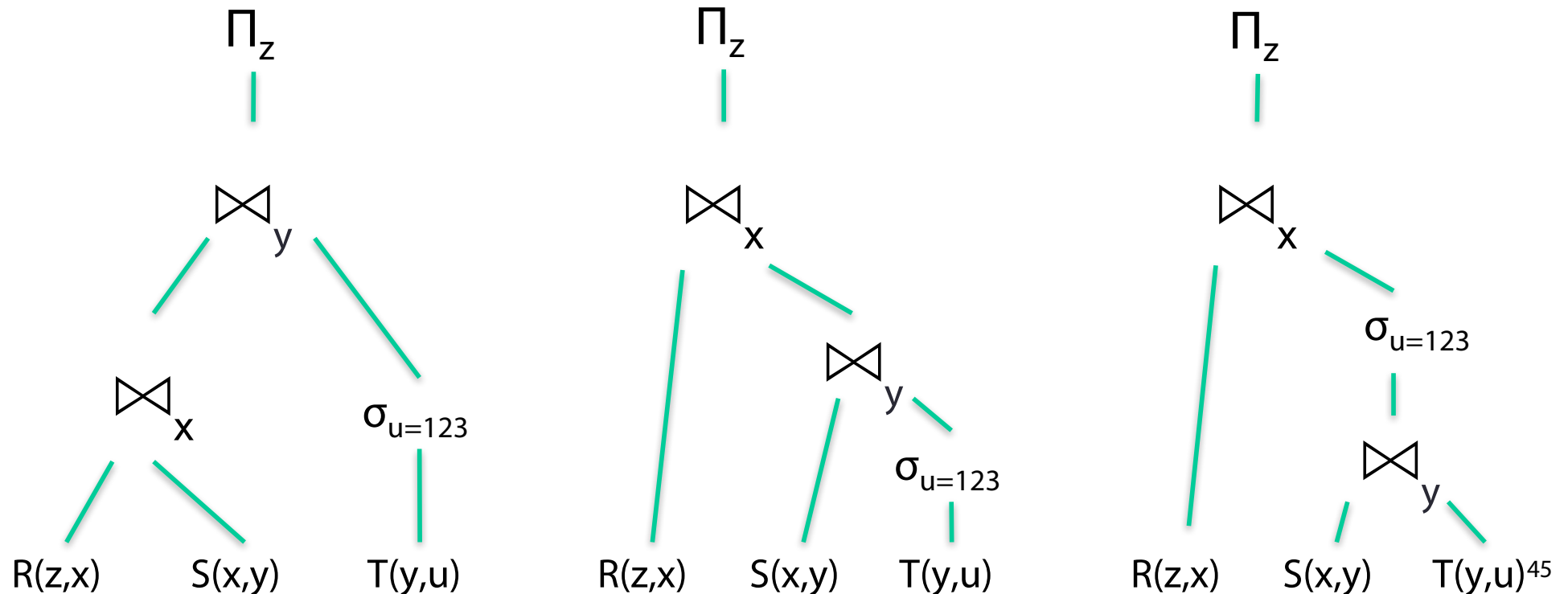


Wiederholung: Anfragebearbeitungspläne

SELECT DISTINCT R.z
FROM R, S, T
WHERE R.x = S.x
and S.y=T.y
and T.u = 123

$Q(z) = R(z,x), S(x,y), T(y,u)$

Diese Pläne sind äquivalent (liefern gleiche Ergebnisse)
Der Anfrageoptimierer wählt den Plan mit den geringsten Kosten



Extensionale Pläne

- Kernidee:
 - Modifiziere jeden Operator, sodass Wahrscheinlichkeiten für die Ausgabe berechnet werden
- Annahmen notwendig:
 - Ereignisse sind
 - unabhängig oder
 - disjunkt (exklusive)

Extensionale Operatoren

Independent
join

A	B	P
a1	b1	$p1 \cdot q1$
a1	b2	$p1 \cdot q2$
a2	b3	$p2 \cdot q3$
a2	b4	$p2 \cdot q4$
a2	b5	$p2 \cdot q5$

i



i für
independent

R(A)

S(A,B)

A	P
a1	$p1$
a2	$p2$
a3	$p3$

A	B	P
a1	b1	$q1$
a1	b2	$q2$
a2	b3	$q3$
a2	b4	$q4$
a2	b5	$q5$

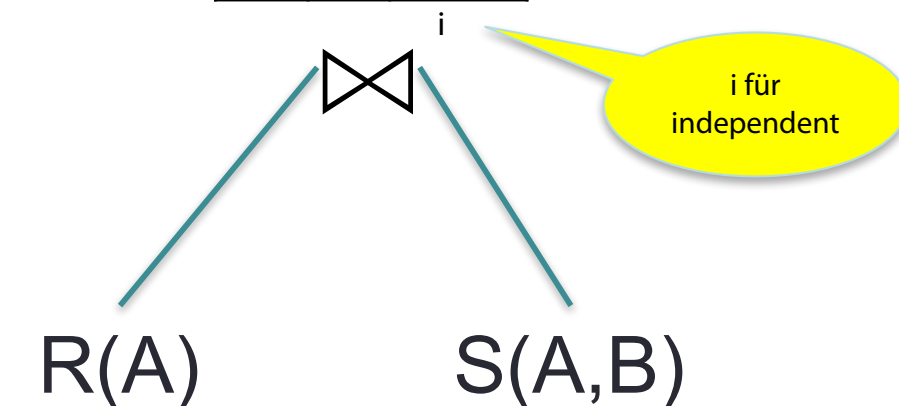
Extensionale Operatoren

Independent join

A	B	P
a1	b1	$p1 \cdot q1$
a1	b2	$p1 \cdot q2$
a2	b3	$p2 \cdot q3$
a2	b4	$p2 \cdot q4$
a2	b5	$p2 \cdot q5$

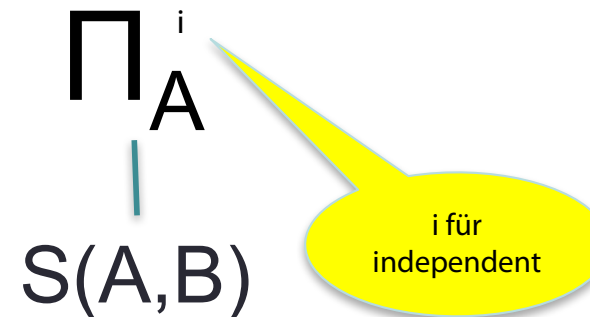
Independent project

A	P
a1	$1 - (1-q1) \cdot (1-q2)$
a2	$1 - (1-q3) \cdot (1-q4) \cdot (1-q5)$



A	P
a1	$p1$
a2	$p2$
a3	$p3$

A	B	P
a1	b1	$q1$
a1	b2	$q2$
a2	b3	$q3$
a2	b4	$q4$
a2	b5	$q5$



A	B	P
a1	b1	$q1$
a1	b2	$q2$
a2	b3	$q3$
a2	b4	$q4$
a2	b5	$q5$

Extensionale Operatoren

Independent join

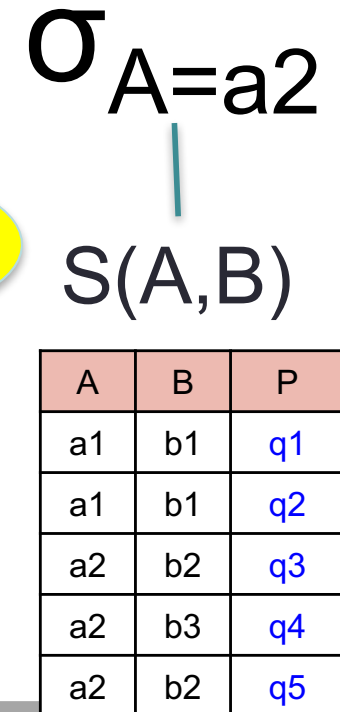
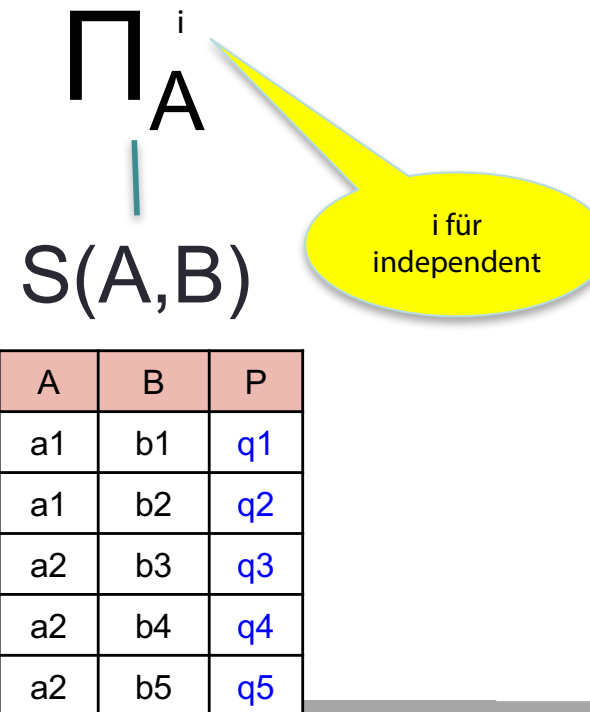
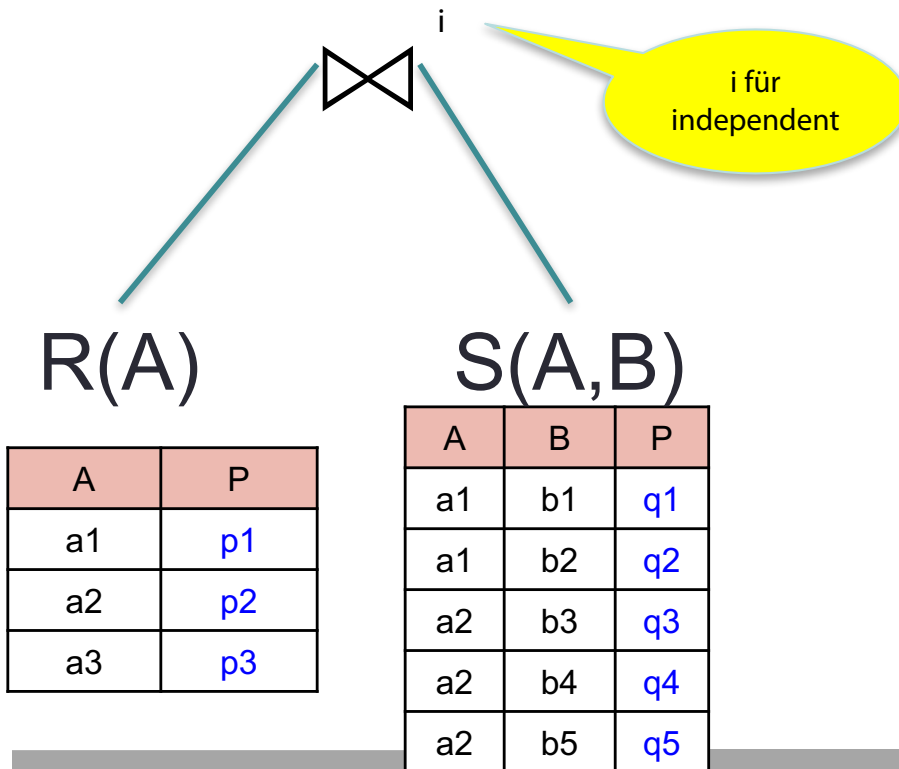
A	B	P
a1	b1	$p1 \cdot q1$
a1	b2	$p1 \cdot q2$
a2	b3	$p2 \cdot q3$
a2	b4	$p2 \cdot q4$
a2	b5	$p2 \cdot q5$

Independent project

A	P
a1	$1 - (1-q1) \cdot (1-q2)$
a2	$1 - (1-q3) \cdot (1-q4) \cdot (1-q5)$

Selection

A	B	P
a2	b2	$q3$
a2	b3	$q4$
a2	b2	$q5$

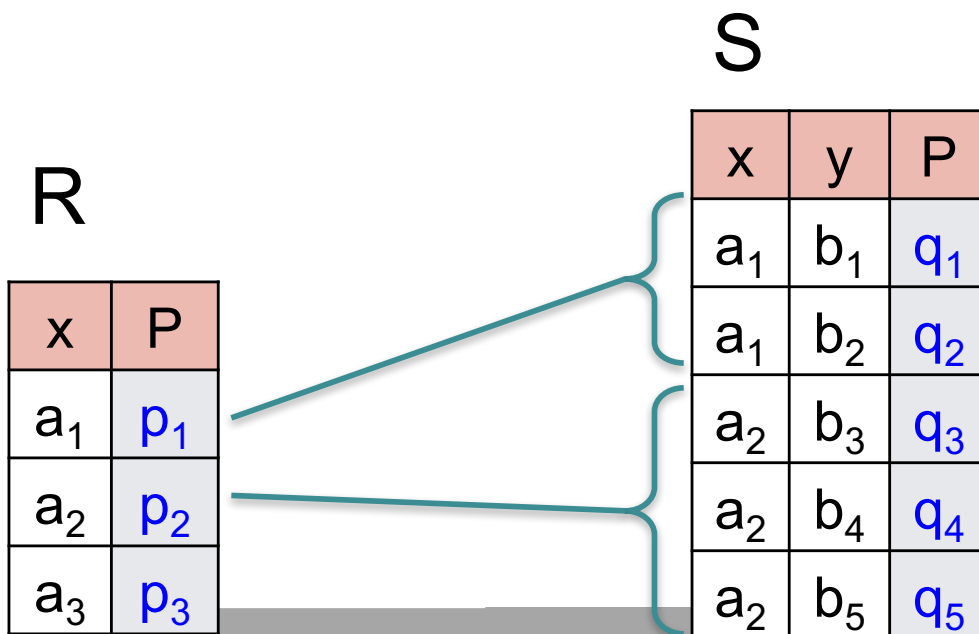


SELECT DISTINCT 'true'
FROM R, S
WHERE R.x = S.x

$$Q() = R(x), S(x,y)$$

$$P(Q) = 1 - [1 - p_1 * (1 - (1 - q_1) * (1 - q_2))] * [1 - p_2 * (1 - (1 - q_3) * (1 - q_4) * (1 - q_5))]$$

Beispiel



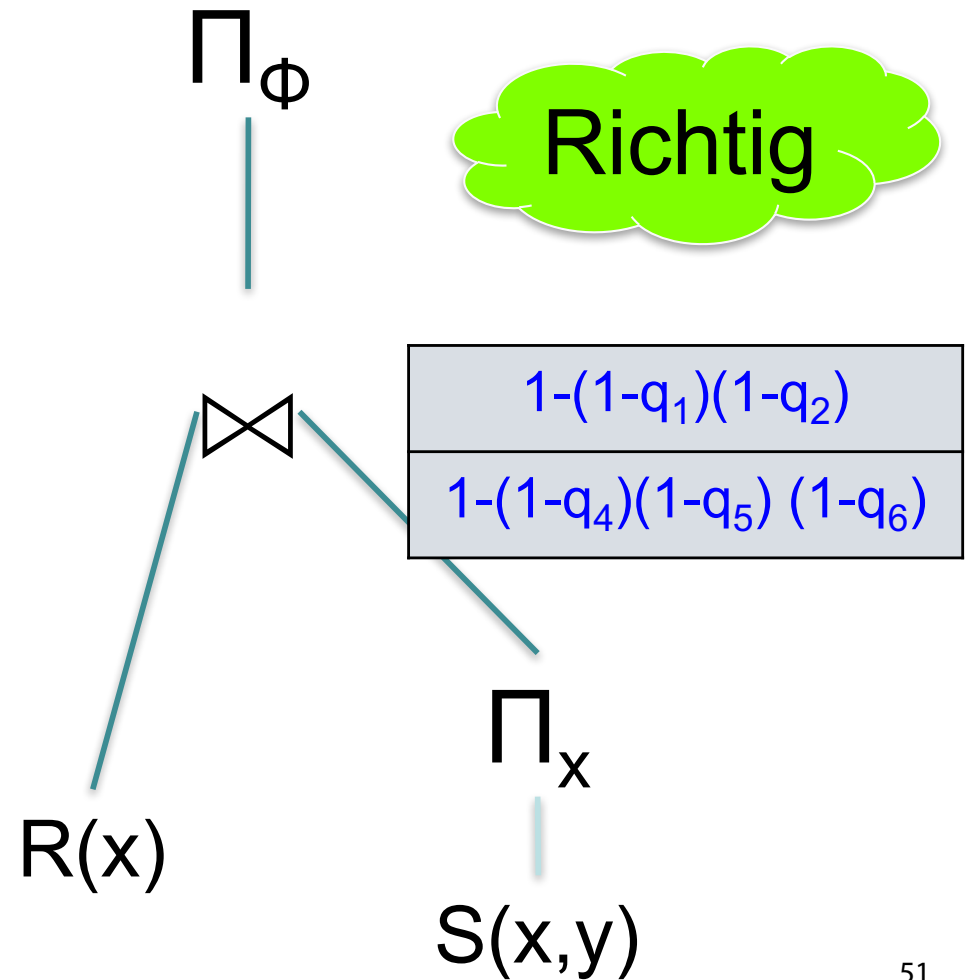
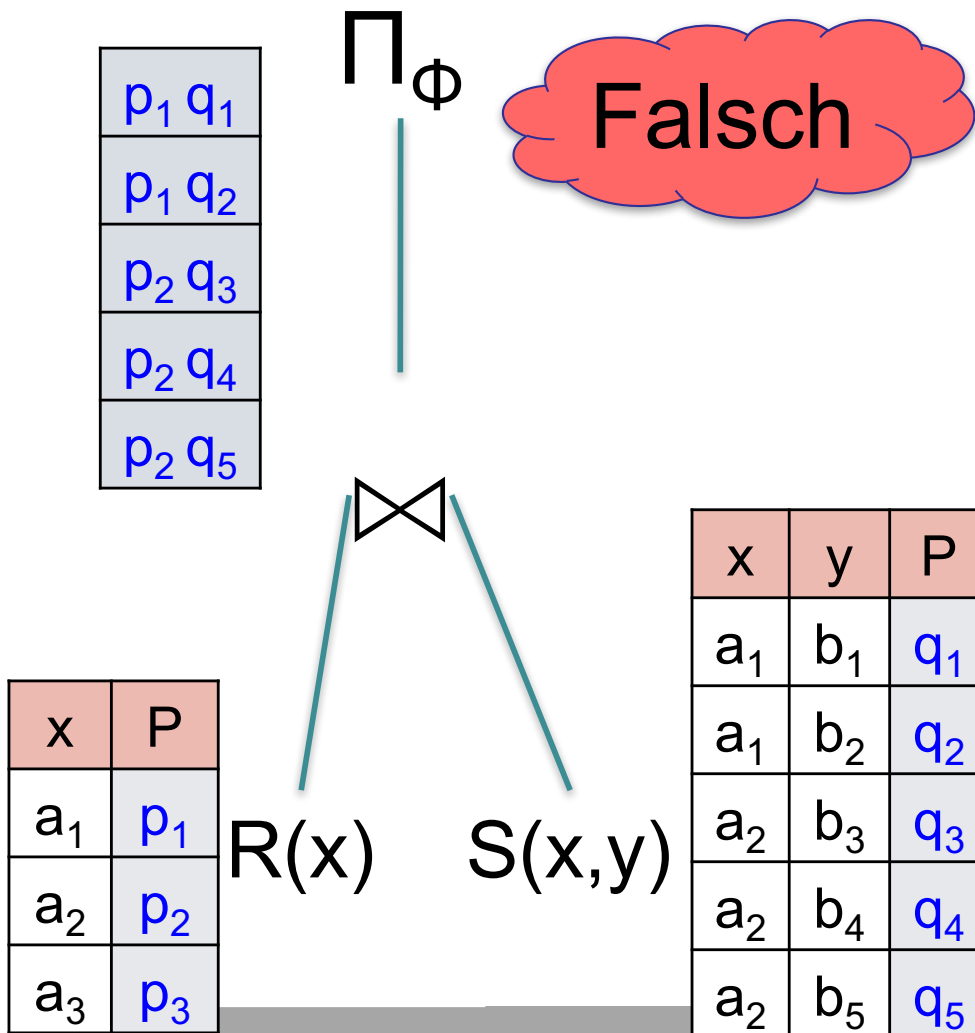
SELECT DISTINCT 'true'
FROM R, S
WHERE R.x = S.x

$$Q() = R(x), S(x,y)$$

$$P(Q) = 1 - [1 - p_1 * (1 - (1 - q_1) * (1 - q_2))] * [1 - p_2 * (1 - (1 - q_3) * (1 - q_4) * (1 - q_5))]$$

$$1 - (1 - p_1 q_1)(1 - p_1 q_2)(1 - p_2 q_3)(1 - p_2 q_4)(1 - p_2 q_5)$$

$$1 - \{1 - p_1 [1 - (1 - q_1)(1 - q_2)]\} * \{1 - p_2 [1 - (1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)]\}$$



Sichere Pläne

- Sei ein Schema für eine probabilist. DB gegeben
 - Relationen tupel-unabhängig oder BUD bei gegebenem Schlüssel

Definition: Ein Plan heißt *sicher*, wenn er die Wahrscheinlichkeiten für die Ausgabe richtig berechnet

- Anfrageoptimierung: Finde kostengünstigen aber sicheren Plan

Einsichten 1

- Äquivalente Pläne können unter Betrachtung der Wahrscheinlichkeiten inäquivalent werden
- Ein korrekter Plan wird sicher genannt
- Ziel: Finde sicheren Plan!
- Gibt es für jede Anfrage einen sicheren Plan?

Unsichere Anfragen

R

X	P
x1	p1
x2	p2

S

X	Y
x1	y1
x1	y2
x2	y2

T

Y	P
y1	q1
y2	q2

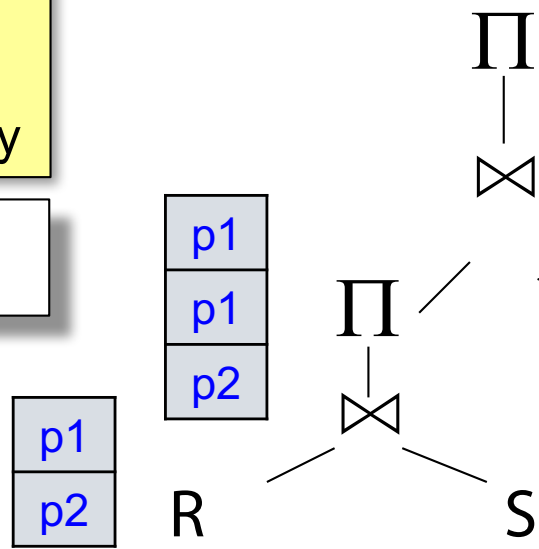
SELECT DISTINCT 'yes'
FROM R, S, T
WHERE R.x = S.x and S.y = T.y

H_0 :- R(x), S(x,y), T(y)

$1 - (1 - p_1 q_1) (1 - (1 - (1 - p_1) (1 - p_2)) q_2)$

p1q1
 $(1 - (1 - p_1) (1 - p_2)) q_2$

Wrong



Der Plan bestimmt eine obere Grenze

W Gatterbauer, D Suciu, Oblivious bounds on the probability of Boolean functions, ACM Transactions on Database Systems (TODS) 39 (1), 5, 2013

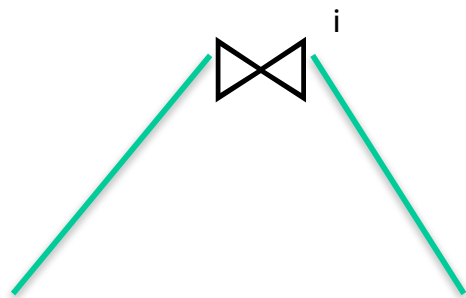
Diskussion

- Sichere Anfragen haben einen sicheren Plan und können effektiv berechnet werden
- **Für unsichere Anfragen** kann kein sicherer Plan bestimmt werden, und es kann gezeigt werden, dass sie nicht effizient berechnet werden können
- Jeder extensionale Plan (sicher oder unsicher) kann direkt in SQL ausgedrückt werden – gezeigt am Beispiel von PostgreSQL

Extensionale Pläne in PostgreSQL

A	B	P
a1	b1	p1*q1
a1	b2	p1*q2
a2	b3	p2*q3
a2	b4	p2*q4
a2	b5	p2*q5

```
SELECT R.A, S.B, R.P*S.P
FROM R, S
WHERE R.A=S.A
```



R(A)

S(A,B)

A	P
a1	p1
a2	p2
a3	p3

A	B	P
a1	b1	q1
a1	b2	q2
a2	b3	q3
a2	b4	q4
a2	b5	q5

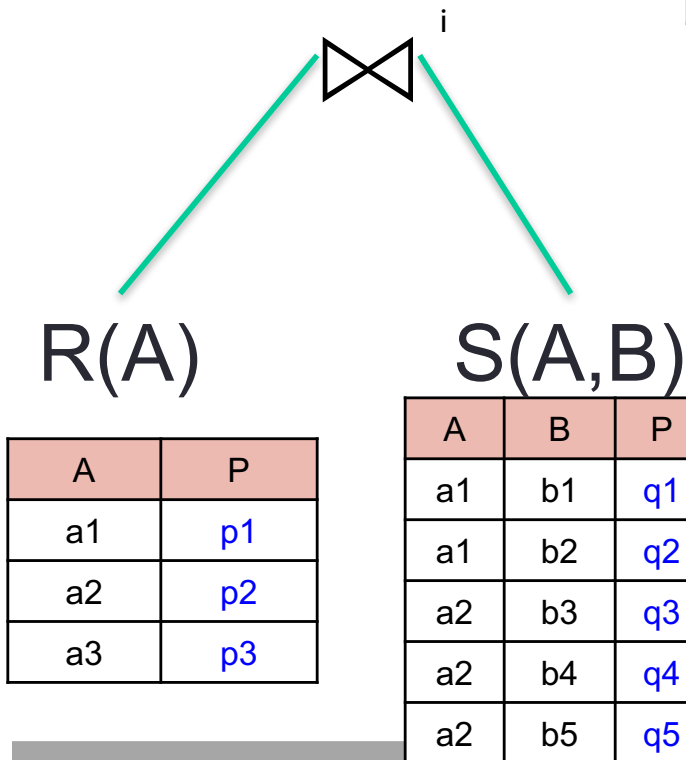
Extensional Plans in Postgres

A	B	P
a1	b1	$p1 \cdot q1$
a1	b2	$p1 \cdot q2$
a2	b3	$p2 \cdot q3$
a2	b4	$p2 \cdot q4$
a2	b5	$p2 \cdot q5$

```
SELECT R.A, S.B, R.P*S.P
FROM R, S
WHERE R.A=S.A
```

```
SELECT S.A, 1.0-prod(1.0 - S.p)
FROM S
GROUP BY S.A
```

A	P
a1	$1 - (1-q1) \cdot (1-q2)$
a2	$1 - (1-q3) \cdot (1-q4) \cdot (1-q5)$

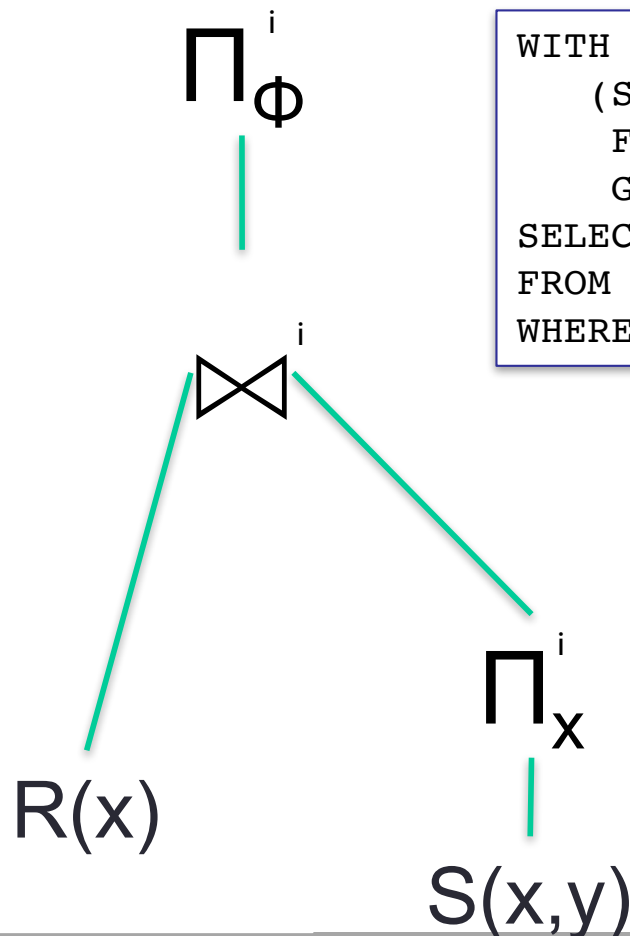


A	B	P
a1	b1	$q1$
a1	b2	$q2$
a2	b3	$q3$
a2	b4	$q4$
a2	b5	$q5$

```
create or replace
function combine_prod(float, float)
returns float as
'select $1 * $2' language SQL;
create or replace
function final_prod(float)
returns float as
'select $1' language SQL;
drop aggregate if exists prod (float);
create aggregate prod(float)
( sfunc = combine_prod,
  stype = float,
  finalfunc = final_prod,
  initcond = '1.0'
);
```

Extensional Plans in Postgres

```
SELECT DISTINCT 'true'
FROM R, S
WHERE R.x = S.x
```



```
WITH Temp AS
  (SELECT S.x, 1.0-prod(1.0 - S.p) as p
   FROM S
   GROUP BY S.x)
SELECT 'true' as z, 1.0-prod(1.0 - R.P * Temp.P) as p
FROM R, Temp
WHERE R.x = Temp.x
```

Eingaben für PostgreSQL:

```

-----
-- First step: download postgres from http://www.postgresql.org/
-- Second step: run the command "createdb pdb"
-- Third step: run the command "psql pdb" then cut/paste commands below
-----
-- define an aggregate function to compute the product
create or replace function combine_prod (float, float) returns float as 'select $1 * $2' language SQL;
create or replace function final_prod (float) returns float as 'select $1' language SQL;
drop aggregate if exists prod (float);
create aggregate prod (float)
(
  sfunc = combine_prod,
  stype = float,
  finalfunc = final_prod,
  initcond = '1.0'
);

-----
-- simple tables, similar to those used in the tutorial
create table R(z char(8), x char(8), p float);
create table S(x char(8), y char(8), p float);

insert into R values('c', 'a1', 0.5);
insert into R values('c', 'a2', 0.5);
insert into R values('c', 'a3', 0.5);

insert into S values('a1', 'b1', 0.5);
insert into S values('a1', 'b2', 0.5);
insert into S values('a2', 'b2', 0.5);
insert into S values('a2', 'b3', 0.5);
insert into S values('a2', 'b4', 0.5);

-- computing the query  $Q(z) = R(z,x),S(x,y)$ 
-- a safe plan:
with Temp as
  (select S.x, 1.0-prod(1.0-p) as p
   from S
   group by S.x)
select R.z, 1.0-prod(1-R.p*Temp.p)
from R, Temp
where R.x=Temp.x
group by R.z;

-- an unsafe plan; guaranteed to return an upper bound on the probability
select R.z, 1.0-prod(1-R.p*S.p)
from R, S
where R.x=S.x
group by R.z;

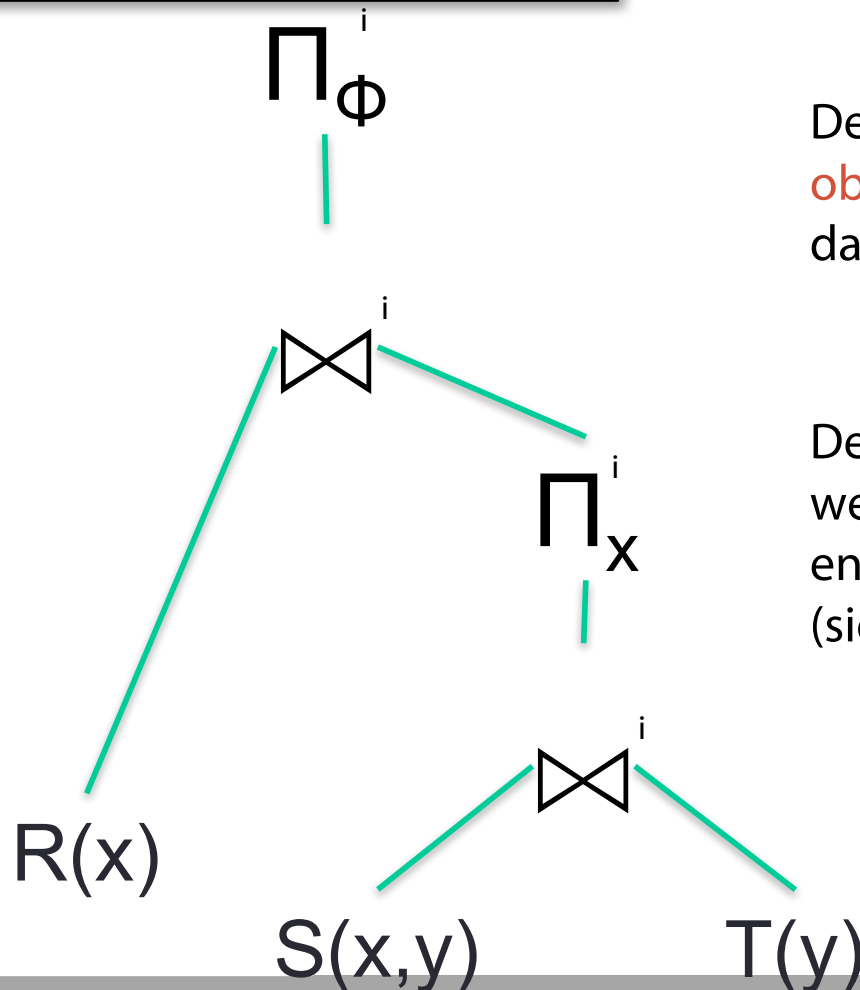
```

Extensionale Pläne in PostgreSQL

```
SELECT DISTINCT 'yes'
FROM R, S, T
WHERE R.x = S.x and S.y = T.y
```

Diese Anfrage ist **unsicher**.

Der Plan ist **unsicher**, aber er liefert eine **obere Grenze** für den Wahrscheinlichkeitswert, dass die Anfrage mit 'yes' beantwortet wird.



Der Plan generiert eine **untere Grenze**, wenn die Wahrscheinlichkeiten in T entsprechend angepasst werden (siehe Literatur)

W Gatterbauer, D Suciu, Oblivious bounds on the probability of Boolean functions, ACM Transactions on Database Systems (TODS) 39 (1), 5, 2013

Eingaben für PostgreSQL:

```

-----
-- The following approximation plans for unsafe queries are from
-- Gatterbauer, Suciu: Oblivious Bounds on the Probability of Boolean Functions

-- create a third table
create table T(y char(8), p float);

insert into T values('b1', 0.5);
insert into T values('b2', 0.5);
insert into T values('b3', 0.5);
insert into T values('b4', 0.5);

-- computing the query  $Q(z) = R(z,x), S(x,y), T(y)$ 
-- This query has no safe plans

-- Next two unsafe plans compute upper bounds on the probability:
-- Unsafe plan #1
with Temp as
  (select S.x, 1.0-prod(1.0-S.p*T.p) as p
   from S,T
   where S.y=T.y
   group by S.x)
select R.z, 1.0-prod(1-R.p*Temp.p)
from R, Temp
where R.x=Temp.x
group by R.z;

-- Unsafe plan #2
with Temp as
  (select R.z,S.y,1.0-prod(1.0-R.p*S.p) as p
   from R,S
   where R.x=S.x
   group by R.z,S.y)
select Temp.z, 1.0-prod(1-Temp.p*T.p)
from Temp, T
where Temp.y=T.y
group by Temp.z;

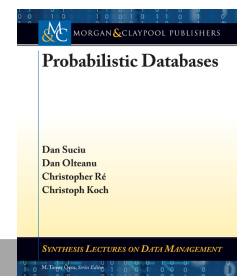
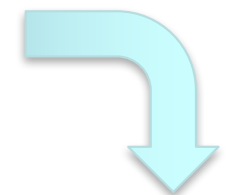
-- Next two unsafe plans compute lower bounds on the probability:
with newT as
  (select T.y, 1-exp((ln(1-T.p))/count(*)) as p
   from S,T
   where S.y=T.y
   group by T.y, T.p),
Temp as
  (select S.x, 1.0-prod(1.0-S.p*newT.p) as p
   from S,newT
   where S.y=newT.y
   group by S.x)
select R.z, 1.0-prod(1-R.p*Temp.p)
from R, Temp
where R.x=Temp.x
group by R.z;

with newR as
  (select R.z, R.x, 1-exp((ln(1-R.p))/count(*)) as p
   from R,S
   where R.x=S.x
   group by R.z,R.x,R.p),
Temp as
  (select newR.z, S.y, 1.0-prod(1.0-newR.p*S.p) as p
   from newR, S
   where newR.x=S.x
   group by newR.z, S.y)
select Temp.z, 1.0-prod(1-Temp.p*T.p)
from Temp, T
where Temp.y=T.y
group by Temp.z;

```

Einsichten 2

- Man benötigt kein neues probabilistisches DB-System für eine probabilistische Datenbasis!
- Was man benötigt, sind SQL-Kenntnisse und Kenntnisse in Wahrscheinlichkeitstheorie
- Im Buch über probabilistische Datenbanken steht auch, wie's geht!



Wiederholung: Unions of Conjunctive Queries

Owners of items in either "Office444" or "Hall7":

Atom

$$Q(z) = \exists x_1 \exists t_1 (\text{Owner}(z, x_1) \wedge \text{Location}(x_1, t_1, \text{"Office444"})) \vee \exists x_2 \exists t_2 (\text{Owner}(z, x_2) \wedge \text{Location}(x_2, t_2, \text{"Hall7"}))$$

Ohne Quantoren:

$$Q(z) = \text{Owner}(z, x_1), \text{Location}(x_1, t_1, \text{"Office444"}) \vee \text{Owner}(z, x_2), \text{Location}(x_2, t_2, \text{"Hall7"})$$

Wiederholung: Unions of Conjunctive Queries

Owners of items in either "Office444" or "Hall7":

$$Q(z) = \exists x_1 \exists t_1 (\text{Owner}(z, x_1) \wedge \text{Location}(x_1, t_1, \text{"Office444"})) \vee \\ \exists x_2 \exists t_2 (\text{Owner}(z, x_2) \wedge \text{Location}(x_2, t_2, \text{"Hall7"}))$$

Ohne Quantoren:

Union of conjunctive queries

$$Q(z) = \text{Owner}(z, x_1), \text{Location}(x_1, t_1, \text{"Office444"}) \vee \text{Owner}(z, x_2), \text{Location}(x_2, t_2, \text{"Hall7"})$$

Wiederholung: Unions of Conjunctive Queries

Owners of items in either "Office444" or "Hall7":

$$Q(z) = \exists x_1 \exists t_1 (\text{Owner}(z, x_1) \wedge \text{Location}(x_1, t_1, \text{"Office444"})) \vee \\ \exists x_2 \exists t_2 (\text{Owner}(z, x_2) \wedge \text{Location}(x_2, t_2, \text{"Hall7"}))$$

Ohne Quantoren:

Union of conjunctive queries

$$Q(z) = \text{Owner}(z, x_1), \text{Location}(x_1, t_1, \text{"Office444"}) \vee \text{Owner}(z, x_2), \text{Location}(x_2, t_2, \text{"Hall7"})$$

Nach Umformung:

$$Q(z) = \text{Owner}(z, x) \wedge \exists t [\text{Location}(x, t, \text{"Office444"}) \vee \text{Location}(x, t, \text{"Hall7"})]$$

Wiederholung: Unions of Conjunctive Queries

Owners of items in either "Office444" or "Hall7":

$$Q(z) = \exists x_1 \exists t_1 (\text{Owner}(z, x_1) \wedge \text{Location}(x_1, t_1, \text{"Office444"})) \vee \\ \exists x_2 \exists t_2 (\text{Owner}(z, x_2) \wedge \text{Location}(x_2, t_2, \text{"Hall7"}))$$

Ohne Quantoren:

Union of conjunctive queries

$$Q(z) = \text{Owner}(z, x_1), \text{Location}(x_1, t_1, \text{"Office444"}) \vee \text{Owner}(z, x_2), \text{Location}(x_2, t_2, \text{"Hall7"})$$

Nach Umformung:

$$Q(z) = \text{Owner}(z, x) \wedge \exists t [\text{Location}(x, t, \text{"Office444"}) \vee \text{Location}(x, t, \text{"Hall7"})]$$

Unter Verwendung von:

1. Distributivgesetz für \vee, \wedge
2. Kommutativgesetz für \exists, \vee : $(\exists x P(x)) \vee (\exists y T(y)) = \exists z (P(z) \vee T(z))$

Vier Regeln, um sichere Anfragen zu erzeugen

- Independent join
- Independent project
- Independent union
- Inclusion/exclusion

Wir beschränken uns auf **Boolesche Anfragen**.

Regel 1: Independent Join

$$P(Q1 \wedge Q2) = P(Q1)P(Q2)$$

Wenn Q1 und Q2 unabhängig sind
(also keine gemeinsamen Atome haben)

Regel 1: Independent Join

$$P(Q1 \wedge Q2) = P(Q1)P(Q2)$$

Wenn Q1 und Q2 unabhängig sind
(also keine gemeinsamen Atome haben)

Regel 2: Independent Project

$$P(\exists z Q) = 1 - \prod_{a \in \text{Domain}} (1 - P(Q[a/z]))$$

Wenn z eine "Separatorvariable" in Q
ist, also für Konstanten a,b, Q[a/z]
und Q[b/z] unabhängig sind

Regel 1: Independent Join

$$P(Q1 \wedge Q2) = P(Q1)P(Q2)$$

Wenn Q1 und Q2 unabhängig sind
(also keine gemeinsamen Atome haben)

Regel 2: Independent Project

$$P(\exists z Q) = 1 - \prod_{a \in \text{Domain}} (1 - P(Q[a/z]))$$

Wenn z eine "Separatorvariable" in Q
ist, also für Konstanten a,b, Q[a/z]
und Q[b/z] unabhängig sind

Regel 3: Independent Union

$$P(Q1 \vee Q2) = 1 - (1 - P(Q1))(1 - P(Q2))$$

Wenn Q1 und Q2 unabhängig sind
(also keine gemeinsamen Atome haben)

Beispiel

$$Q_U = R(x_1), S(x_1, y_1) \vee T(x_2), S(x_2, y_2)$$

$$= \exists x_1 \exists y_1 R(x_1) \wedge S(x_1, y_1) \vee \exists x_2 \exists y_2 T(x_2) \wedge S(x_2, y_2)$$

Beispiel

$$Q_U = R(x_1), S(x_1, y_1) \vee T(x_2), S(x_2, y_2)$$

$$= \exists x_1 \exists y_1 R(x_1) \wedge S(x_1, y_1) \vee \exists x_2 \exists y_2 T(x_2) \wedge S(x_2, y_2)$$

$$Q_U = \exists z [R(z) \wedge S(z, y_1) \vee T(z) \wedge S(z, y_2)]$$

Kommutiere \exists mit \vee

Beispiel

$$Q_U = R(x_1), S(x_1, y_1) \vee T(x_2), S(x_2, y_2)$$

$$= \exists x_1 \exists y_1 R(x_1) \wedge S(x_1, y_1) \vee \exists x_2 \exists y_2 T(x_2) \wedge S(x_2, y_2)$$

$$Q_U = \exists z [R(z) \wedge S(z, y_1) \vee T(z) \wedge S(z, y_2)]$$

Kommutiere \exists mit \vee

$$P(Q_U) = 1 - \prod_{a \in \text{Domain}} (1 - P[R(a) \wedge \underline{S(a, y_1)} \vee T(a) \wedge \underline{S(a, y_2)}])$$

Independent project: Für $a \neq b$, sind $Q_U[a/z]$ und $Q_U[b/z]$ unabhängig weil die Atome $R(a), S(a, y_1), T(a), S(a, y_2)$ disjunkt sind von $R(b), S(b, y_1), T(b), S(b, y_2)$

Beispiel

$$Q_U = R(x_1), S(x_1, y_1) \vee T(x_2), S(x_2, y_2)$$

$$= \exists x_1 \exists y_1 R(x_1) \wedge S(x_1, y_1) \vee \exists x_2 \exists y_2 T(x_2) \wedge S(x_2, y_2)$$

$$Q_U = \exists z [R(z) \wedge S(z, y_1) \vee T(z) \wedge S(z, y_2)]$$

Kommutiere \exists mit \vee

$$P(Q_U) = 1 - \prod_{a \in \text{Domain}} (1 - P[R(a) \wedge S(a, y_1) \vee T(a) \wedge S(a, y_2)])$$

Independent project: Für $a \neq b$, sind $Q_U[a/z]$ und $Q_U[b/z]$ unabhängig weil die Atome $R(a), S(a, y_1), T(a), S(a, y_2)$ disjunkt sind von $R(b), S(b, y_1), T(b), S(b, y_2)$

$$P(Q_U) = 1 - \prod_{a \in \text{Domain}} (1 - P[(R(a) \vee T(a)) \wedge \exists y. S(a, y)])$$

Distribution \wedge über \vee

Beispiel

$$Q_U = R(x_1), S(x_1, y_1) \vee T(x_2), S(x_2, y_2)$$

$$= \exists x_1 \exists y_1 R(x_1) \wedge S(x_1, y_1) \vee \exists x_2 \exists y_2 T(x_2) \wedge S(x_2, y_2)$$

$$Q_U = \exists z [R(z) \wedge S(z, y_1) \vee T(z) \wedge S(z, y_2)]$$

Kommutiere \exists mit \vee

$$P(Q_U) = 1 - \prod_{a \in \text{Domain}} (1 - P[R(a) \wedge S(a, y_1) \vee T(a) \wedge S(a, y_2)])$$

Independent project: Für $a \neq b$, sind $Q_U[a/z]$ und $Q_U[b/z]$ unabhängig weil die Atome $R(a), S(a, y_1), T(a), S(a, y_2)$ disjunkt sind von $R(b), S(b, y_1), T(b), S(b, y_2)$

$$P(Q_U) = 1 - \prod_{a \in \text{Domain}} (1 - P[(R(a) \vee T(a)) \wedge \exists y. S(a, y)])$$

Distribution \wedge über \vee

$$P(Q_U) = 1 - \prod_{a \in \text{Domain}} (1 - P[R(a) \vee T(a)] P[\exists y. S(a, y)])$$

Independent join

Beispiel

$$Q_U = R(x_1), S(x_1, y_1) \vee T(x_2), S(x_2, y_2)$$

$$= \exists x_1 \exists y_1 R(x_1) \wedge S(x_1, y_1) \vee \exists x_2 \exists y_2 T(x_2) \wedge S(x_2, y_2)$$

$$Q_U = \exists z [R(z) \wedge S(z, y_1) \vee T(z) \wedge S(z, y_2)]$$

Kommutiere \exists mit \vee

$$P(Q_U) = 1 - \prod_{a \in \text{Domain}} (1 - P[R(a) \wedge S(a, y_1) \vee T(a) \wedge S(a, y_2)])$$

Independent project: Für $a \neq b$, sind $Q_U[a/z]$ und $Q_U[b/z]$ unabhängig weil die Atome $R(a), S(a, y_1), T(a), S(a, y_2)$ disjunkt sind von $R(b), S(b, y_1), T(b), S(b, y_2)$

$$P(Q_U) = 1 - \prod_{a \in \text{Domain}} (1 - P[(R(a) \vee T(a)) \wedge \exists y. S(a, y)])$$

Distribution \wedge über \vee

$$P(Q_U) = 1 - \prod_{a \in \text{Domain}} (1 - P[R(a) \vee T(a)] P[\exists y. S(a, y)])$$

Independent join

$$P(Q_U) = 1 - \prod_{a \in \text{Domain}} (1 - (1 - (1 - P[R(a)])(1 - P[T(a)])) (1 - \prod_{b \in \text{Domain}} (1 - P[S(a, b)])))$$

Hierarchische Anfragen

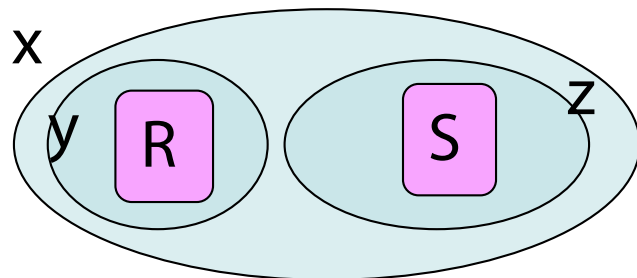
$at(x)$ = Menge von Atomen mit Variable x

Definition Eine Anfrage Q ist **hierarchisch** falls für alle existentiellen Variables x, y gilt:

$$at(x) \supseteq at(y) \quad \text{oder} \quad at(y) \supseteq at(x) \quad \text{oder} \quad at(x) \cap at(y) = \emptyset$$

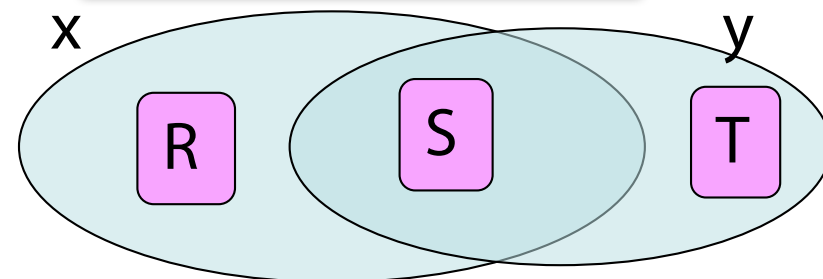
Hierarchisch

$$Q = R(x,y), S(x,z)$$



Nicht-hierarchisch

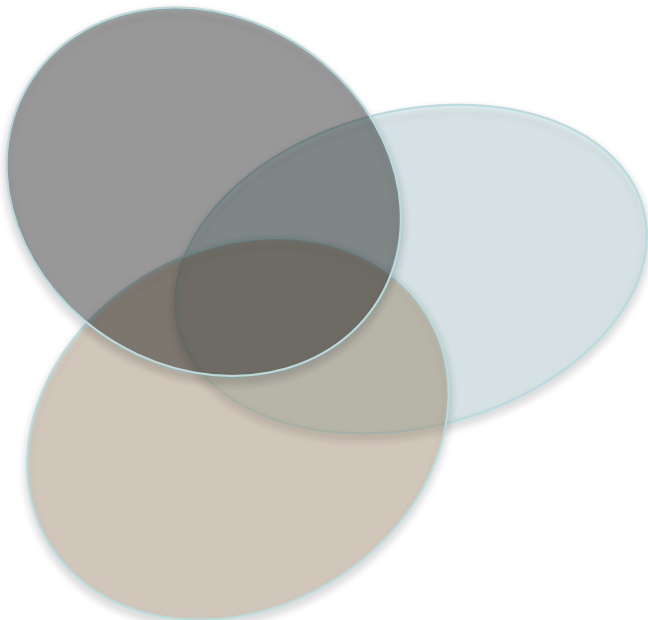
$$H_0 = R(x), S(x, y), T(y)$$



Regeln funktionieren für hierarchische Anfragen (Unabhängigkeit)

Regel 4: Inclusion-Exclusion

$$\begin{aligned}
 P(Q1 \wedge Q2 \wedge Q3) &= P(Q1) + P(Q2) + P(Q3) \\
 &- P(Q1 \vee Q2) - P(Q1 \vee Q3) - P(Q2 \vee Q3) \\
 &+ P(Q1 \vee Q2 \vee Q3)
 \end{aligned}$$



NB: Dieses ist dual zur häufiger verwendeten Formel:

$$\begin{aligned}
 P(Q1 \vee Q2 \vee Q3) &= P(Q1) + P(Q2) + P(Q3) \\
 &- P(Q1 \wedge Q2) - P(Q1 \wedge Q3) - P(Q2 \wedge Q3) \\
 &+ P(Q1 \wedge Q2 \wedge Q3)
 \end{aligned}$$

Beispiel

$$Q_j = R(x_1), S(x_1, y_1), T(x_2), S(x_2, y_2)$$

$$= [\exists x_1 \exists y_1 R(x_1) \wedge S(x_1, y_1)] \wedge [\exists x_2 \exists y_2 T(x_2) \wedge S(x_2, y_2)]$$

Beispiel

$$Q_J = R(x_1), S(x_1, y_1), T(x_2), S(x_2, y_2)$$

$$= [\exists x_1 \exists y_1 R(x_1) \wedge S(x_1, y_1)] \wedge [\exists x_2 \exists y_2 T(x_2) \wedge S(x_2, y_2)]$$

$$Q_J = Q_1 \wedge Q_2$$

wobei

$$Q_1 = R(x_1), S(x_1, y_1)$$

$$Q_2 = T(x_2), S(x_2, y_2)$$

Beispiel

$$Q_J = R(x_1), S(x_1, y_1), T(x_2), S(x_2, y_2)$$

$$= [\exists x_1 \exists y_1 R(x_1) \wedge S(x_1, y_1)] \wedge [\exists x_2 \exists y_2 T(x_2) \wedge S(x_2, y_2)]$$

$$Q_J = Q_1 \wedge Q_2$$

wobei

$$Q_1 = R(x_1), S(x_1, y_1)$$

$$Q_2 = T(x_2), S(x_2, y_2)$$

$$P(Q_J) = P(Q_1) + P(Q_2) - P(Q_1 \vee Q_2)$$

Q_1 = eine hierarchische CQ ohne Self-Joins

Q_2 = dito

$Q_1 \vee Q_2 = Q_U$, siehe vorige Folien

Einsicht 3

Vereinigung (union) für Self-Joins!

- Conjunctive Queries = Keine “natürliche” Klassen von Anfragen von Probabilistische DBs
- Unions of Conjunctive Queries = die “natürliche” Klasse von Anfragen

Zusammenfassung

- Falls Anfrageformeln mit Regeln transformiert werden kann, dann ist das Ergebnis sicher (Korrektheit)
- Regeln sind aber nicht vollständig
 - Suciú stellen noch eine weitere Regel vor (hier nicht behandelt)
 - Damit lassen sich alle sicheren Pläne erzeugen
- Aber: Nicht alle Anfragen lassen sich mit den Regeln behandeln (→ nicht immer gibt es einen sicheren Plan)
 - Für bestimmte Anfragen müssen die Welten betrachtet werden
 - Praktisches System: MayBMS - A Probabilistic Database Management System (<http://maybms.sourceforge.net>)

Non-Standard-Datenbanken

Probabilistische Datenbanken

