

Schema- und Metadatenmanagement  
in Peer Data Management Systemen  
Invited talk @ BTW Workshop, 6.3.2007

Felix Naumann  
Hasso-Plattner-Institut  
Fachgebiet „Informationssysteme“

Überblick

2

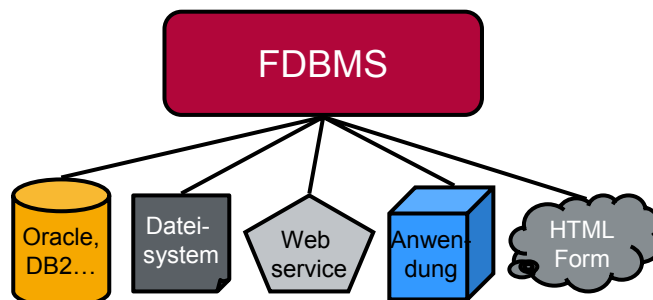
- ➔ ■ Peer Data Management
- Metadaten Management für Peers
  - Schema Mappings
  - Schema Mappings in PDMS
  - Statistische Metadaten
- Erhebung von Metadaten
- System P



## Föderierte Datenbanken

3

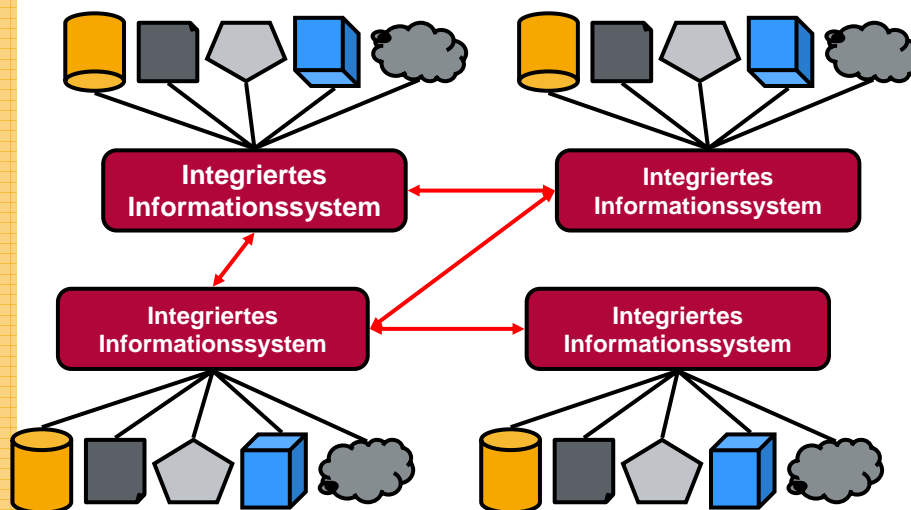
- Globales Schema & direkter Zugriff auf Datenquellen
  - Aufwändig in Implementierung und Wartung (Evolution)
  - Skalierbarkeit und Flexibilität schlecht
- Mediator ist *single point of failure*.



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## PDMS verallgemeinert integrierte Informationssysteme

4

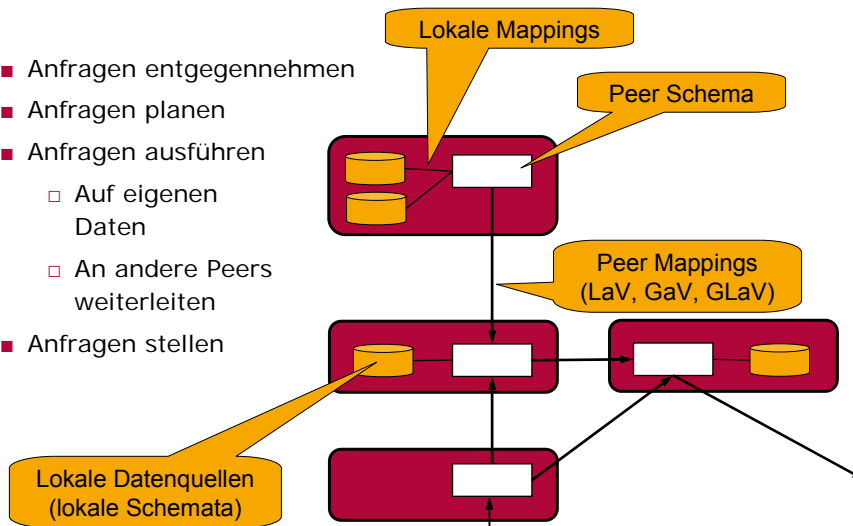


Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Peers – Funktionalität

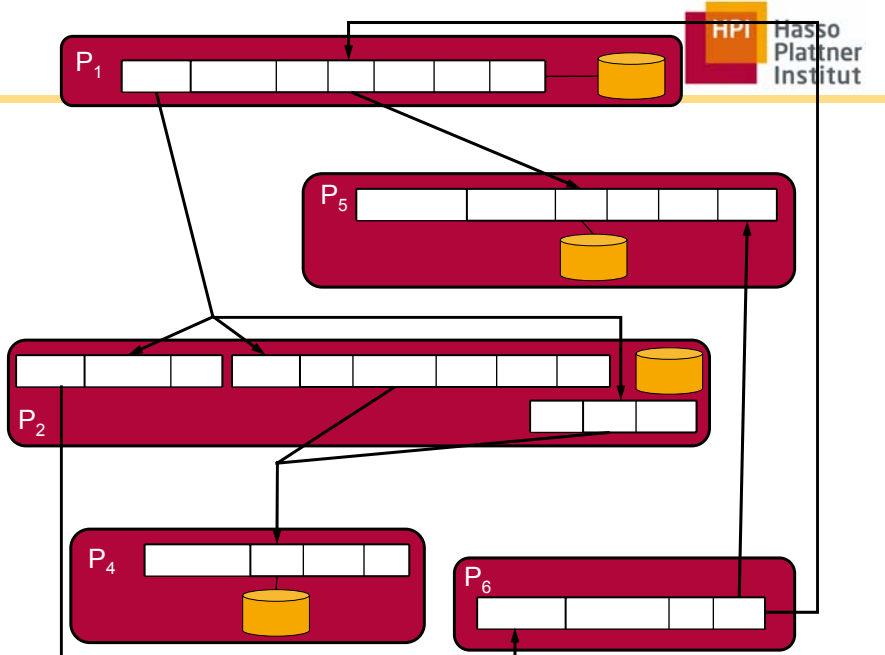
5

- Anfragen entgegennehmen
- Anfragen planen
- Anfragen ausführen
  - Auf eigenen Daten
  - An andere Peers weiterleiten
- Anfragen stellen



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

6

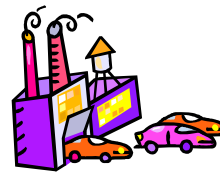


Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Anwendungen für PDMS

7

- Wissenschaftliche Daten (z.B. life sciences)
- Katastrophen-Datenmanagement
- Gesundheitsinformationssysteme / Krankenhausinformationssysteme
- Groupware
- Produktentwicklung
- Allgemein:  
Große, lose gekoppelte Integrationssysteme



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## PDMS Projekte

8

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| Mariposa                         | PeerDB                  |
| ■ Stonebraker et al.             | ■ Ng, Ooi, Tan          |
| Piazza                           | PIER                    |
| ■ Halevy, Ives, Tatarinov et al. | ■ Hellerstein et al.    |
| Hyperion                         | CoDB                    |
| ■ Miller et al.                  | ■ Franconi et al.       |
| Edutella                         | SmurfPDMS               |
| ■ Nejdil et al.                  | ■ Sattler et al.        |
| iFuice + MOMA                    | ■ Demo auf BTW 2007     |
| ■ Rahm et al.                    | System P                |
| SomeWhere                        | ■ Fuzzy Pruning         |
| ■ Rousset et al.                 | ■ Lokale Anfrageplanung |
|                                  | ■ Demo auf BTW 2007     |

Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## PDMS vs. P2P Dateiaustausch

9

### P2P

1. Nur ganze Dateien (niedrige Granularität)
2. Einfachste Anfragen
  - Dateinamen, Keywords
3. Unvollständige Anfrageergebnisse
4. Einfaches Schema
5. Hoch dynamisch
6. Millionen Peers
7. Datenübertragung direkt

### PDMS

1. Objekte (hohe Granularität)
2. Komplexe Anfragen
  - Anfragesprache (SQL, etc.)
3. Vollständige Anfrageergebnisse (zumindest erwartet)
4. Schema
5. Kontrollierte Dynamik
6. Zig peers
7. Datenübertragung entlang des Mapping-Pfads

Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## PDMS vs. FDBMS

10

### Vorteile

- Nutzer/Anwendungen müssen nur das eigene Schema kennen.
- Alle Daten sind erreichbar (über die transitive Hülle der Mappings).
- Neue Schemata und Peers können leicht hinzugefügt werden (inkrementell).
- Mappings nur zu ähnlichsten Schemata

### Nachteile / Probleme

- Mapping-Erstellung ist schwierig.
- Mapping Komposition ist schwierig.
- Viele Mappingschritte durch das Netzwerk:
  - Effizienz
  - Skalierbarkeit
  - Datenqualität
- Effiziente Platzierung von Daten?
- Updates?

Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Überblick

11

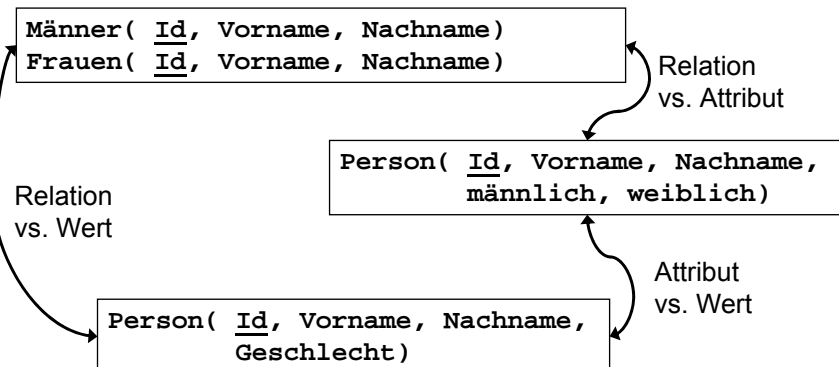
- Peer Data Management
- Metadaten Management für Peers
  - Schema Mappings
  - Schema Mappings in PDMS
  - Statistische Metadaten
- Erhebung von Metadaten
- System P



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Schematische Heterogenität - Beispiel

12



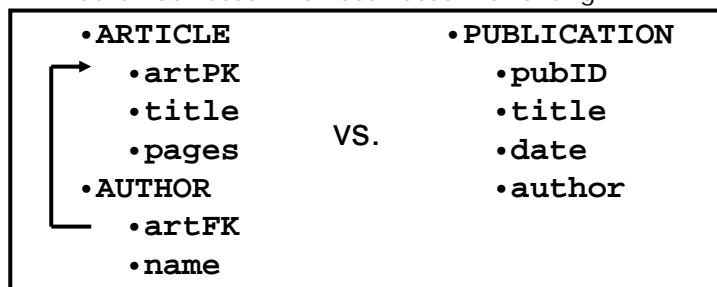
Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Schematische Heterogenität - Beispiel

13

### Normalisiert vs. Denormalisiert

- Assoziationen zwischen Werten werden unterschiedlich dargestellt:
  - durch Vorkommen im gleichen Tupel
  - durch Schlüssel-Fremdschlüssel Beziehung



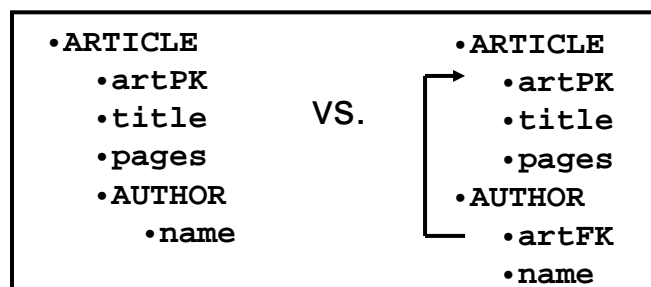
Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Schematische Heterogenität - Beispiel

14

### Geschachtelt vs. Flach

- Assoziationen werden unterschiedlich dargestellt:
  - als geschachtelte Elemente
  - als Schlüssel-Fremdschlüssel Beziehung



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Schema Mapping Beispiel

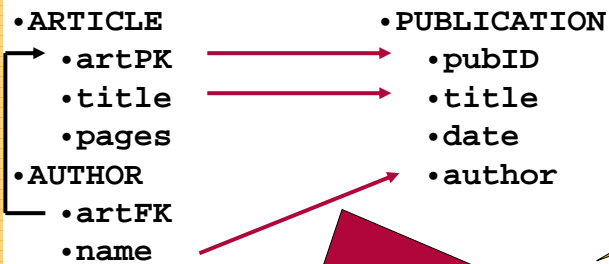
15



```
SELECT artPK AS pubID UNION SELECT null AS pubID
      title AS title      null AS title
      null AS date       null AS date
      null AS author     name AS author
FROM ARTICLE            FROM AUTHOR
```

## Schema Mapping Beispiel

16



Dies ist nur eine von vier Interpretationen!

```
SELECT      artPK AS pubID
           title AS title
           null AS date
           name AS author
FROM        ARTICLE, AUTHOR
WHERE      ARTICLE.artPK = AUTHOR.artFK
```



## Schema Mapping Beispiel

17

### • PUBLICATION

- title
- date
- author

### • ARTICLE

- artPK
- title
- pages

### • AUTHOR

- artFK
- name

```
SELECT SK(title) AS artPK
       title AS title
       null AS pages
FROM   PUBLICATION
```

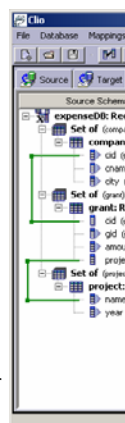
```
SELECT SK(title) AS artFK
       author AS name
FROM   PUBLICATION
```

Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Schema Mapping im Kontext

18

- Schema Matching & Korrespondenzen
- Schema Mapping
- Mapping Interpretation
- Datentransformation
- Siehe auch BTW Vortrag
  - Freitag, 11:45 Uhr



```

xquery
  $x0L1/project/text() = $x1L1/name/text() AND
  $x2L1/cid/text() = $x0L1/cid/text() AND
  $x2L1/city/text() = $x2L1/city/text()
RETURN
  <organization>
    <cid> $x0L1/cid/text() </cid>,
    <cname> $x2L1/cname/text() </cname>,
    distinct (
      FOR
        $x0L2 IN $doc/expenseDB/grant,
        $x1L2 IN $doc/expenseDB/project,
        $x2L2 IN $doc/expenseDB/company
      WHERE
        $x0L2/project/text() = $x1L2/name/text() AND
        $x2L2/cid/text() = $x0L2/cid/text() AND
        $x2L1/cname/text() = $x2L2/cname/text() AND
        $x2L1/city/text() = $x2L2/city/text() AND
        $x0L1/cid/text() = $x0L2/cid/text()
      RETURN
        <funding>
          <gid> $x0L2/gid/text() </gid>,
          <proj> $x0L2/project/text() </proj>,
          <faid> "SK2671", $x0L2/project/text(), '
        </funding>
    )
  </organization>
)
distinct (
  FOR
    $x0L1 IN $doc/expenseDB/grant,
    $x1L1 IN $doc/expenseDB/project,
    $x2L1 IN $doc/expenseDB/company
  WHERE

```

Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

# Überblick

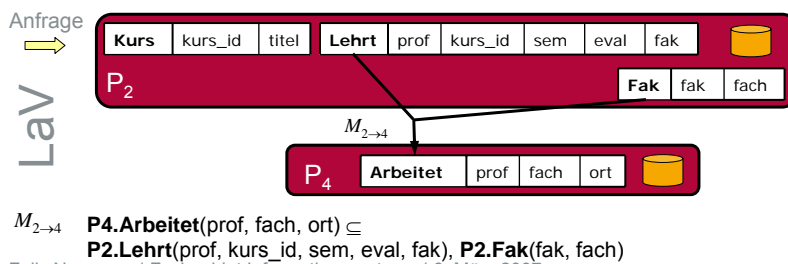
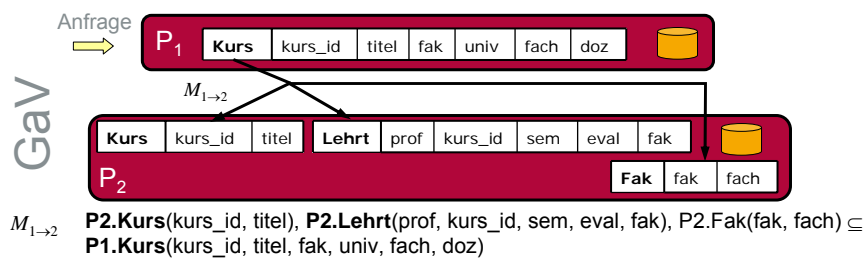
19

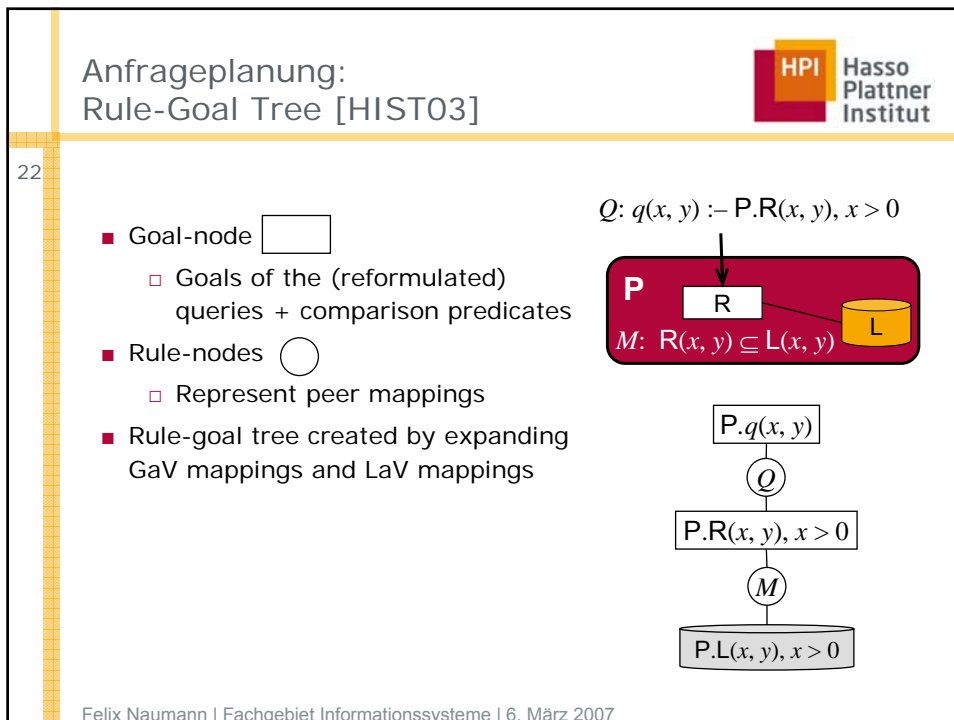
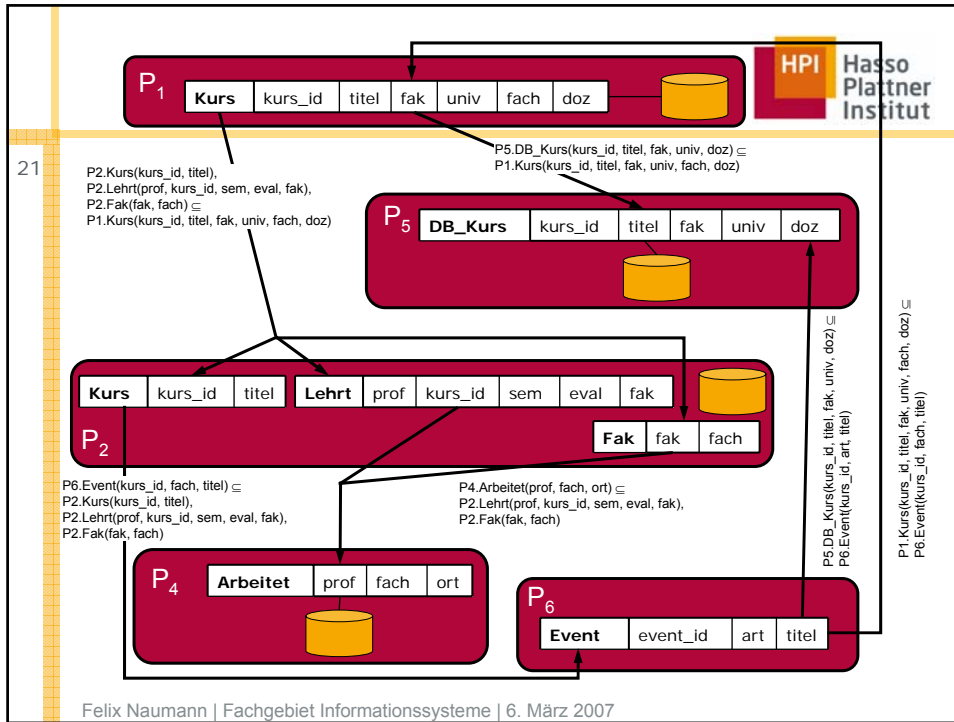
- Peer Data Management
- Metadaten Management für Peers
  - Schema Mappings
  - Schema Mappings in PDMS
  - Statistische Metadaten
- Erhebung von Metadaten
- System P



# GaV und LaV Mappings

20

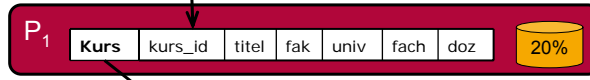




### GaV-Anfrageumformulierung

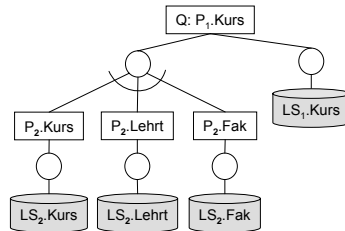
23

$Q: P_1.q(kurs\_id, titel, fak, univ, fach, doz) :-$   
 $P_1.Kurs(kurs\_id, titel, fak, univ, fach, doz)$



$P_2.Kurs(kurs\_id, titel),$   
 $P_2.Lehrt(prof, kurs\_id, sem, eval, fak),$   
 $P_2.Fak(fak, fach) \subseteq$   
 $P_1.Kurs(kurs\_id, titel, fak, univ, fach, doz)$

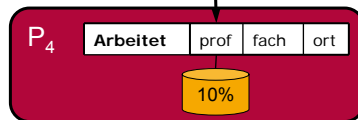
$M_{1 \rightarrow 2}$



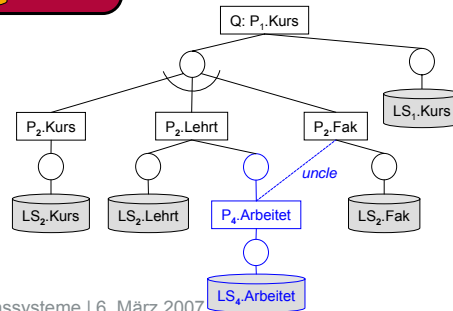
Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

### LaV-Anfrageumformulierung

24



$P_4.Arbeitet(prof, fach, ort) \subseteq$   
 $P_2.Lehrt(prof, kurs\_id, sem, eval, fak),$   
 $P_2.Fak(fak, fach)$

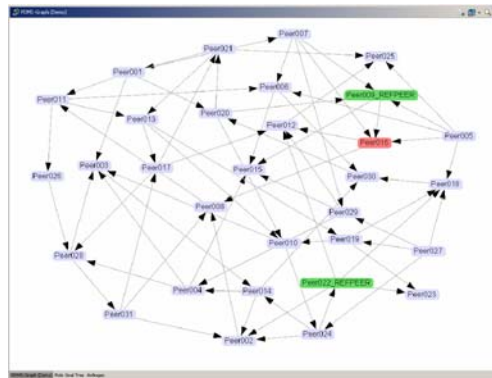


Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Effizienz gering, aufgrund redundanter Pfade

25

- Hoher *fan-out* im rule-goal tree.
- Beispiel [Schw06]:
  - 31 Peers
  - Avg. connectivity: 5
  - 34378 Unions
  - 17035 Joins
- Wie skalieren?
  - 100 oder 1000 Peers?

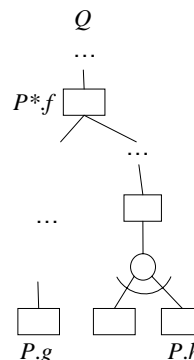


Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Containment-basiertes Pruning in Piazza [TH04]

26

- Prune  $h$  falls
  - (i)  $g$  „enthält“  $h$   
( $g$  und  $h$  am selben Peer)
  - (ii) keine Joins zwischen  $g$  und  $f$
- Vorteile
  - Effizienz steigt um eine Größenordnung.
  - Äquivalente Umformung: Ergebnis ist vollständig.
- Nachteile:
  - Globales Wissen nötig  
– Globale Optimierung
  - Autonomie der Peers eingeschränkt



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Vollständigkeit in PDMS

27

Einsicht: Vollständiges Ergebnis ist zu teuer.

- Also neues Optimierungsziel: Vollständigkeit
- Extensionale Vollständigkeit: Viele Tupel
  - Metadaten: *Kardinalitäten*
- Intensionale Vollständigkeit: Viele Nicht-null-Werte
  - Metadaten: *Wertevertellungen*
- Projektionen und Selektionen in Mappings führen zu Informationsverlust.
  - Metadaten: *Schema Mappings*

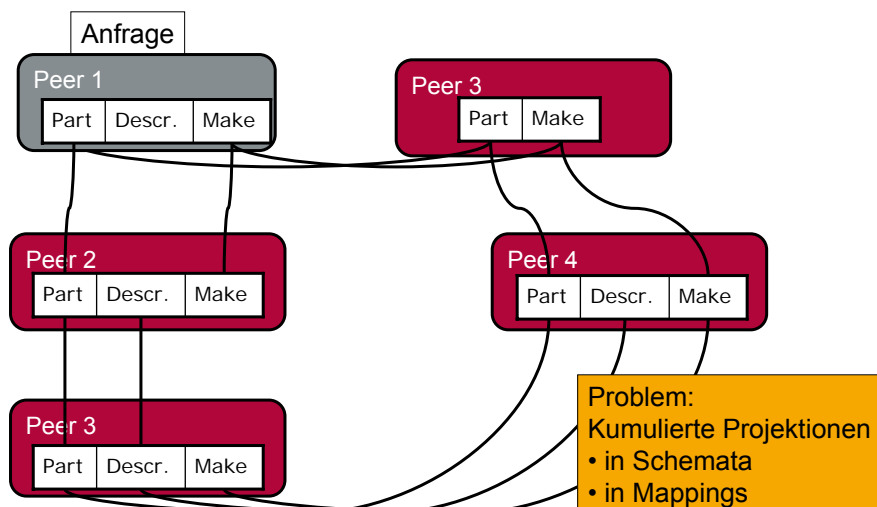
Idee: Gezieltes Beschneiden des Anfrageplans (*Pruning*)

- Schnitt bei vielen Projektionen
- Schnitt bei starken Selektionen

Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Unvollständige Mappings

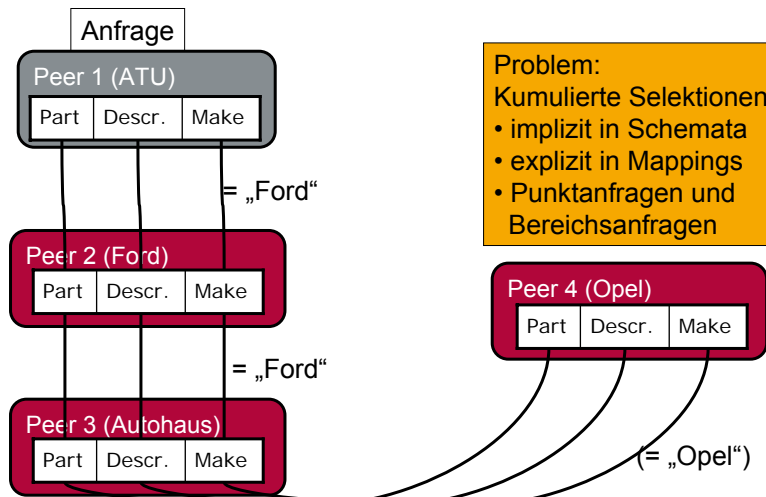
28



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Selektive Mappings

29



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Überblick

30

- Peer Data Management
- Metadaten Management für Peers
  - Schema Mappings
  - Schema Mappings in PDMS
  - Statistische Metadaten
- Erhebung von Metadaten
- System P



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Statistische Metadaten

31

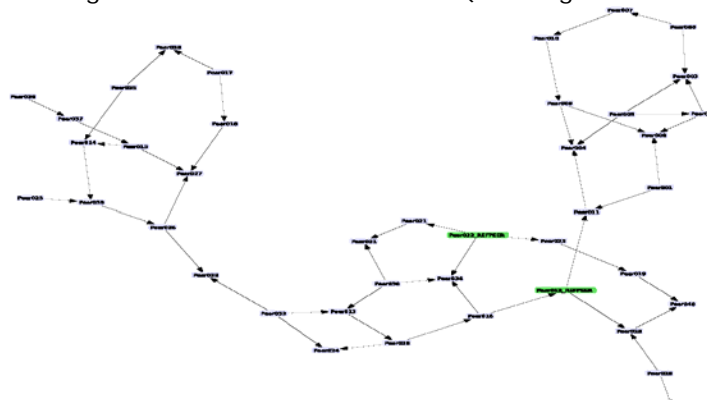
- Statistik pro benachbarten Peer
  - Kardinalitäten von Relationen
  - Histogramme über Attributwertverteilungen
- Weiteres
  - Antwortzeiten
  - Datenqualität
  - Verfügbarkeit
  - Kosten

Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Metadata über Datenverteilungen in PDMS – Probleme

32

- Ungleiche/unbekannte Verteilung über PDMS
- Dynamik: Autonome Peers (kommen und gehen beliebig)
- Sensitivität: PDMS-Graph mit Bottlenecks
- vorwiegend lokaler Statistik-Horizont (v.a. in großen PDMS)



Feli





- Peer Data Management
- Metadaten Management für Peers
  - Schema Mappings
  - Schema Mappings in PDMS
  - Statistische Metadaten
- Erhebung von Metadaten
  - Statistische Metadaten
  - Schema Mappings
- System P



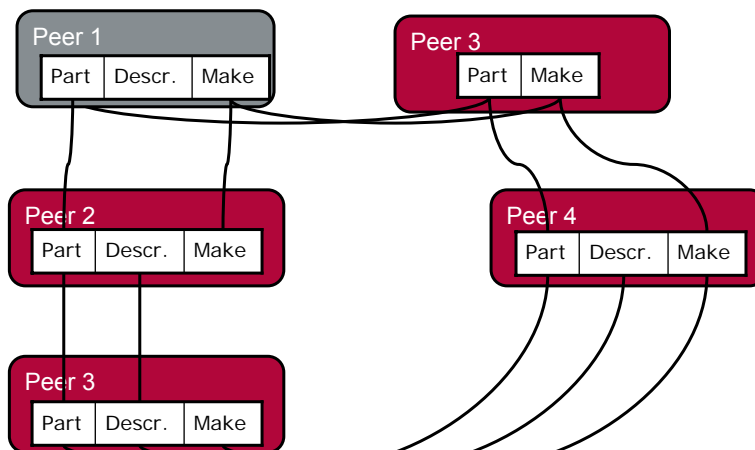
- *Sampling* von Nachbar-Peers ungünstig
  - Zusätzliche Anfragelast (nicht nur bei den Nachbarn)
  - Keine Wartungs-Zeitfenster (Peer-Autonomie)
- *Propagierung* von Peer-Updates [HLS06]
  - Änderungen im PDMS werden garantiert verbreitet.
  - Aber: Zusätzliche Last (nicht nur bei den Nachbarn)
  - Aber: Eingriff in Peer-Autonomie
- *Anfrageergebnisse* nutzen
  - z.B. mit selbstadaptiven Histogrammen [AC99]
  - Sehr effizient, da Ergebnisse ohnehin vorliegen
  - Aber: Wiederholtes Pruning kann Änderungen verbergen

**Aber: Grundproblem...**

## Grundproblem bei Anfrage-basierten Metadaten in PDMS

38

Worüber werden Statistiken eigentlich gesammelt?

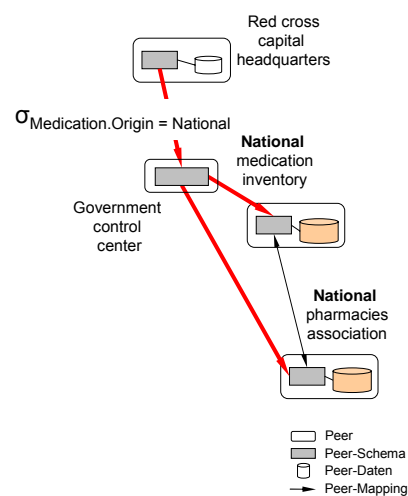


Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Verbesserung von Mappings mittels Statistiken

39

- Statistiken über Datenverteilung dokumentieren Semantik (der Schemata der Nachbar-Peers)
- Peer Mappings interpretieren eigenes Peer Schema
- Nachbar-Peers bieten mehr Daten an als Peer Mappings annimmt
- Beispiel
  - Mapping: nur Medikamente nationalen Ursprungs
  - Histogramme: auch importierte Medikamente

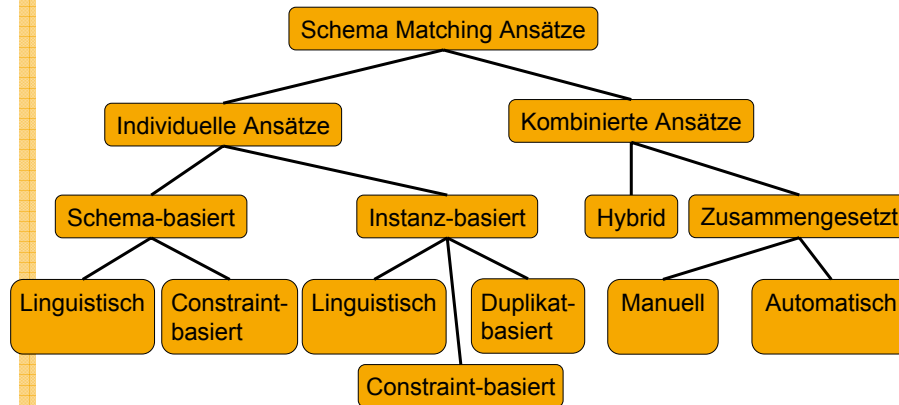


Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Erweiterung des Mapping-Netzwerks

40

Klassifikation von Schema Matching Methoden nach Rahm und Bernstein 2001

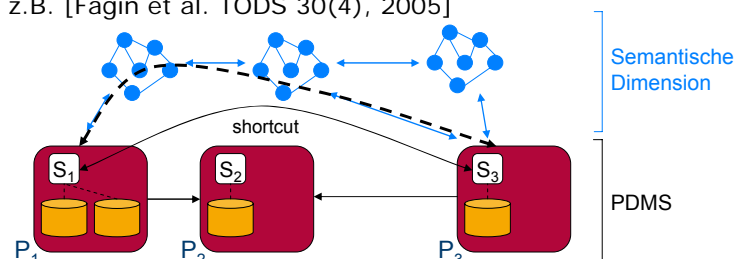


Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Erweiterung des Mapping-Netzwerks

41

- Ontologien für Knowledge Sharing im Web
- Peers haben Mappings zu Ontologien
- Idee [HHNR05]:
  - Über Ontologien Mapping-Pfade zu anderen Peers finden
  - Neue Peers entdecken
  - Abgekürzte Mapping-Pfade zu bekannten Peers
  - Notwendig: Mapping-Komposition, z.B. [Fagin et al. TODS 30(4), 2005]



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Überblick

42

- Peer Data Management
- Metadaten Management für Peers
  - Schema Mappings
  - Schema Mappings in PDMS
  - Statistische Metadaten
- Erhebung von Metadaten
- System P

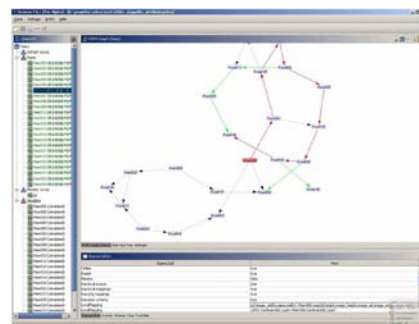


Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## System P [RNH+06]

43

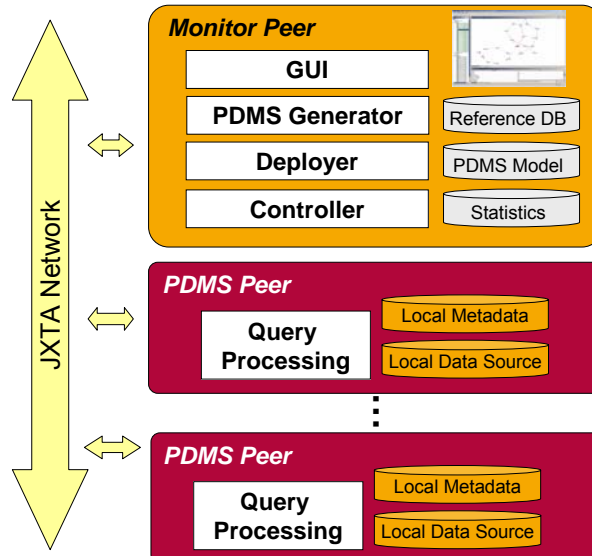
- Datenmodell mit Punkt- und Range-Anfragen
- GaV- und LaV-Umformulierung
- Budget- und Vollständigkeitsgesteuerte Anfragebearbeitung
- Visualisierung der Anfragebearbeitung
- Kardinalitätsschätzung mit selbstadaptiven Histogrammen
- Demo auf BTW 2007



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## System P: Architektur

44

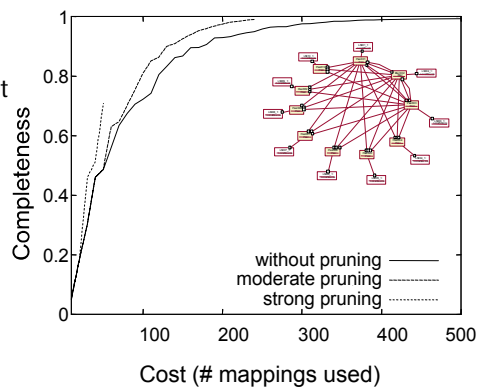


Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Vollständigkeits-gesteuerte Anfragebearbeitung [RN05]

45

- Beschneiden des Suchraums
- Einfache Pruning-Strategie
  - Annahme: potentielle Selektivitäten/Kardinalitäten einzelner Peer Mappings bekannt
  - Threshold-basiertes Beschneiden des Anfrageplanes (s. Diagramm)
  - Nachteile: Leeres Anfrageergebnis oder unkontrollierbar hohe Kosten möglich (Worst Case)

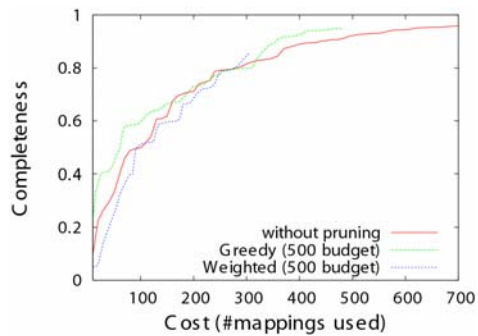


Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Budget- und Vollständigkeits- gesteuerte Anfragebearbeitung [RNH+06]

46

- Idee: Anfragen tragen eigenes Budget
- Auswahl von Teilplänen mit potentiell hoher Ergebnismenge
- Verschiedene Strategien
  - Greedy (Depth-first)
  - Weighted (Breadth-first)
  - Variationen: Rückgabe nicht „verbrauchten“ Budgets



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Danksagung

47

- Armin Roth
  - DaimlerChrysler Research
- The Clio folks at IBM Almaden
  - Mauricio Hernandez, Lucian Popa, Howard Ho

Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Fragen?

48

- Peer Data Management
- Metadaten Management für Peers
  - Schema Mappings
  - Schema Mappings in PDMS
  - Statistische Metadaten
- Erhebung von Metadaten
  - Statistische Metadaten
  - Schema Mappings
- System P



Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007

## Literatur

49

[AC99]	A. Aboulnaga and S. Chaudhuri. Self-tuning histograms: building histograms without looking at data. In <i>Proc. of the ACM Int. Conf. on Management of Data (SIGMOD)</i> , 1999.
[HIST03]	A. Y. Halevy, Z. Ives, D. Suciu, and I. Tatarinov. Schema mediation in peer data management systems. In <i>Proc. of the Int. Conf. on Data Engineering (ICDE)</i> , 2003.
[HHNR05]	Ralf Heese, Sven Herschel, Felix Naumann, Armin Roth. Self-Extending Peer Data Management. In <i>Proc. of the German Conference in Databases (BTW) 2005</i> .
[HLS06]	K. Hose, C. Lemke, and K.-U. Sattler. Processing relaxed skylines in PDMS using distributed data summaries. In <i>Proc. of the Conf. on Information and Data Management (CIKM)</i> , 2006.
[Ioa03]	Y. Ioannidis. The history of histograms. In <i>Proc. of the Int. Conf. on Very Large Databases (VLDB)</i> , 2003.
[NFL04]	F. Naumann, J.-C. Freytag, and U. Leser. Completeness of integrated information sources. <i>Information Systems</i> , 29(7):583–615, 2004.
[RN05]	A. Roth and F. Naumann. Benefit and cost of query answering in PDMS. In <i>Proc. of the Int. Workshop on Databases, Information Systems and Peer-to-Peer Computing (DBISP2P)</i> , 2005.
[RNH+06]	A. Roth, F. Naumann, T. Hübner, and M. Schweigert. System P: Query answering in PDMS under limited resources. In <i>Proc. of the Workshop on Information Integration on the Web (IIWeb)</i> , 2006.

Felix Naumann | Fachgebiet Informationssysteme | 6. März 2007