Hasso Plattner Institut
Digital Engineering · Universität Potsdam

Information Integration

Verteilung, Autonomie und Heterogenität

24.10.2019

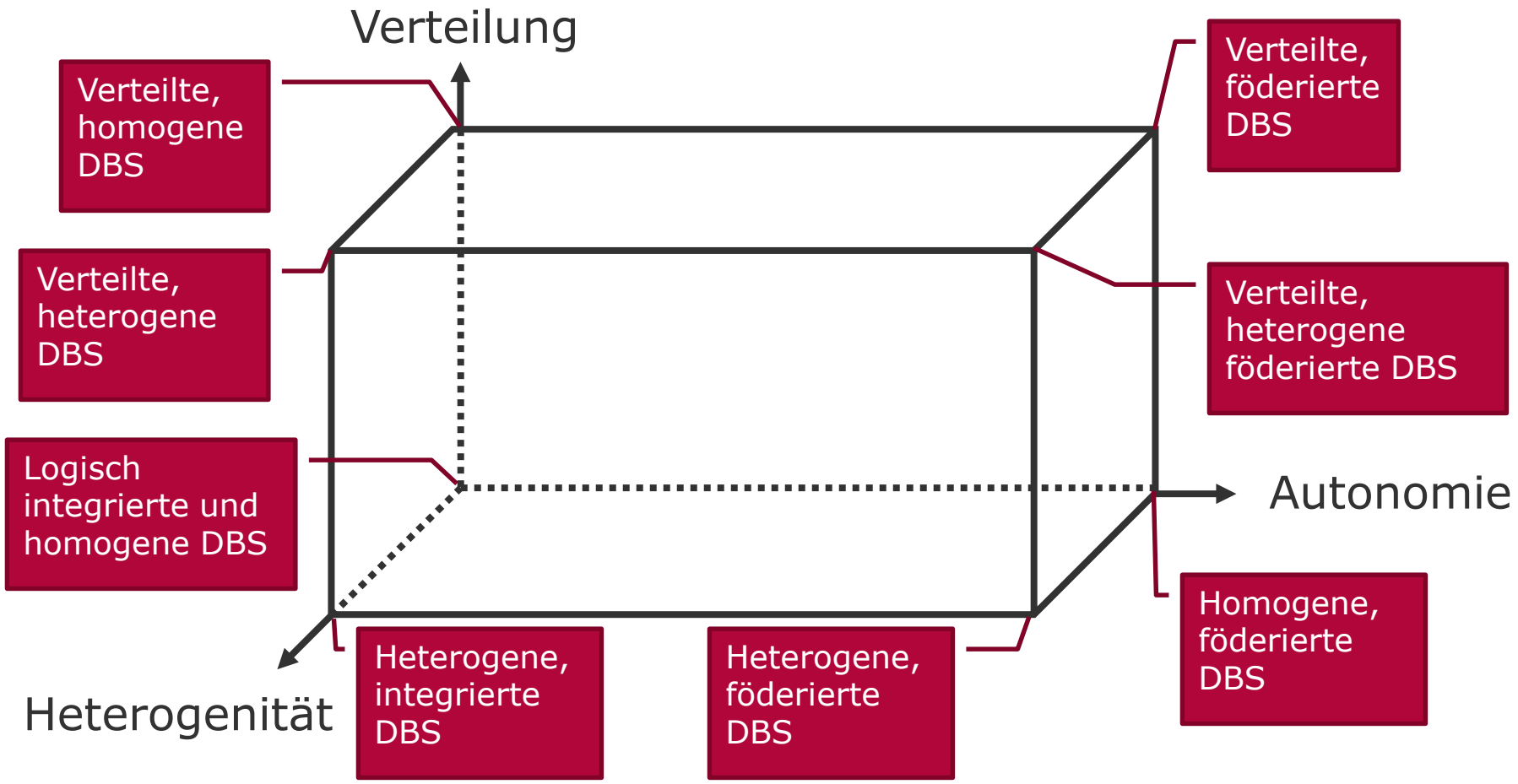
Felix Naumann

Überblick

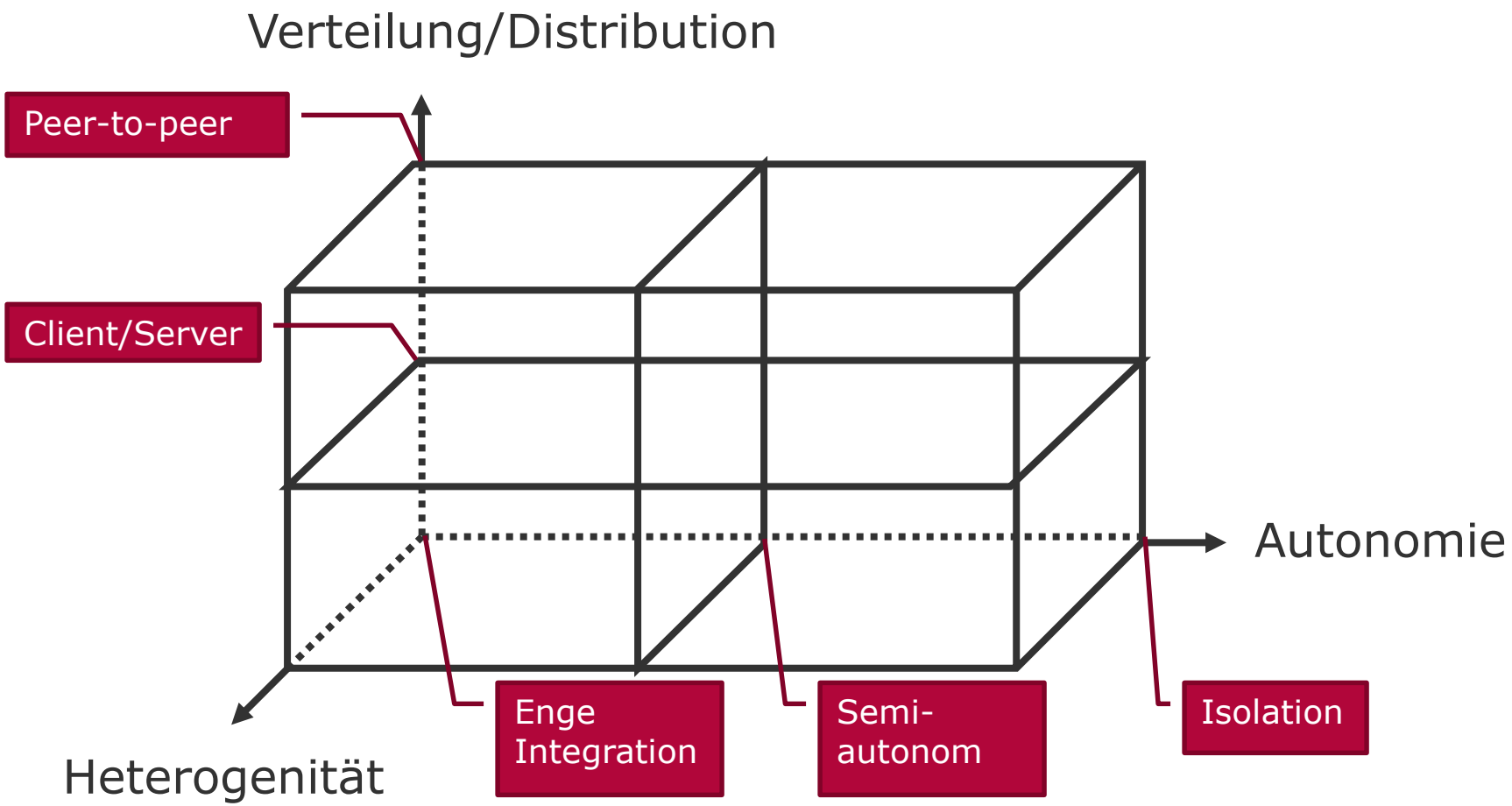
1. Verteilung
2. Autonomie
3. Syntaktische Heterogenität
4. Strukturelle Heterogenität
5. Semantische Heterogenität
   - Namenskonflikte
   - Identität
   - Datenkonflikte
6. Gebundene und Freie Variablen
   - Adornments
   - Anfrageplanung

Klassifikation von Informationssystemen [ÖV99]

- Drei orthogonale Dimensionen



Klassifikation verteilter DBMS [ÖV99]



Felix Naumann
Information Integration
Winter 2019/20

Zusammenhang mit Föderierten DBMS

- Verteilung führt zu Autonomie,
  - Intra-Organisation: Historisch
  - Inter-Organisation: Internet & WWW
- und Autonomie führt zu Heterogenität.
  - Verantwortung liegt bei lokalen Administratoren
    - Systempflege
    - Nutzbarkeit und Nützlichkeit
    - Erweiterungen am Informationssystem
    - Design
    - ...
- Diskussion
  - Historischer Entwicklung,
  - aber orthogonale Kriterien!

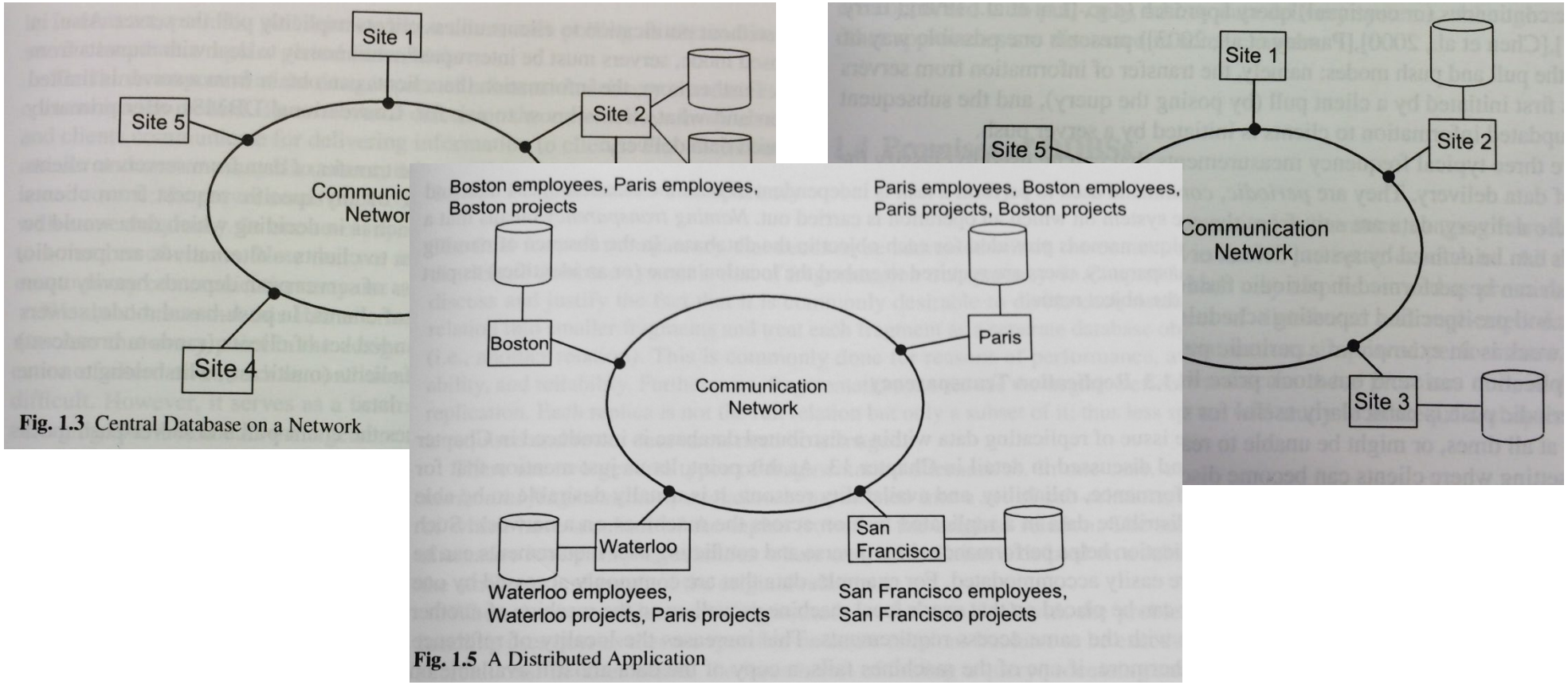
Überblick

1. **Verteilung**
2. Autonomie
3. Syntaktische Heterogenität
4. Strukturelle Heterogenität
5. Semantische Heterogenität
   - Namenskonflikte
   - Identität
   - Datenkonflikte
6. Gebundene und Freie Variablen
   - Adornments
   - Anfrageplanung

Verteilung (Distribution)

A distributed database is a collection of multiple, logically interrelated databases distributed over a computer network.

[ÖV91]



Physikalische Verteilung

- Motiviert durch Hardwareanforderungen (Hardwarebeschränkungen)
- Server stehen an unterschiedlichen Orten
  - Gleicher Raum, anderer Raum
  - Anderes Gebäude
  - Andere Stadt, anderes Land
- Shared Nothing
  - Server haben keine gemeinsamen, abhängigen Hardwarekapazitäten
    - Memory
    - Disk
    - CPU
  - Mit Ausnahme des Netzwerks
  - Im Gegensatz zu shared-disk und shared-memory

Logische Verteilung

- Motiviert durch Anwendungsanforderungen
  - Zuverlässigkeit
    - Bei Ausfall eines Servers
  - Verfügbarkeit
    - Bei Ausfall eines Netzwerkteils
  - Effizienz
- Redundanz
  - Replikation
  - Caching
- Partitionierung
  - Vertikal
  - Horizontal

Verteilung – Vor- und Nachteile

Vorteile aus Sicht der Quellen und des IIS

- Autonomie (gleich genauer)
- Performance: Kapazität dort, wo sie gebraucht wird
- Verfügbarkeit: Bei Ausfall eines Standorts
- Erweiterbarkeit
- Teilbarkeit (Verantwortung bei anderen Organisationseinheiten)

Nachteile aus Sicht des IIS

- Komplexität (Verwaltung, Optimierung)
- Kosten
- Sicherheit
- Autonomie

Verteilung – Techniken

- HTTP, CORBA, RPC, Grid, … nicht hier.
  - Anwendungsentwicklung ohne Spezifikation der physikalischen Präsenz der Komponenten

- Annahmen an Transparenz
  - Datenunabhängigkeit (jedes DBMS)
    - auch Speicherorttransparenz
  - Netzwerktransparenz
  - Replikationstransparenz
  - Fragmentationstransparenz
    - auch Partitionierungstransparenz

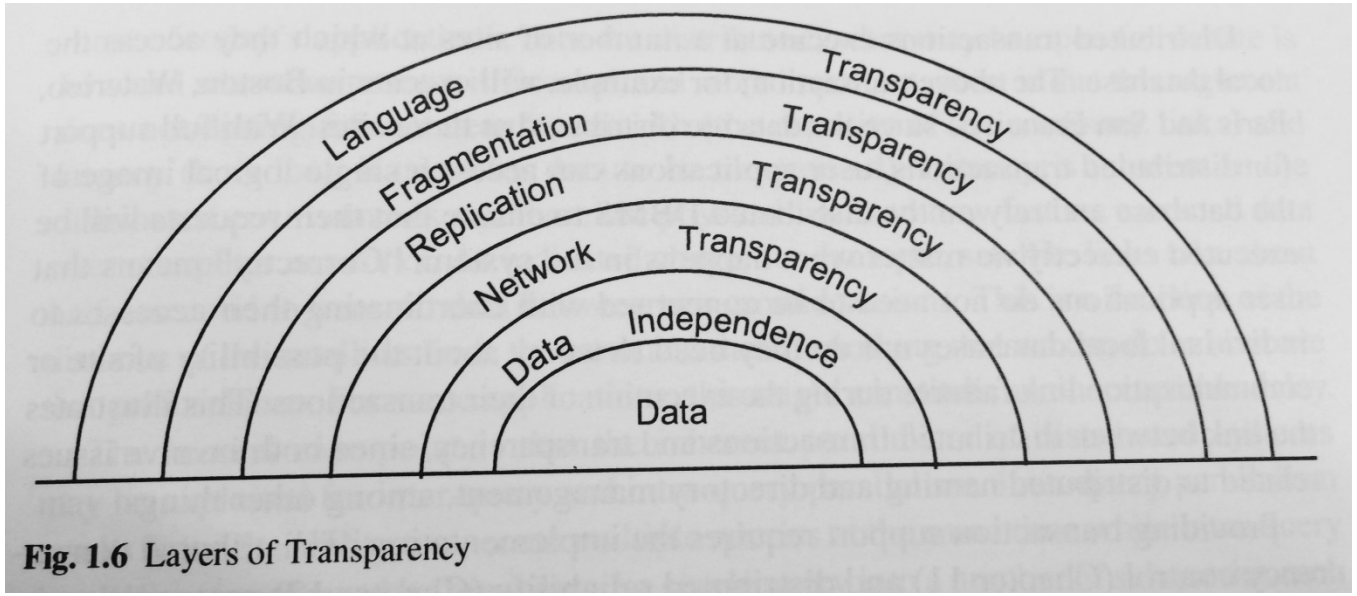


Fig. 1.6 Layers of Transparency

Überblick

1. Verteilung
2. **Autonomie**
3. Syntaktische Heterogenität
4. Strukturelle Heterogenität
5. Semantische Heterogenität
   - Namenskonflikte
   - Identität
   - Datenkonflikte
6. Gebundene und Freie Variablen
   - Adornments
   - Anfrageplanung

Autonomie (Autonomy)

Der Grad zu dem verschiedene DBMS unabhängig operieren können.
Bezieht sich auf Kontrolle, nicht auf Daten.

Klassen nach [ÖV99]

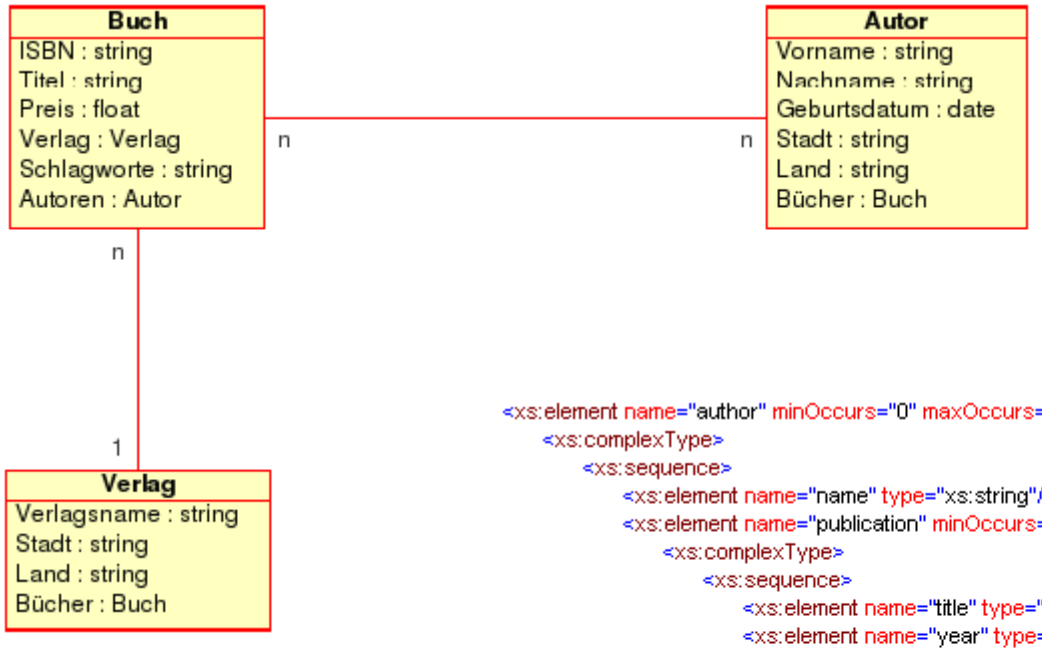
- Design-Autonomie
- Kommunikations-Autonomie
- Ausführungs-Autonomie

Design-Autonomie

- Auch: Entwurfsautonomie
- Freiheit des lokalen DBMS bezüglich
  - Datenmodell
    - Relational, hierarchisch, XML
  - Schema
    - Abdeckung der Domäne (*universe of discourse, miniworld*)
    - Grad der Normalisierung
    - Benennung
  - Transaktionsmanagement
    - Sperrprotokolle
- Freiheit dies jederzeit zu ändern.
  - Besonders problematisch!

Design-Autonomie – Beispiel

- Schema und Datenmodell 1
  - (Fast) relational
  - Flach
- Schema und Datenmodell 2
  - XML
  - hierarchisch



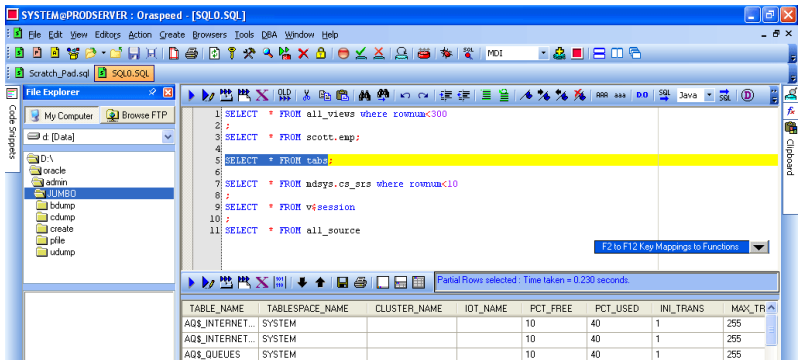

```
<xs:element name="author" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence>
            <xs:element name="name" type="xs:string"/>
            <xs:element name="publication" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
                <xs:complexType>
                    <xs:sequence>
                        <xs:element name="title" type="xs:string"/>
                        <xs:element name="year" type="xs:string"/>
                        <xs:element name="booktitle" type="xs:string" minOccurs="0"/>
                        <xs:element name="journal" type="xs:string" minOccurs="0"/>
                    </xs:sequence>
                </xs:complexType>
            </xs:element>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
</xs:element>
```

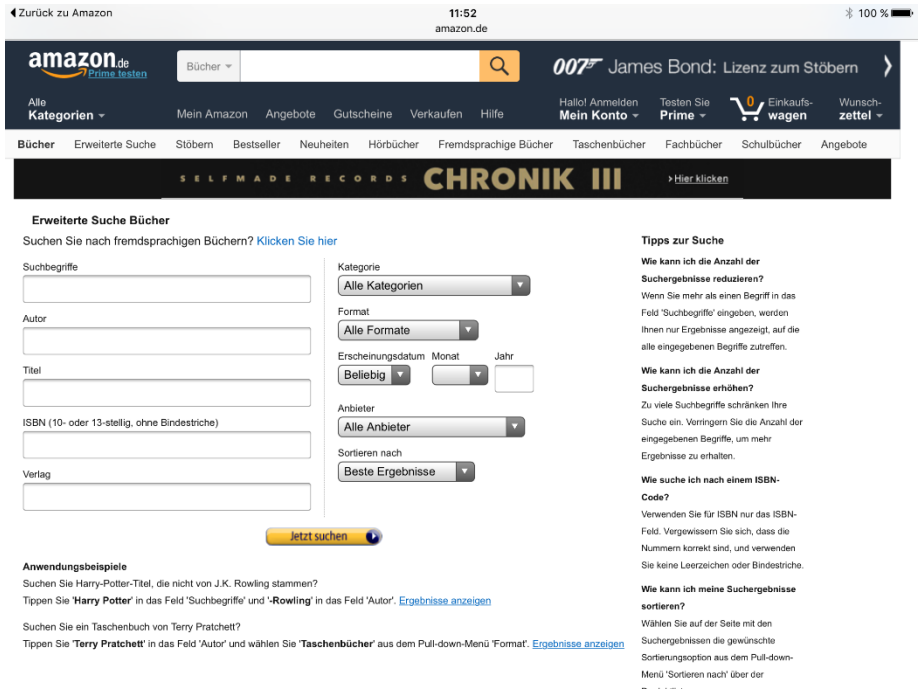
Kommunikations-Autonomie

- DBMS frei bezüglich
  - Wahl mit welchen Systemen kommuniziert wird
  - Wahl wann mit anderen Systemen kommuniziert wird
    - Jederzeit Eintritt/Austritt aus integriertem System
  - Wahl was (welcher Teil der Information) kommuniziert wird
  - Wahl wie mit anderen Systemen kommuniziert wird
    - Anfragesprache
  - Wahl welcher Teil der Anfragemöglichkeiten zur Verfügung gestellt werden
    - Prädikate
    - Sortierung
    - Write
    - ...

Kommunikations-Autonomie – Beispiel

- Extrem 1: Voller SQL Zugang
  - z.B. via JDBC
  - Transaktionen
  - Optimierung
  - Lesend (und Schreibend?)
  - Schemaveränderungen?
  - Antwort als Ergebnisrelation
- Extrem 2: HTML Formular
  - Nur ein (oder mehr) Suchfelder
  - Antwort als HTML Text
  - Nur Teile der Daten (public area)





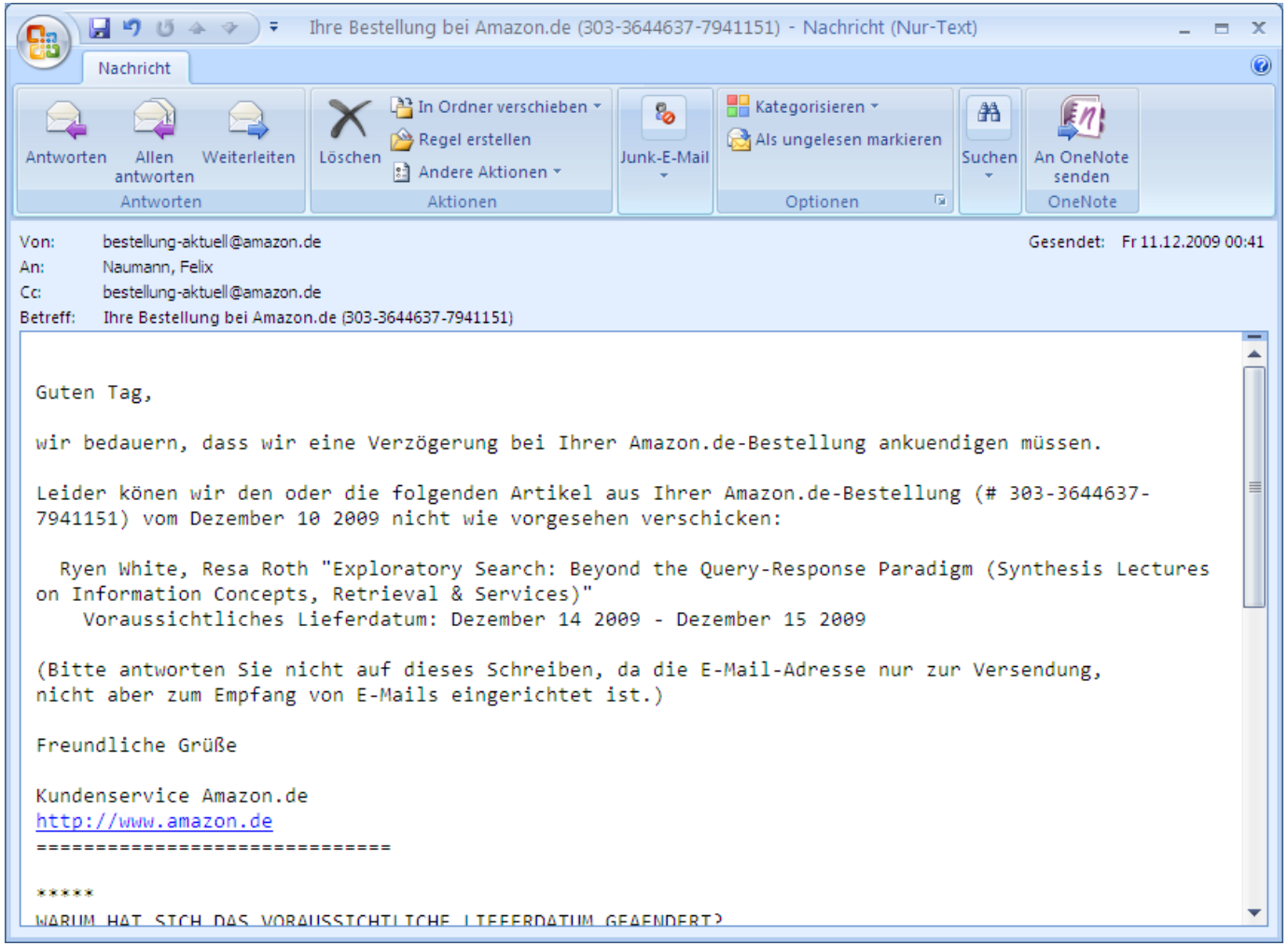
Felix Naumann
Information Integration
Winter 2019/20

Ausführungs-Autonomie

- Informationssystem frei bezüglich
  - Wahl wann Anfragen ausgeführt werden
  - Wahl wie Anfragen ausgeführt werden
  - Wahl der Scheduling-Strategien
  - Wahl Optimierungs-Strategien
  - Wahl ob globale Transaktionen unterstützt werden

Ausführungs-Autonomie – Beispiel

- Optimierung und Scheduling
  - Behandlung externer vs. lokaler Anfragen
  - *Golden customers*
  - Garantierte Antwortzeiten
- Transaktionen
  - Dirty-read egal?
  - Amazon-Beispiel



Autonomie → Heterogenität

- Verteilung als „Ursache“ für Autonomie
- Autonomie als Ursache für Heterogenität:
  - Autonome Systeme
  - ⇒ Gestaltungsfreiheit
  - ⇒ Unterschiedliche Entscheidungen
  - ⇒ Heterogenität

Heterogenität (*Heterogeneity*)

Heterogenität herrscht, wenn sich zwei miteinander verbundene Informationssysteme syntaktisch, strukturell oder inhaltlich unterscheiden.

- Syntaktische Heterogenität
  - Auch: „Technische Heterogenität“
- Strukturelle Heterogenität
- Semantische Heterogenität

Heterogenitäten zu überbrücken ist die Kernaufgabe der Informationsintegration.

Weitere Heterogenitätsklassifikationen

- Auch andere Klassifikationen möglich, z.B. [BKLW99]
  - Syntaktische Heterogenität
  - Datenmodell Heterogenität
  - Logische Heterogenität

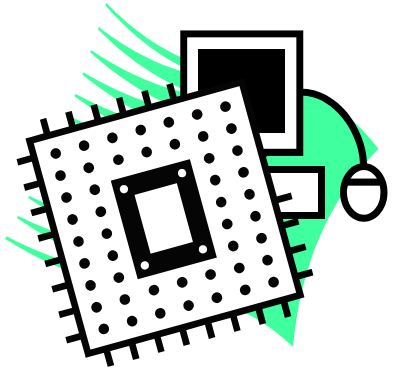
- Oder nach [SPD92]
  - Semantische Konflikte
  - Beschreibungskonflikte
  - Heterogenitätskonflikte
  - Strukturelle Konflikte
  - Datenkonflikte

Überblick

1. Verteilung
2. Autonomie
3. **Syntaktische Heterogenität**
4. Strukturelle Heterogenität
5. Semantische Heterogenität
   - Namenskonflikte
   - Identität
   - Datenkonflikte
6. Gebundene und Freie Variablen
   - Adornments
   - Anfrageplanung

Syntaktische Heterogenität

- Hardware-Heterogenität
  - Bandbreite
  - Hauptspeicher
  - CPU
    - Art
    - Geschwindigkeit
- Software-Heterogenität
- Schnittstellen-Heterogenität



Nicht hier

Software Heterogenität

- Betriebssystem
- Dateisystem
- Protokolle
  - HTTP, ODBC, Java API, CORBA, etc.
- Zustandsbehaftet vs. zustandsfrei
- Sicherheit
  - Security level
  - Log-on Prozedur

Software Heterogenität – Beispiel

```
String sqlQuery = „SELECT Name, Strasse FROM Hersteller
WHERE PLZ = 69115“;
...
Connection jdbcCon = DriverManager.getConnection(dbURL, ...);
Statement stmt = jdbcCon.createStatement();
ResultSet table = stmt.executeQuery(sqlQuery);
...
```

```
String webQuery = „plz=69115“;
...
URL url = new URL(„http://www.system2.de/cgi-bin
/search.cgi“ + „?“ + webQuery);
URLConnection urlCon = new url.openConnection();
InputStreamReader reader = new InputStreamReader(
  urlCon.openStream());
...
```

Nicht hier

Quelle: VL: Föderierte Datenbanksysteme
Peter Tomczyk, FZI & Uni Karlsruhe

Schnittstellen Heterogenität

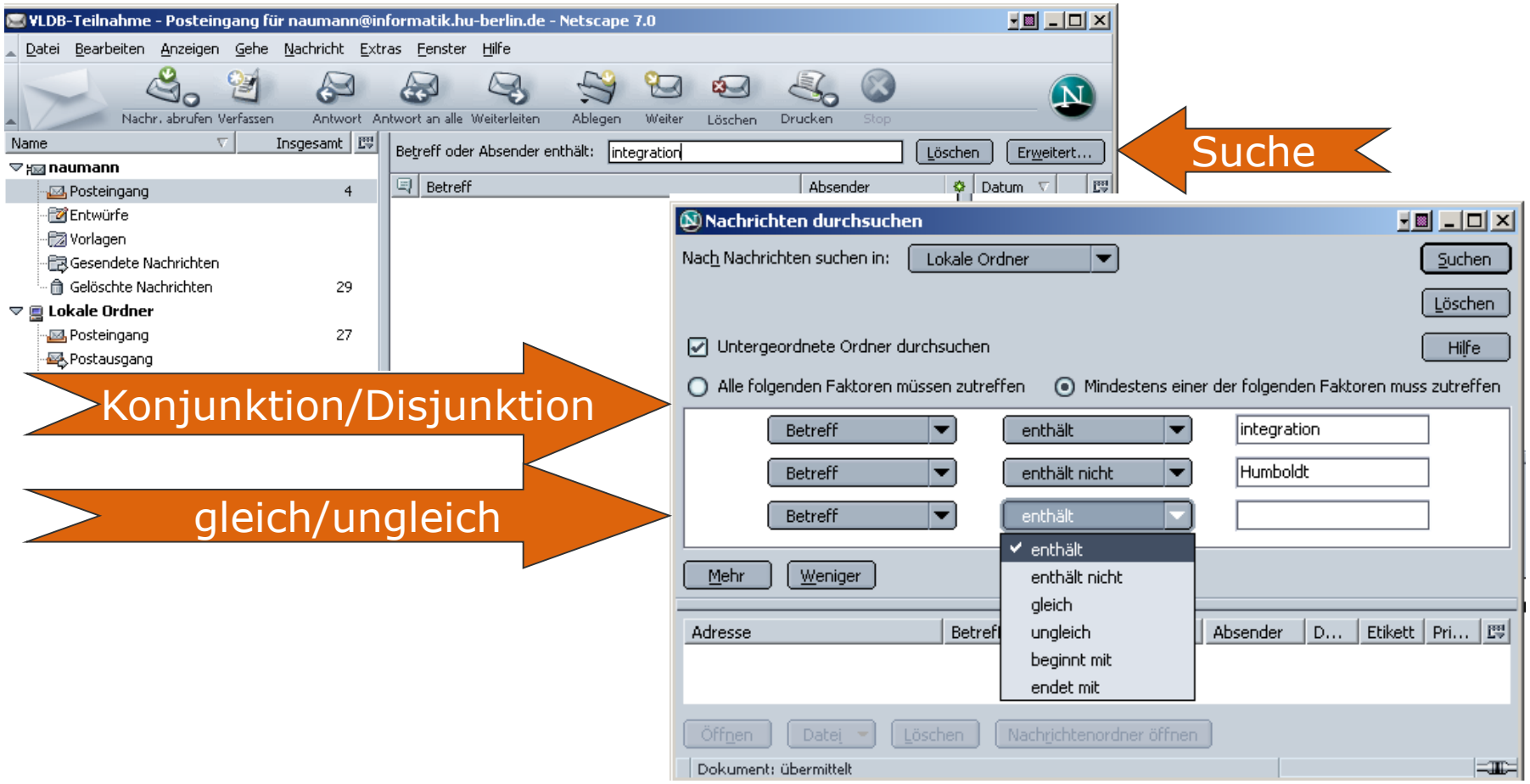
- Schnittstellen von Informationssystemen sind im wesentlichen deren Anfragensprache:
  - HTML Formular,
  - „Google“-Sprache (+, - , ...),
  - SQL,
  - XQuery,
  - etc.

Jetzt hier!

Schnittstellen Heterogenität

- Negation vs. keine Negation
  - Oft zu teuer
- Gleichheit / Ungleichheit
  - „=“ oder auch „>,<, ≥, ≤“
- Konjunktion (UND)
  - oder auch Disjunktion (ODER)
- Prädikate nur mit Konstanten (author = „Melville“)
  - Oder auch mit anderen Variablen (ResidenceCountry = Nationality)
  - Oder auch joins
- Gebundene und freie Variablen [RSU95,LC00,YLGU99]
  - später
- Andere Einschränkungen
  - Joins über maximal 3 Relationen
  - z.B. Prädikate nur über eine Auswahl von Werten

Schnittstellen Heterogenität - Beispiel



Felix Naumann
Information Integration
Winter 2019/20

Schnittstellen-Heterogenität – Beispiel

Gebundene Variablen

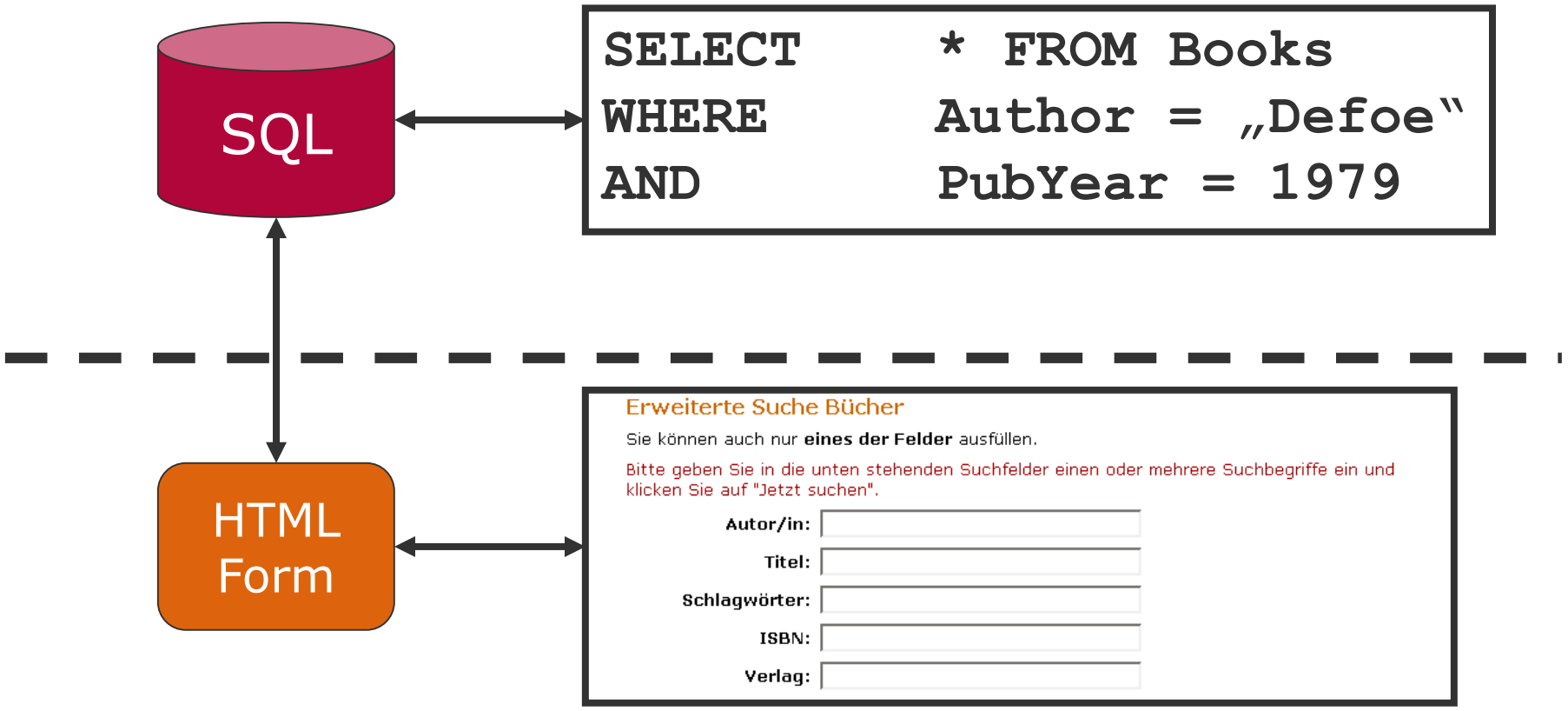
Prädikat nur mit Auswahl von Werten

Felix Naumann
Information Integration
Winter 2019/20

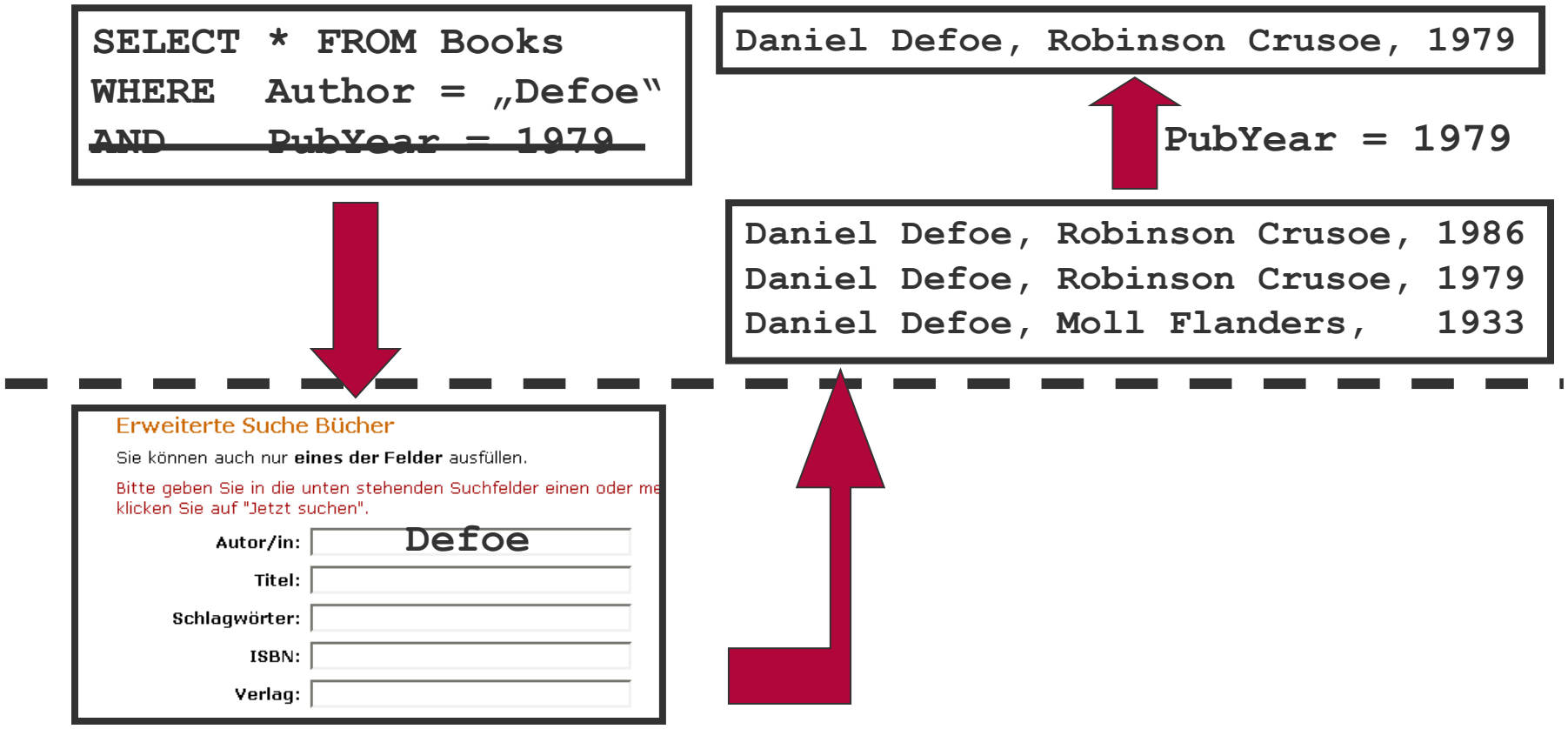
Schnittstellen Heterogenität

- In einzelnen Systemen kein Problem
- Probleme für integrierte Systeme
  1. Globale Anfragesprache ist mächtiger als lokale Anfragesprache
     - Anfragen eventuell nicht ausführbar
     - Oder globales System muss kompensieren
  2. Lokale Anfragesprache ist mächtiger als globale Anfragesprache
     - Verpasste Chance, lokale (effiziente) Ausführung auszunutzen
  3. Gebundene und freie Variablen sind inkompatibel
     - Anfragen eventuell nicht ausführbar

Mächtige globale Anfragesprache

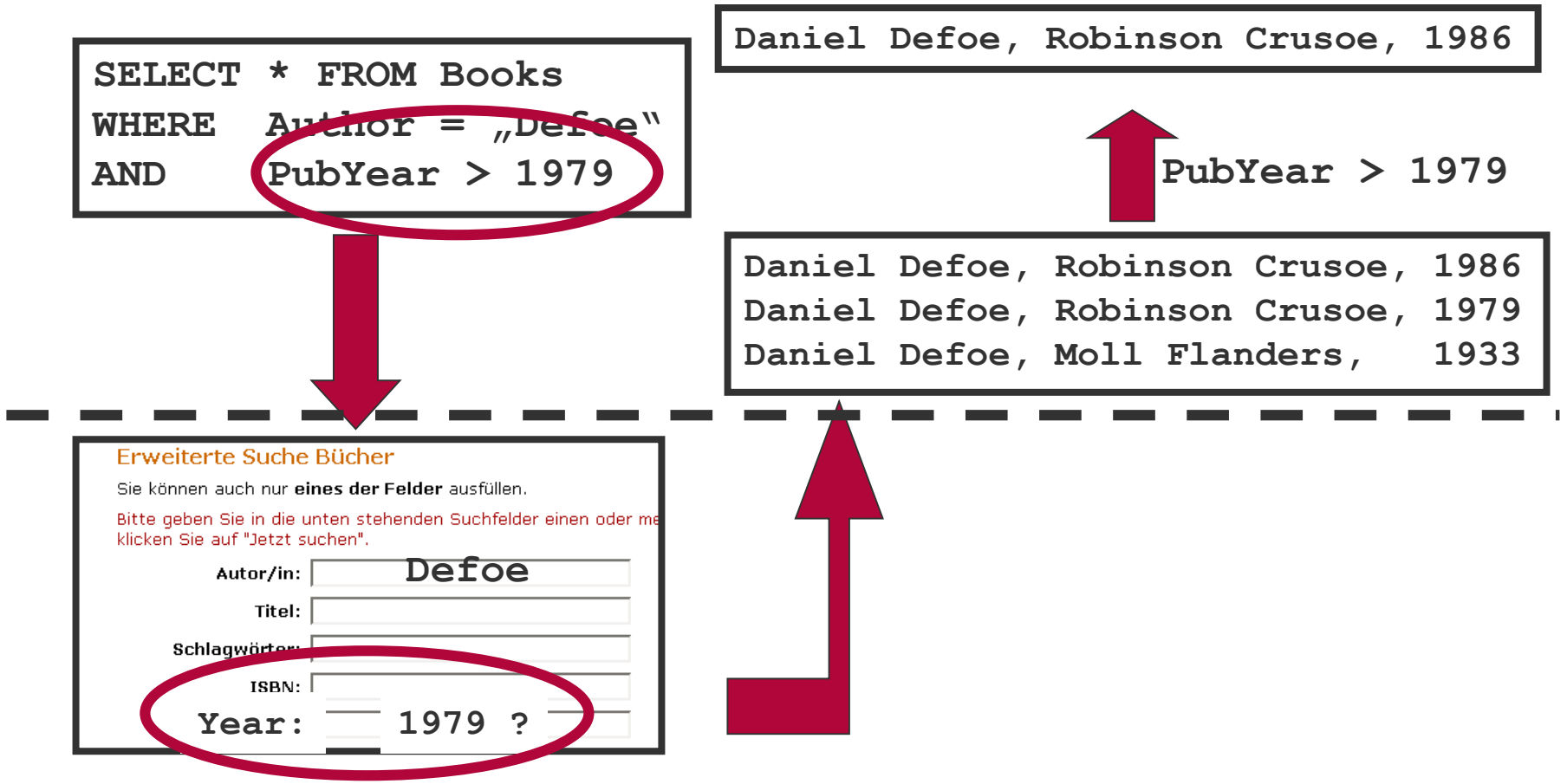


Mächtige globale Anfragesprache



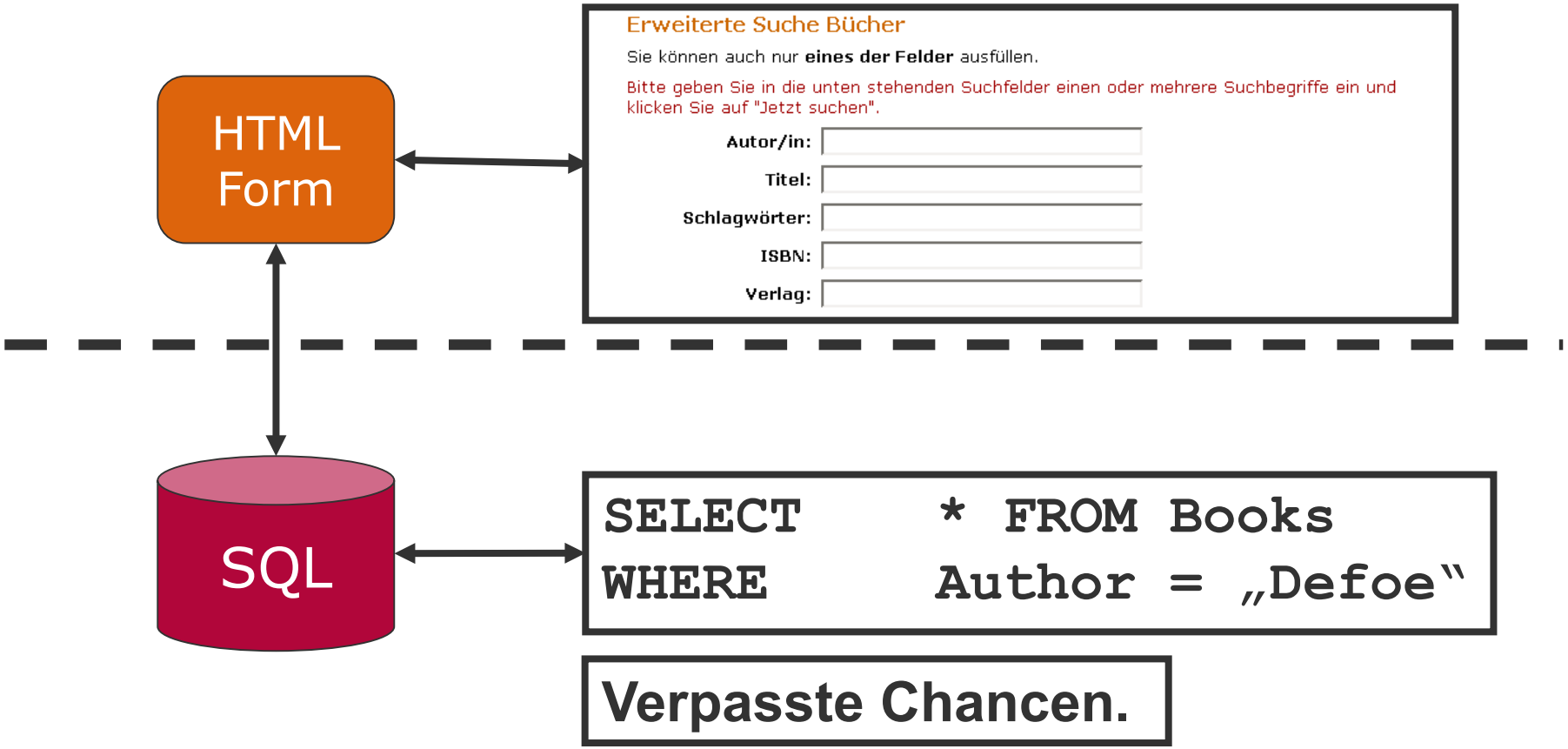
Felix Naumann
Information Integration
Winter 2019/20

Mächtige globale Anfragesprache



Felix Naumann
Information Integration
Winter 2019/20

Mächtige lokale Anfragesprache



Gebundene & Freie Variablen

- **Gebundene Variablen** müssen bei einer Anfrage gebunden werden.
  - z.B.: „Search"-Feld bei Google

- **Freie Variablen** müssen nicht gebunden werden.
  - z.B. „Autor"-Feld bei Amazon.de, falls Titel gebunden ist.

Gebundene & Freie Variablen – Beispiel & Ausblick

SONGS	Song	CD
	Friends	Life
	Friends	Love

CDs	CD	Künstler	Preis
	Love	Lucy	15
	Story	Snoopy	14

Künstler	CD	Künstler	Preis
	Story	Lucy	13
	Love	Snoopy	10
	Life	Charlie	8

Bastelaufgabe 1:
Wie teuer ist die billigste CD
mit einem Song namens “Friends”?

Quelle: [LC00]

Gebundene & Freie Variablen – Beispiel & Ausblick

SONGS	Song	CD
	Friends	Life
	Friends	Love

CDs	CD	Künstler	Preis
	Love	Lucy	15
	Story	Snoopy	14

Künstler	CD	Künstler	Preis
	Story	Lucy	13
	Love	Snoopy	10
	Life	Charlie	8

Unterstrichen = gebundene Variable

Bastelaufgabe 2:
Welches ist die billigste CD mit einem Song namens “Friends”, *die Sie anfragen können*?

Mehr später…

Syntaktische Heterogenität - Zusammenfassung

- Hardware Heterogenität
  - Bandbreite, CPU, ...
- Software Heterogenität
  - Protokolle, Sicherheit, ...
- Schnittstellen Heterogenität
  - Mächtigkeit der Anfragesprachen
  - Gebundene & freie Variablen

Überblick

1. Verteilung
2. Autonomie
3. Syntaktische Heterogenität
4. **Strukturelle Heterogenität**
5. Semantische Heterogenität
   - Namenskonflikte
   - Identität
   - Datenkonflikte
6. Gebundene und Freie Variablen
   - Adornments
   - Anfrageplanung

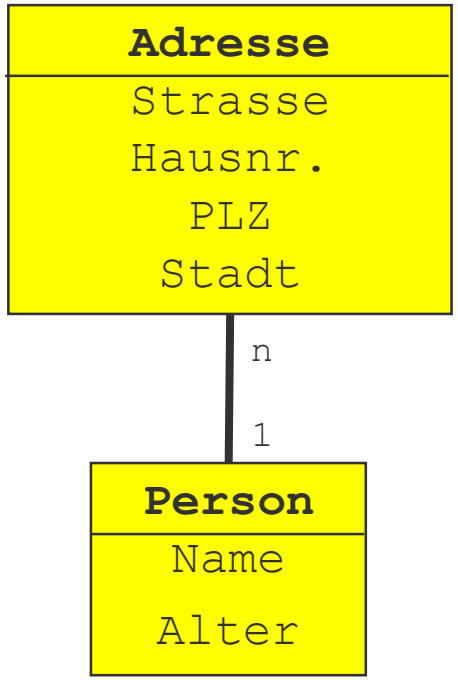
Strukturelle Heterogenität

- Datenmodell-Heterogenität
  - Unterschiedliche Semantik
  - Unterschiedliche Struktur

- Schematische Heterogenität
  - Integritätsbedingungen, Schlüssel, Fremdschlüssel, etc.
  - Schema (Attribut vs. Relation etc.)
  - Struktur (Gruppierung in Tabellen)

Datenmodell-Heterogenität

- Datenmodelle
  - Relationales Modell
  - XML Modell
  - OO Modell
  - Hierarchisches Modell



Adresse(PersonId, Strasse, Hausnr., PLZ, Stadt)

Person(Id, Name, Alter)

Schematische Heterogenität

- Struktur
  - Modellierung
    - Relation vs. Attribut
    - Attribut vs. Wert
    - Relation vs. Wert
  - Benennung
    - Relationen
    - Attribute
    - Jeweils Homonyme und Synonyme
  - Normalisiert vs. Denormalisiert
  - Geschachtelt vs. Fremdschlüssel

- Diese Probleme sogar bei gleichem Datenmodell!

Schematische Heterogenität

```
Männer( Id, Vorname, Nachname)
Frauen( Id, Vorname, Nachname)
```

Relation vs. Attribut

```
Person( Id, Vorname,
        Nachname,männlich,weiblich)
```

Relation vs. Wert

Attribut vs. Wert

```
Person( Id, Vorname,
        Nachname, Geschlecht)
```

Schematische Heterogenität

- Tabellen-Tabellen Konflikte
  - Namenskonflikte
    - Semantisch gleiche Tabellen mit verschiedenen Namen (Synonym)
    - Verschiedene Tabellen mit gleichem Namen (Homonym)
  - Strukturkonflikte
    - fehlende Attribute
    - fehlende, aber ableitbare Attribute
  - IC-Konflikte (Integrity-Constraint = Integritätsbedingungen)

Schematische Heterogenität – Beispiel

mitarbeiter

p_id	vorname	nachname	funktion
1	Peter	Müller	Sachbearb.
5	Petra	Weger	Sekr.
…	…	…	…

mitarbeiter (leitend)

p_id	vorname	name
2	Stefanie	Meier
2	Petra	Weger
2	Andreas	Zwickel
…	…	…

Homonym

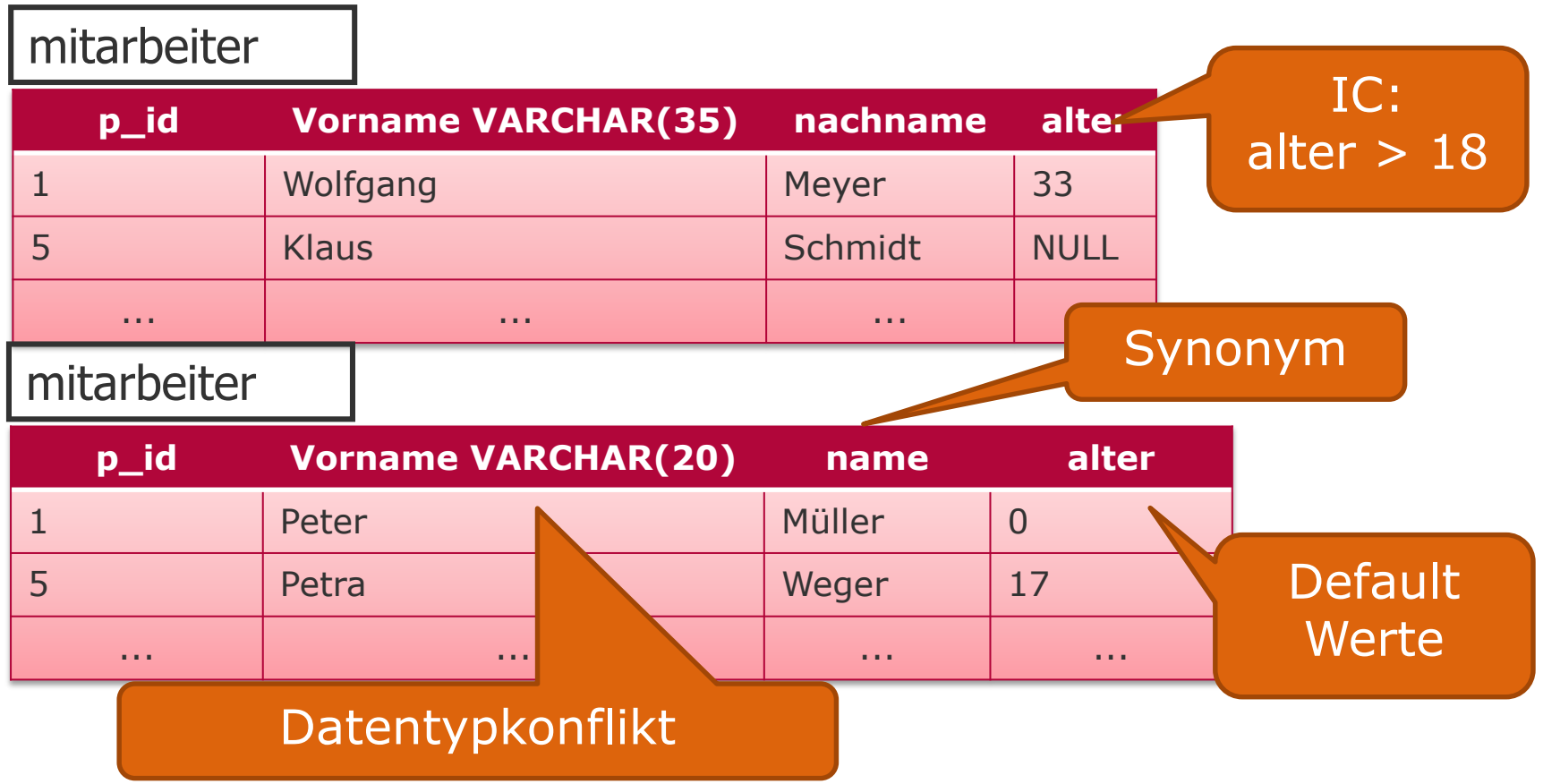
Fehlendes (ableitbares) Attribut

IC Konflikt (Eindeutigkeit)

Schematische Heterogenität

- Attribut-Attribut Konflikte
  - Namenskonflikte
    - Verschiedene Namen für gleiche Attribute (Synonyme)
    - Gleiche Namen für verschiedene Attribute (Homonyme)
  - Default-Wert-Konflikte
  - IC-Konflikte
    - Datentypkonflikte
    - Bedingungskonflikte

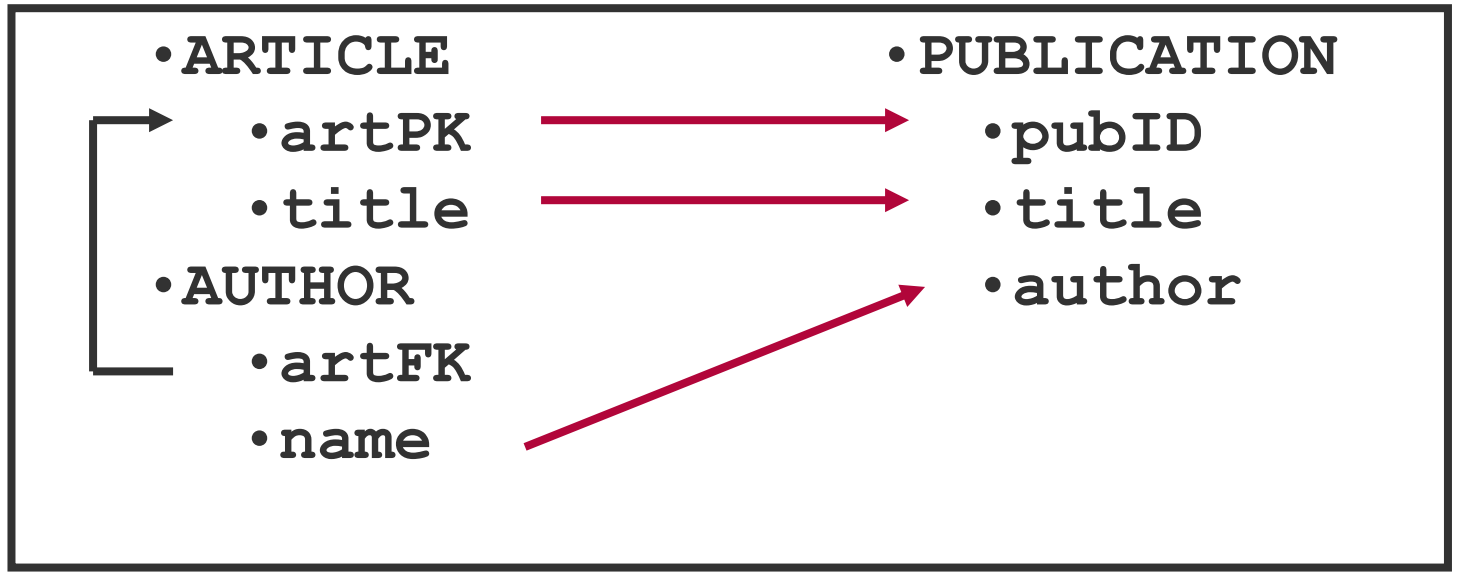
Schematische Heterogenität – Beispiel



Felix Naumann
Information Integration
Winter 2019/20

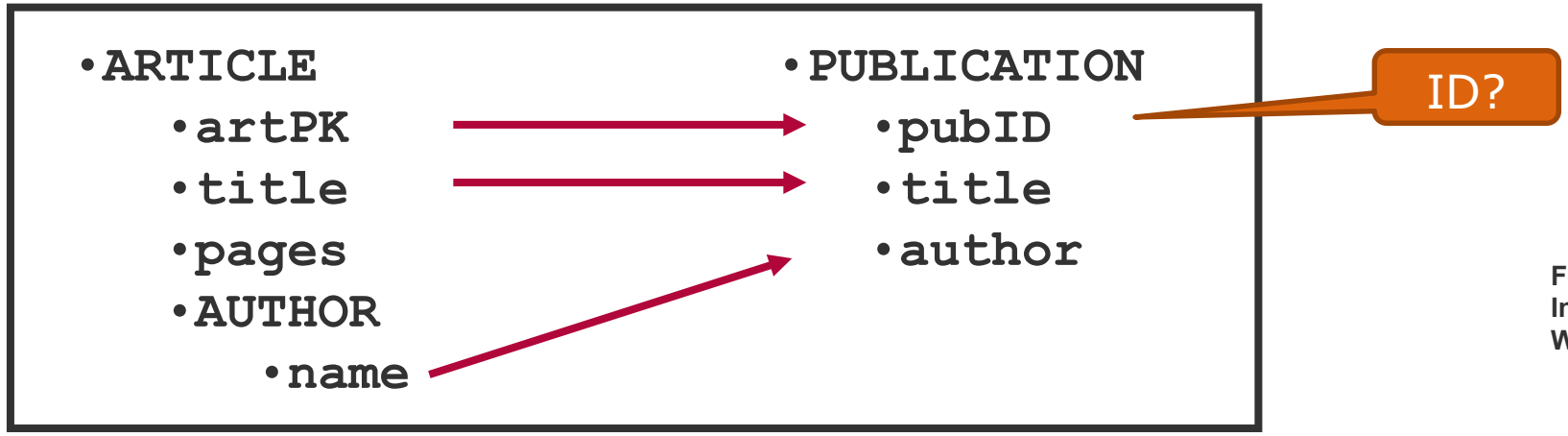
Schematische Heterogenität - Beispiel

- Normalisiert vs. Denormalisiert
  - 1:1 Assoziationen zwischen Werten wird unterschiedlich dargestellt
    - Durch Vorkommen im gleichen Tupel
    - Durch Schlüssel-Fremdschlüssel Beziehung



Schematische Heterogenität - Beispiel

- Geschachtelt vs. Flach
  - 1:n Assoziationen werden unterschiedlich dargestellt
    - Als geschachtelte Elemente
    - Als Schlüssel-Fremdschlüssel Beziehung



Schematische Heterogenität - Lösungen

- Problem
  - Einheitlich auf beide Schemata zugreifen
    - Auf Schemaebene: Schema Mapping und Schema-Sprachen
    - Auf Datenebene: Virtuelle Integration
  - Beide Schemata in eine gemeinsames neues Schema integrieren
    - Auf Schemaebene: Schemaintegration
    - Auf Datenebene: Materialisierte Integration
- Für die materialisierte Integration
  - Schemaintegration
  - ETL
- Für die virtuelle Integration
  - Schema-Sprachen
    - Z.B. SchemaSQL, MSQL, CPL
  - Schema Mapping
    - Z.B. Clio, RONDO, u.a.

Schematische Heterogenität – Lösungen (Ausblick)

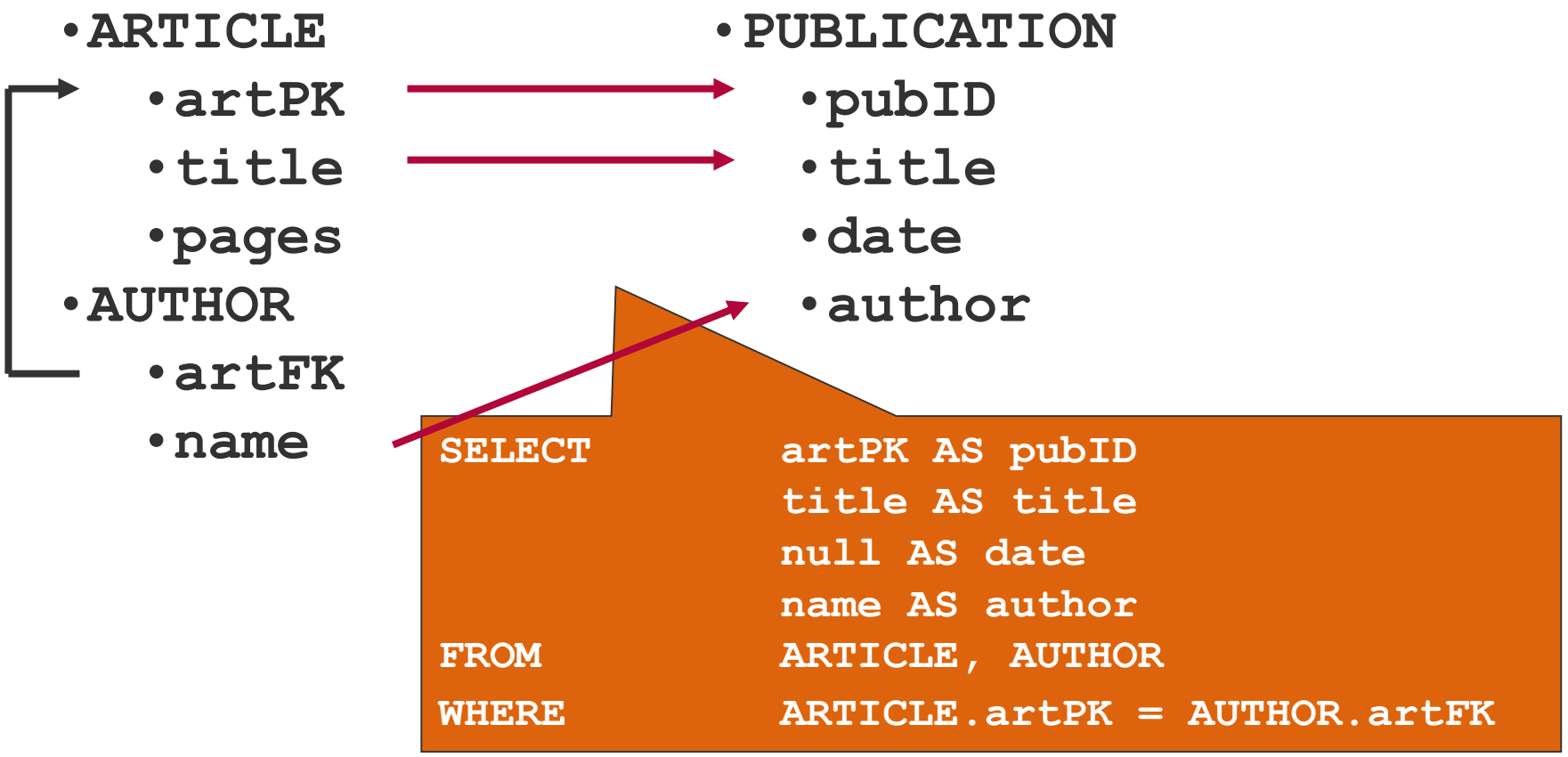
- SchemaSQL [LSS96]
  - Erweiterung von SQL
  - Daten und Metadaten werden gleich behandelt
  - Umstrukturierungen innerhalb der Anfrage
  - Dynamische Sicht-Definition
  - Horizontale Aggregation

```
SELECT RelA
FROM   uniA->RelA, uniA::RelA A, uniB::grundgehalt B
WHERE  RelA = B.institut
AND    A.Kategorie = „Student“
AND    A.grundgehalt > B.Student
```

High-order Join

Schematische Heterogenität – Lösungen (Ausblick)

- Schema Mapping



Zusammenfassung

- Verteilung
- Autonomie
  - Design-Autonomie
  - Kommunikations-Autonomie
  - Ausführungs-Autonomie
- Heterogenität
  - Syntaktische Heterogenität
    - Hardware Heterogenität
    - Software Heterogenität
    - Schnittstellen Heterogenität
  - Strukturelle Heterogenität
    - Datenmodell-Heterogenität
    - Schematische Heterogenität

Überblick

1. Verteilung
2. Autonomie
3. Syntaktische Heterogenität
4. Strukturelle Heterogenität
5. **Semantische Heterogenität**
   - Namenskonflikte
   - Identität
   - Datenkonflikte
6. Gebundene und Freie Variablen
   - Adornments
   - Anfrageplanung

Semantik

- Fremdwörterduden “Semantik”:
  - Teilgebiet der Linguistik, das sich mit den Bedeutungen sprachlicher Zeichen und Zeichenfolgen befasst
  - Bedeutung, Inhalt eines Wortes, Satzes oder Textes

- *„Semantic heterogeneity is a fairly overloaded term. It basically refers to the differences among the databases that relate to meaning, interpretation, and intended use of data.“* [ÖV 2011]

Semantik vs. Struktur

- Strukturelle Heterogenität
  - Betrifft Schemata
  - Bedeutung der Labels im Schema egal
  - Annahme bisher: Gleiche Label -> Gleiche Semantik

Männer(Id, Vorname, Nachname) Frauen(Id, Vorname, Nachname)	A(Id, X, Y) B(Id, X, Y)
Person(Id, Vorname, Nachname, Männlich, weiblich)	P(Id, X, Y, a, b)

- Semantische Heterogenität
  - Betrifft Daten
  - Betrifft „Bedeutung“

Unterschiedliche Namen

- Die Probleme (Überblick)
  - Konzept (z.B. Gen)
    - Definition des Konzepts
  - Synonyme (z.B. surname vs. last name)
  - Homonyme (z.B. biweekly)
  - Einheiten (z.B. cm vs. inch)
  - Werte (z.B. „manager“)
- Eher auf Schema Ebene

Konzept

- Definition eines Konzepts
  - Noch nicht einmal hier sind sich immer alle einig.
  - Gen, Transaktion, Bestellung, Mitarbeiter
- Semantisch überlappende Weltausschnitte mit einander entsprechenden Klassen
- Korrespondenzarten zwischen Klassenextensionen:
  - $A = B$ Äquivalenz
  - $A \subseteq B$ Inklusion
  - $A \cap B$ Überlappung
  - $A \neq B$ Disjunktion

Konzept am Beispiel „Wie viele Mitarbeiter hat IBM?“

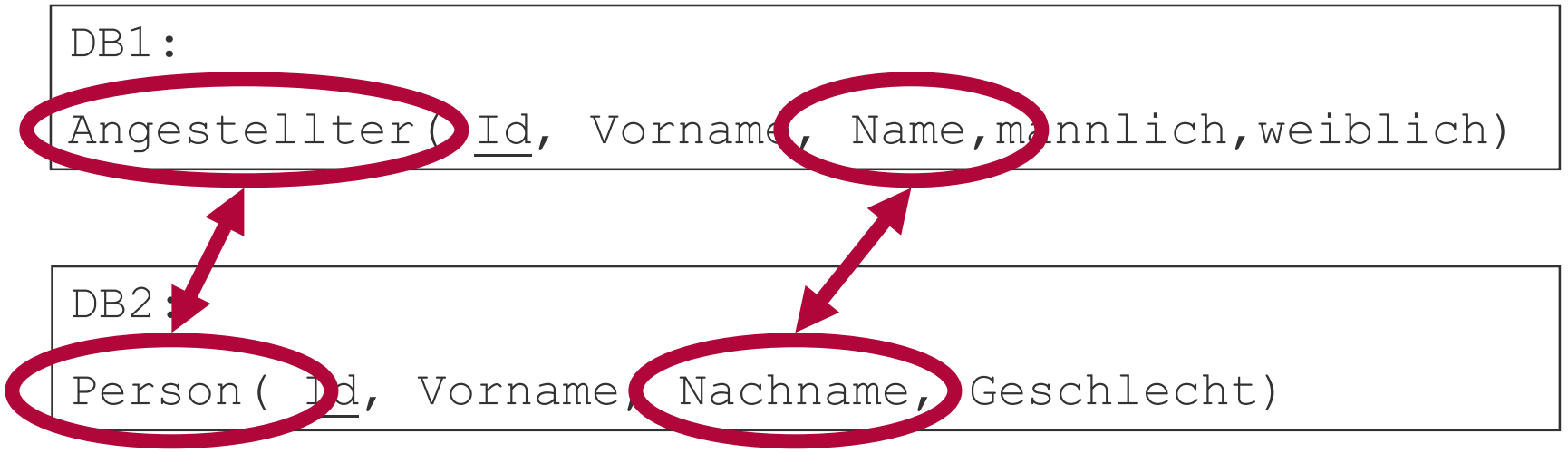
- Definition Mitarbeiter:
  - temporäre MA
  - Diplomanden
  - Berater
  - Studentische Mitarbeiter
  - Stellen oder Köpfe?
- Definition IBM
  - Welche Region? Welcher Geschäftsbereich?
  - Informix?
  - PWC?
- Welcher Zeitpunkt?
- Definition der Zählung:
  - Doppelte Zählung bei mehreren Anstellungen?

1983 IBM East Fishkill employees celebrate the introduction of the IBM 4381 processor. Poughkeepsie Journal photos

- Beispiel 2: Wie viel Hardware haben wir an das HPI verkauft?

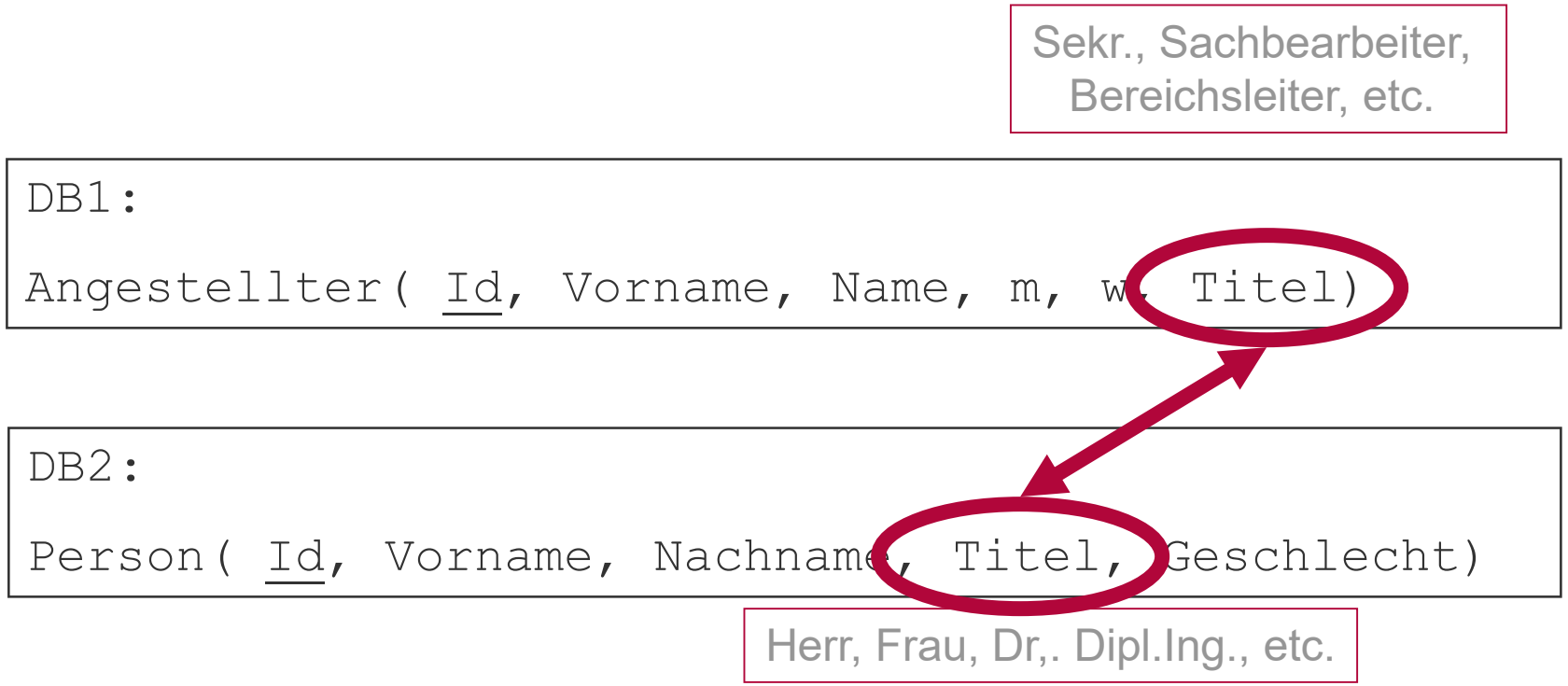
Synonyme

- Verschiedene Worte mit gleicher Bedeutung
- Im Kontext der zu integrierenden Datenbanken



Homonyme

- Gleiche Worte verschiedener Bedeutung
- Andere Domäne
- Andere Bedeutung



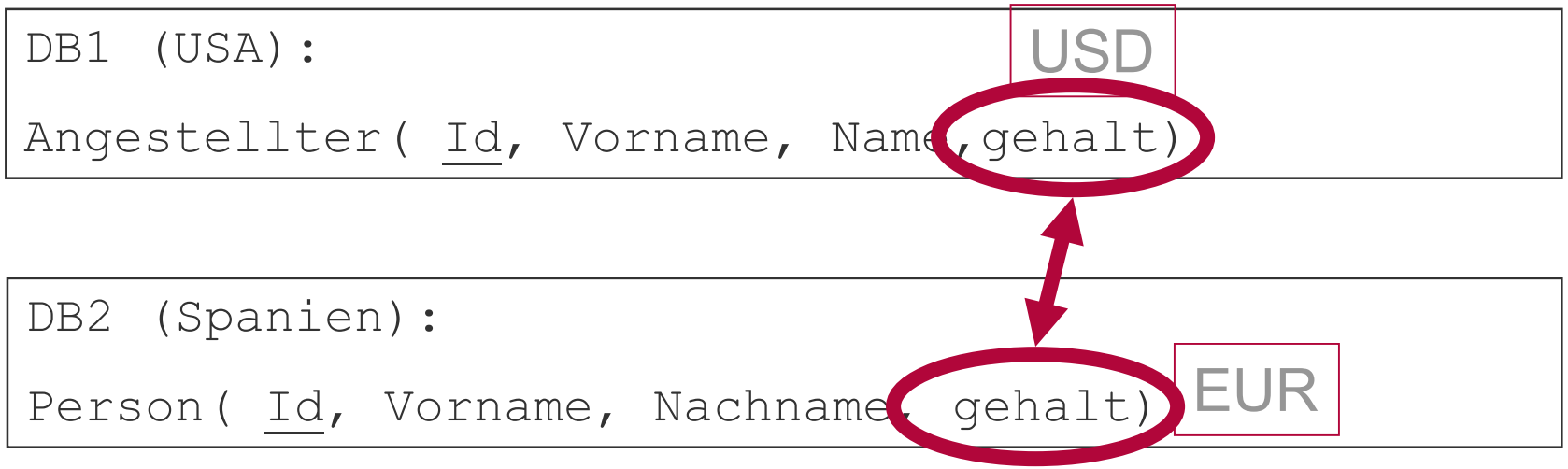
Andere -nym Wörter

- Synonym
  - Verschiedene Wörter, gleiche Semantik
- Homonym
  - Gleiche Wörter, verschiedene Semantik
- Antonym
  - Verschiedene Wörter, gegenteilige Semantik
- Auto-Antonym:
  - Gleiche Wörter, gegenteilige Semantik
  - Transparenz, aufheben, umfahren, Quantensprung, Kriegsgegner, …
  - Overlook, comprise, dust, left, fast, wind up…
- Heteronym
  - Gleiche Schreibung, verschiedene Aussprache, verschiedene Semantik
    - Read, lead, bass, close, …
- Autonym (selbstbeschreibend, Wort = Semantik, „Substantiv“)
- Pseudonym u.v.a.m.

- http://www.fun-with-words.com/nym_words.html

Einheiten

- Gleiche „Bedeutung“ aber anderes Maß.
- Werden auch als Homonym bezeichnet, da anderes Maß eine andere Bedeutung erzeugt.



Überblick

1. Verteilung
2. Autonomie
3. Syntaktische Heterogenität
4. Strukturelle Heterogenität
5. Semantische Heterogenität
   - Namenskonflikte
   - **Identität**
   - Datenkonflikte
6. Gebundene und Freie Variablen
   - Adornments
   - Anfrageplanung

Identität

- Drei zentrale Fragen
  - Was ist ein Objekt?
    - XML: Über mehrere Schachtelungsebenen hinweg
    - Relationales Modell: Über mehrere Relationen hinweg
  - Repräsentiert Objekt A die gleiche Entität wie Objekt B?
  - Wie finde ich effizient gleiche Repräsentationen?
- Namen des Problems
  - Duplikaterkennung 
  - Objektidentifikation
  - Record Linkage
  - Data Cleansing
  - ...
- Auf Datenebene

Typische Anwendungen

- Personen- und Adressdaten
  - Volkszählungen
  - Werbeaktionen
  - Kundenpflege
- Molekularbiologische Daten
- Bibliographische Daten
  - Zentrale Register
- Typische Merkmale zur Entstehung:
  - Gleiches Objekt mehrfach beobachtet
  - Manuelle Erfassung der Daten
  - Objekt ändert Eigenschaften von Zeit zu Zeit
  - Keine global konsistente ID
    - ISBN, IBAN, URL, ISO, EAN, SSN, etc.

Duplikaterkennung

- Duplikate in Relationen
  - Zwei Tupel, die das gleiche real-world Objekt repräsentieren
  - Semantik!
  - Attributwerte dürfen sich unterscheiden.
- Formales Problem
  - Eine Tabelle (der Größe N), potentiell mit Duplikaten
  - Erzeuge für jedes Tupel einen Identifier, so dass Duplikate gleiche Identifier erhalten
- Problemerweiterungen
  - Zwei Tabellen mit unterschiedlichem Schema
  - Ein XML Dokument mit Duplikaten
  - Eine Tabelle und ein Anfragedatensatz (matching)
  - …

Duplikaterkennung

- Praktisches Problem 1
  - Wie entscheide ich, ob zwei Tupel das gleiche Objekt repräsentieren?
  - Ähnlichkeitsmaße und Klassifikation
    - Edit-Distance
    - N-grams
    - IDs
    - Wahrscheinlichkeitstheoretische Ansätze
    - Maschinelles Lernen
    - Augenschein

Duplikaterkennung

- Praktisches Problem 2
  - Sehr große Datenmenge
    - Millionen Tupel
  - Kein quadratischer Algorithmus
  - Kein Hauptspeicher-Algorithmus
- Als SQL Anfrage
  - Sei R die Relation mit Duplikaten
  -
```
SELECT    C1.*, genID(C1,C2)
FROM      R as C1, R as C2
WHERE     M(C1,C2)
```
- Schwieriger als normaler Join
  - Ähnlichkeitsmaß ist nicht nur Gleichheit

Überblick

1. Verteilung
2. Autonomie
3. Syntaktische Heterogenität
4. Strukturelle Heterogenität
5. Semantische Heterogenität
   - Namenskonflikte
   - Identität
   - **Datenkonflikte**
6. Gebundene und Freie Variablen
   - Adornments
   - Anfrageplanung

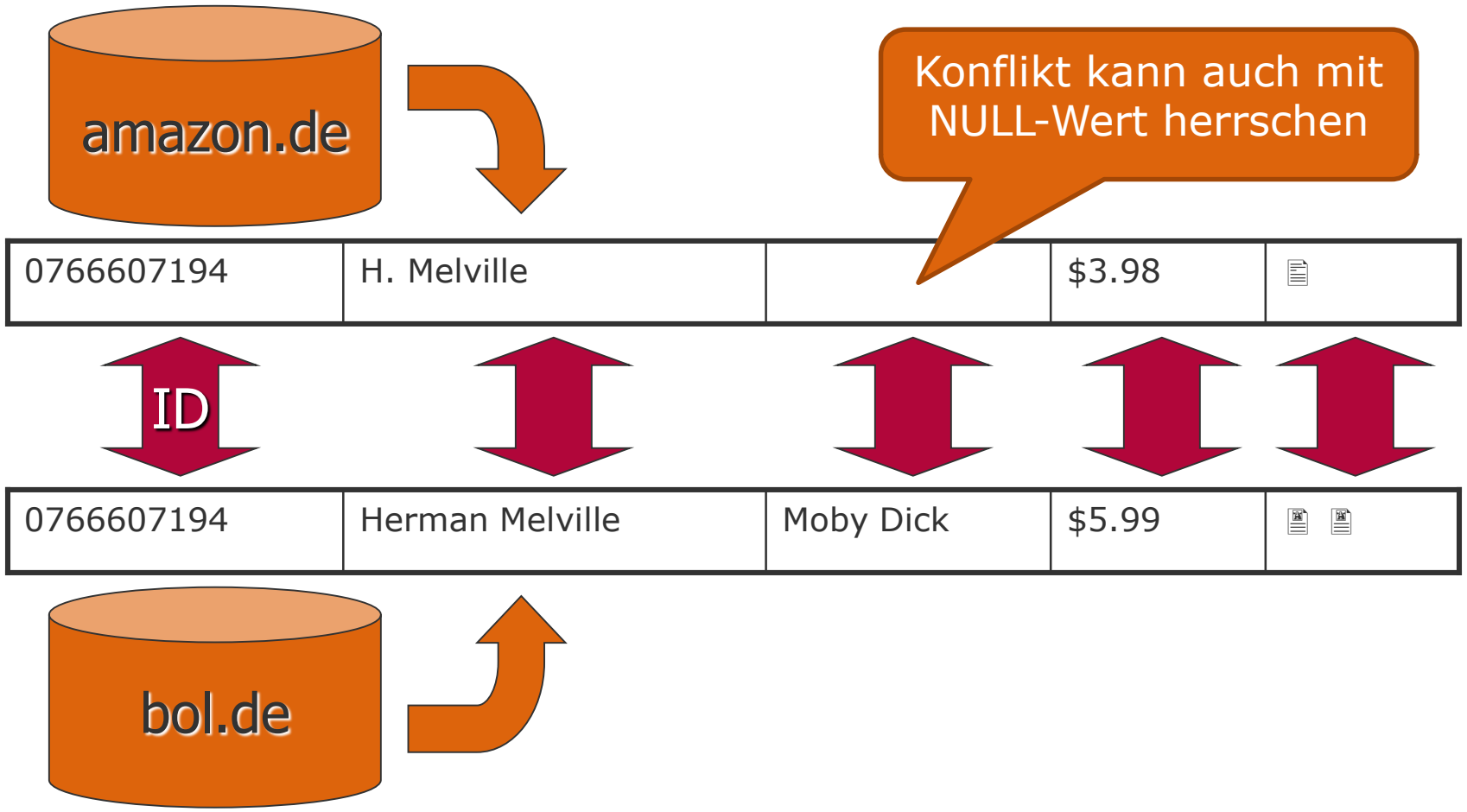
Datenkonflikte

- Datenkonflikt:
  - Zwei Duplikate haben unterschiedliche Attributwerte für ein semantisch gleiches Attribut.
  - Im Gegensatz zu Konflikten mit Integritätsbedingungen

- Datenkonflikte entstehen
  - innerhalb eines Informationssystems (intra-source) und
  - bei der Integration mehrerer Informationssysteme (inter-source).

- Voraussetzung:
  - Duplikat!
  - d.h. Identität schon festgestellt.

Datenkonflikte - Beispiel



Felix Naumann
Information Integration
Winter 2019/20

Datenkonflikte – Entstehung

Auch innerhalb eines Informationssystems

- Mangels Integritätsbedingungen oder Konsistenz-Checks
- Bei redundanten Schemata
- Bei Entstehung von Duplikaten
- Nicht korrekte Einträge
  - Tippfehler, Übertragungsfehler
  - Falsche Rechenergebnisse
- obsolete Einträge
  - div. Aktualisierungszeitpunkte
    - ausreichende Aktualität einer Quelle
    - verzögerte Aktualisierung
  - vergessene Aktualisierung

Datenkonflikte – Entstehung

Innerhalb eines Informationssystems

- bei div. Datentypen (mit/ohne Codierung)
  - 1,2,...,5 bzw. "sehr gut", "gut", ..., mangelhaft"
- bei gleichem Datentyp
  - Schreibvarianten
    - Kantstr. Kantstrasse Kant Str. Kant Strasse
    - Kolmogorov Kolmogoroff Kolmogorow
  - Typische Verwechslungen (OCR)
    - U vs. V
    - 0 vs. O
    - 1 vs. l vs. I
    - ...

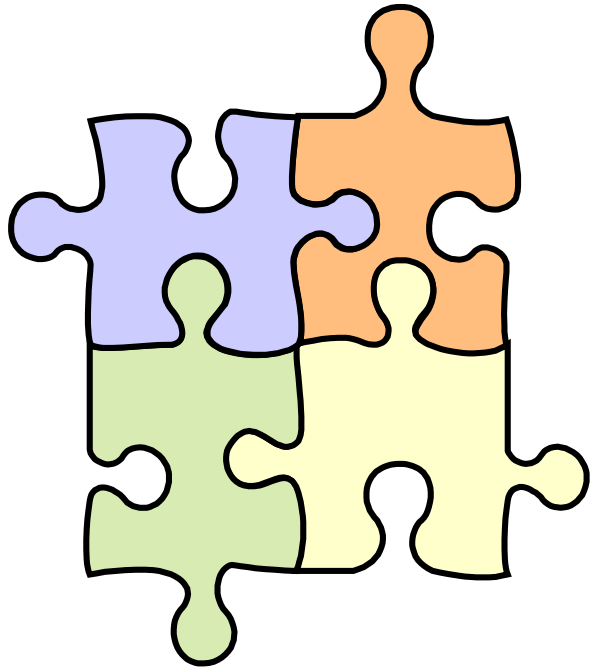
Datenkonflikte – Behebung

- Referenztabellen für exakte Wertabbildung
  - Z.B. Städte, Länder, Produktnamen, Codes...
  - Wiederum unter Verwendung von Ähnlichkeitsmaßen
- Standardisieren und transformieren
- Nutzung von Hintergrundwissen (Metadaten)
  - bzgl. von Konventionen (landestypische Schreibweisen)
  - Ontologien zur Behandlung von Zusammenhängen
  - Thesauri, Wörterbücher zur Behandlung von Homonymen, Synonymen, ...

Relationale Objektintegration

- Union (Vereinigung)
  - Duplikat-Eliminierung
- Minimum Union
  - Eliminierung sub-summierter Tupel

- Aber keine
  - Duplikatintegration
  - Konfliktlösung
- Mehr dazu in VL „Datenfusion“



Überblick

1. Verteilung
2. Autonomie
3. Syntaktische Heterogenität
4. Strukturelle Heterogenität
5. Semantische Heterogenität
   - Namenskonflikte
   - Identität
   - Datenkonflikte
6. **Gebundene und Freie Variablen**
   - Adornments
   - Anfrageplanung

Gebundene & Freie Variablen

Gebundene Variablen müssen bei einer Anfrage spezifiziert werden.

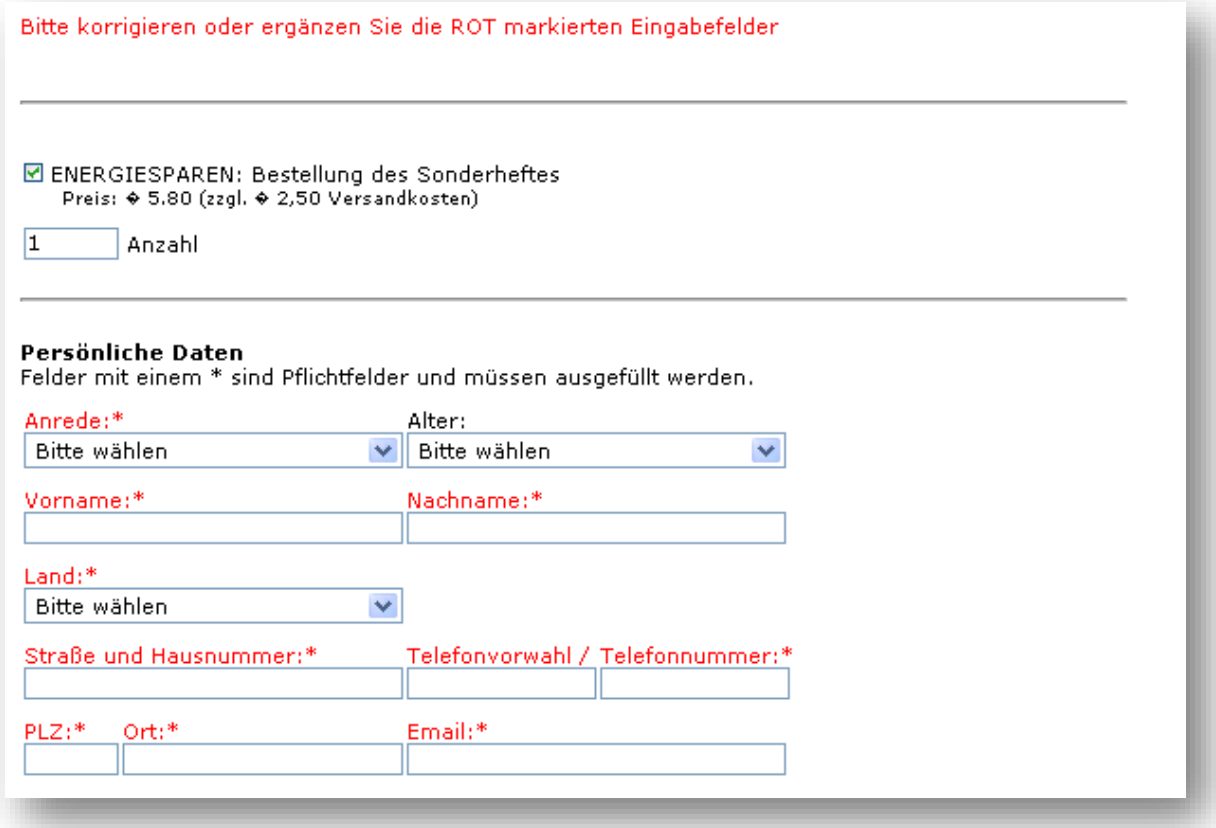
- z.B.: „Search"-Feld bei Google

Freie Variablen müssen nicht gebunden werden.

- z.B. „Autor"-Feld bei Amazon.de, falls Titel gebunden ist.

Einordnung:

- Heterogenität
  - Syntaktische Heterogenität
    - Schnittstellen-heterogenität



Gebundene und Freie Variablen – Adornments

- Jede Quelle exportiert eine oder mehrere relationale Sichten.
- IIS erlaubt Anfragen auf diese Sichten mittels Join, Union, Selektion und Projektion.

Computing Capabilities of Mediators

Ramana Yerneni, Chen Li, Hector Garcia-Molina, Jeffrey Ullman
Department of Computer Science
Stanford University
{yerneni,chenli,hector,ullman}@cs.stanford.edu

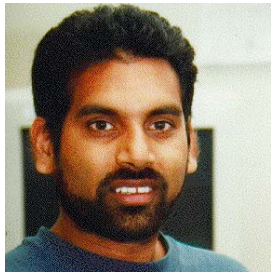
Abstract

Existing data-integration systems based on the mediation architecture employ a variety of mechanisms to describe the query-processing capabilities of sources. However, these systems do not compute the capabilities of the mediators based on the capabilities of the sources they integrate. In this paper, we propose a framework to capture a rich variety of query-processing capabilities of data sources and mediators. We present algorithms to compute the set of supported queries of a mediator, based on the capability limitations of its sources. Our algorithms take into consideration a variety of query-processing techniques employed by mediators to enhance the set of supported queries.

for other mediators. Furthermore, users have a difficult time understanding the set of supported mediator queries in these systems. Consequently, users must endure a frustrating trial-and-error approach, submitting queries that are rejected until finally hitting upon a query that is answered by the mediator.

In this paper, we present algorithms to precompute mediator capabilities automatically, so that users and other mediators know which queries are supported. In addition, we extend the types of source limitations that can be handled by existing mediation systems. For example, we handle attributes that can only be queried with values from a fixed menu of constants.

The World Wide Web is a prime example of a context where we need to handle many different



Gebundene und Freie Variablen – Adornments

Beispiel Quelle 1:
$R_1(X,Y,Z)$
Daten:
(x_1,y_1,z_1)
(x_1,y_2,z_1)
(x_2,y_2,z_2)

Beispiel Anfrage 1:
$Q_1(X,Y,z_1)$

Z gebunden

Beispiel Anfrage 2:
$Q_2(X,y_1,Z)$

Beispiel Ergebnis:
(x_1,y_1,z_1)
(x_1,y_2,z_1)

Beispiel Ergebnis:
(x_1,y_1,z_1)

5 Quellen (für später):
$R_1(X,Y,Z)$
$R_2(X,Y,Z)$
$R_3(X,Y,Z)$
$R_4(Z,U)$
$R_5(U,V,W)$

Gebundene und Freie Variablen – Adornments

- Anfragefähigkeiten der Quellen modelliert als *templates*
  - Wie ein WWW Formular
  - Templates bestehen aus einem *adornment* für jedes Attribut
- Anhänge (adornments = Verzierungen/Ausschmückung) an Attribute schränken ein:
  - f: *free*
    - Frei: Kann in Anfrage spezifiziert werden, muss aber nicht.
  - u: *unspecifiable*
    - Unbestimmbar: Kann nicht spezifiziert werden.
    - Ist aber Teil des Ergebnisses.
  - b: *bound*
    - Gebunden: Muss spezifiziert werden.
  - c[s]: *constant*
    - Auswahl aus einer Menge s von Konstanten
    - Implizit bound: muss spezifiziert werden
  - o[s]: *optional*
    - Auswahl aus einer Menge s von Konstanten
    - Implizit free: Muss nicht spezifiziert werden.

Adornments - Beispiele

Beispiel Quelle 1:
$R_1(X,Y,Z)$

Anfragemöglichkeit 1:
X muss spezifiziert werden
Y kann nicht spezifiziert werden
Z kann spezifiziert werden

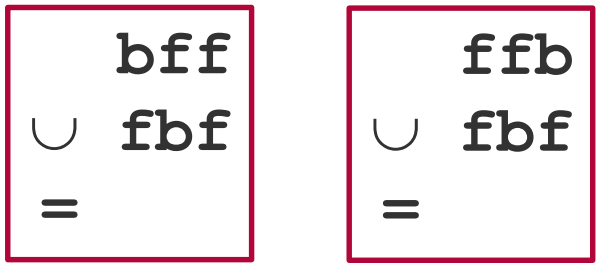
Template:
buf

Anfragemöglichkeit 2:
X kann nicht spezifiziert werden
Y kann spezifiziert werden
Z ist entweder z_1 oder z_2

Template:
ufc[z_1, z_2]

Adornments – Anfragebearbeitung

- Anfragebearbeitung
  - R1(X,Y,Z): bff, ffb
  - R2(X,Y,Z): fbf
  - Sei M = R1 ∪ R2 eine integrierte Sicht
    - Anfragen gegen diese Sicht (Schema: X,Y,Z)
  - Annahme über Anfragebearbeitung:
    - Anfragen werden übersetzt in je eine Anfrage pro Quelle (gebundene Variablen werden weitergereicht)
    - Ergebnisse werden entsprechen der Sicht verknüpft (hier ∪)
  - Frage: Was ist das Template der Sicht M?



Adornments – Verknüpfung durch UNION

3 Sichten und deren Adornments:
$R_1(X,Y,Z)$: bff, ffb
$R_2(X,Y,Z)$: fbf
$R_3(X,Y,Z)$: ffc[s_1], c[s_2]ff

$R_1 \cup R_2$:
bff $\cup$ fbf = bbf
ffb $\cup$ fbf = fbb

$(R_1 \cup R_2) \cup R_3$:
bbf $\cup$ ffc[s_1] = bbc[s_1] usw.

$\cup$	**f**	**o**$[s_3]$	**b**	**c**$[s_4]$	**u**
f	f	o$[s_3]$	b	c$[s_4]$	u
o$[s_1]$	o$[s_1]$	o$[s_1 \cap s_3]$	c$[s_1]$	c$[s_1 \cap s_4]$	u
b	b	c$[s_3]$	b	c$[s_4]$	-
c$[s_2]$	c$[s_2]$	c$[s_2 \cap s_3]$	c$[s_2]$	c$[s_2 \cap s_4]$	-
u	u	u	-	-	u

Adornments – Verknüpfung durch Join (⋈)

- Unterschied zu UNION
  - Nicht jedes Attribut der integrierten Sicht ist auch Attribut jeder beteiligten Quelle.
  - Beispiel: R1(X,Y,Z) und R4(Z,U)
  - Sicht: M(X,Y,Z,U) = R1(X,Y,Z) ⋈ R4(Z,U)

- Berechnung des Templates der Sicht
  1. Adornments der nicht-Join-Attribute werden kopiert.
  2. Adornments der Join-Attribute werden gemäß der UNION Tabelle vereint.

Adornments – Selektion und Projektion

- Selektion
  - Sicht im IIS selektiert mit Prädikaten.
    - X = `Test´ oder U > 1999
  - Prädikate werden auf Ergebnisse der Quellen angewandt.
  - Deshalb: Kein Einfluss auf adornments

- Projektion
  - Einfach projizierte Attribute weglassen.
  - Aber: Falls Attribut mit b oder c adornment durch Projektion wegfallen soll => Sicht des IIS nicht ausführbar
  - Sonst: Adornments bleiben erhalten

Adornments – Anfragebearbeitung

- Problem
  - UNION-Matrix zu restriktiv

	$\mathbf{f}$	$\mathbf{o}[s_3]$	$\mathbf{b}$	$\mathbf{c}[s_4]$	$\mathbf{u}$
$\mathbf{f}$	f	$\mathrm{o}[s_3]$	b	$\mathrm{c}[s_4]$	u
$\mathbf{o}[s_1]$	$\mathrm{o}[s_1]$	$\mathrm{o}[s_1 \cap s_3]$	$\mathrm{c}[s_1]$	$\mathrm{c}[s_1 \cap s_4]$	u
$\mathbf{b}$	b	$\mathrm{c}[s_3]$	b	$\mathrm{c}[s_4]$	-
$\mathbf{c}[s_2]$	$\mathrm{c}[s_2]$	$\mathrm{c}[s_2 \cap s_3]$	$\mathrm{c}[s_2]$	$\mathrm{c}[s_2 \cap s_4]$	-
$\mathbf{u}$	u	u	-	-	u

- Idee: Erhöhung der Menge beantwortbarer Anfragen
  - durch *post-processing*
  - durch *passing bindings*

Adornments und Postprocessing

$R_1(X,Y,Z)$: bfu
$R_2(X,Y,Z)$: buf
$R_1 \cup R_2$ = buu

Anfrage 1: (x_1,Y,Z) beantwortbar? — Ja
Anfrage 2: (x_1,y_1,z_1) beantwortbar? — Nicht ohne weiteres

Idee: (x_1,y_1,Z) an R_1
(x_1,Y,z_1) an R_2
Dann im Mediator filtern:
$Z=z_1$ bzw. $Y=y_1$

Was ist neu?
u = f : durch nachträgliches Filtern (post-processing)
o[s] = f : falls Bindung nicht in s, weglassen und später Filtern
Zusammen: $R_1 \cup R_2$ = bff

Adornments – Verknüpfung durch UNION

Vorher:

	f	**o**$[s_3]$	**b**	**c**$[s_4]$	**u**
f	f	o$[s_3]$	b	c$[s_4]$	u
o$[s_1]$	o$[s_1]$	o$[s_1 \cap s_3]$	c$[s_1]$	c$[s_1 \cap s_4]$	u
b	b	c$[s_3]$	b	c$[s_4]$	-
c$[s_2]$	c$[s_2]$	c$[s_2 \cap s_3]$	c$[s_2]$	c$[s_2 \cap s_4]$	-
u	u	u	-	-	u

Nachher:

	f	**o**$[s_3]$	**b**	**c**$[s_4]$	**u**
f	f	f	b	c$[s_4]$	f
o$[s_1]$	f	f	b	c$[s_4]$	f
b	b	b	b	c$[s_4]$	b
c$[s_2]$	c$[s_2]$	c$[s_2]$	c$[s_2]$	c$[s_2 \cap s_4]$	c$[s_2]$
u	f	f	b	c$[s_4]$	f

Adornments und Passing Bindings

JOIN über templates ohne *passing bindings*
$R_1(X,Y,Z)$: fbf
$R_5(Z,U)$: bf
$R_1 \bowtie R_5$ = fbbf

Anfrage 1: (X,y_1,z_1,U) beantwortbar?
Anfrage 2: (X,y_1,Z,U) beantwortbar?

Idee: (X,y_1,Z) an R_1
$(z_1,U)\ldots(z_n,U)$ an R_5

Passing Bindings: Ergebnisse einer Sicht werden vom Mediator in die gebundene Variable der nächsten Sicht eingetragen.

JOIN über templates mit *passing bindings*:
$R_1 \bowtie R_5$ = fbff

Vorher:

	f	**o**$[s_3]$	**b**	**c**$[s_4]$	**u**
f	f	o$[s_3]$	b	c$[s_4]$	u
o$[s_1]$	o$[s_1]$	o$[s_1 \cap s_3]$	c$[s_1]$	c$[s_1 \cap s_4]$	u
b	b	c$[s_3]$	b	c$[s_4]$	-
c$[s_2]$	c$[s_2]$	c$[s_2 \cap s_3]$	c$[s_2]$	c$[s_2 \cap s_4]$	-
u	u	u	-	-	u

Zweite Quelle

Nachher:

	f	**o**$[s_3]$	**b**	**c**$[s_4]$	**u**
f	f	f	f	c$[s_4]$	f
o$[s_1]$	f	f	f	c$[s_4]$	f
b	b	b	b	c$[s_4]$	b
c$[s_2]$	c$[s_2]$	c$[s_2]$	c$[s_2]$	c$[s_2 \cap s_4]$	c$[s_2]$
u	f	f	f	c$[s_4]$	f

Erste Quelle

Felix Naumann
Information Integration
Winter 2019/20

Adornments – Selektion mit Post-processing

Variante 1: $R_1(X,Y,Z)$, $X = x_1$: bfu

$Q(X, y_1, z_1)$ beantwortbar?

$Q(X, y_1, z_1) = Q(x_1, y_1, z_1)$
wegen Prädikat
bfu wird zu bff wird zu fff

Variante 2: $R_1(X,Y,Z)$, $X < x_1$: bfu

$Q(x_2, Y, Z)$ beantwortbar?
$Q(x_2, Y, z_1)$ beantwortbar?
$Q(X, y_1, z_1)$ beantwortbar?

bfu wird zu bff mit
post-processing

Adornments – Selektion mit Post-processing

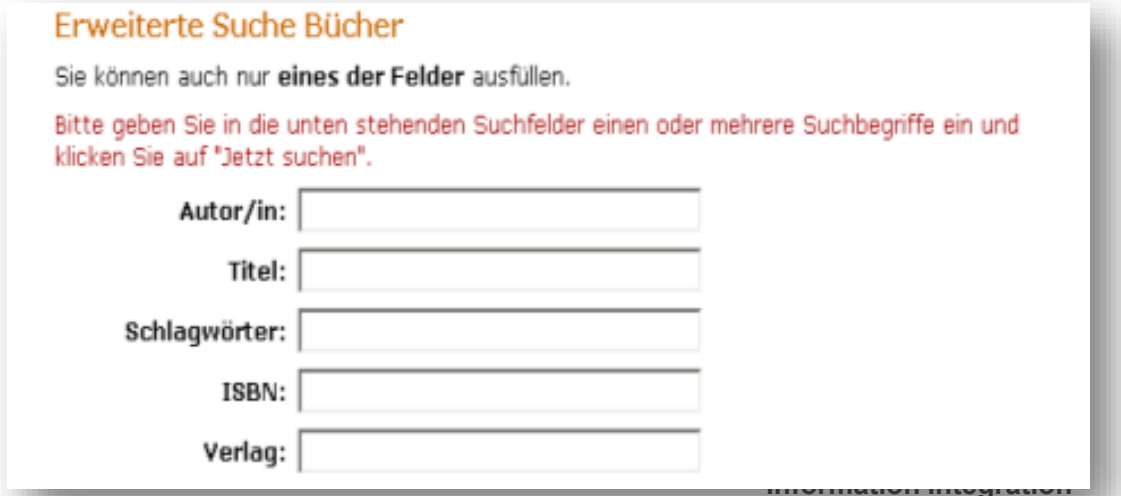
Vorher Nachher

Base View Adornment	Sel. Attribute Adornment
f	f
o[s_1]	f
b	f or b
c[s_1]	f or c[s_1]
u	f

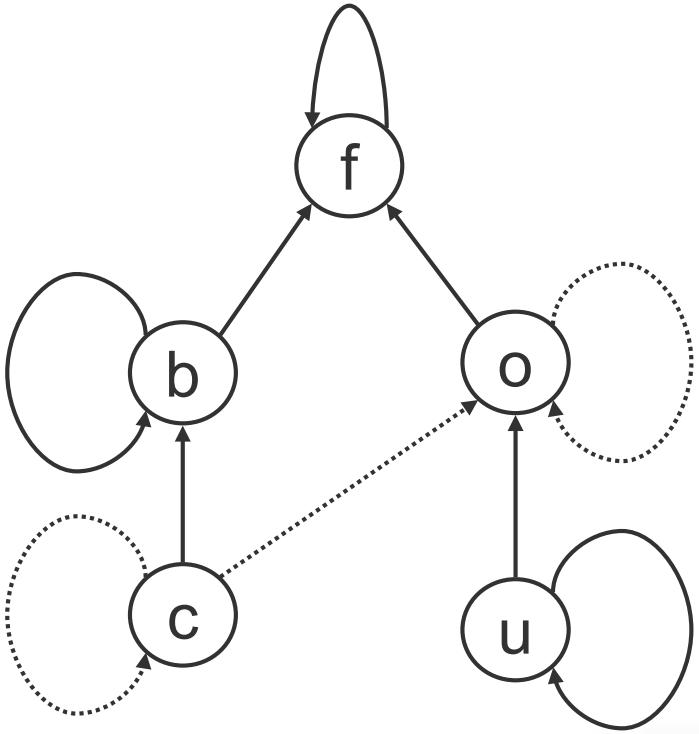
Felix Naumann
Information Integration
Winter 2019/20

Viele Templates

- Problem: Quellen exportieren oft mehrere templates
  - Beispiel: Amazon(Autor, Titel, Schlagwort, ISBN, Verlag)
  - bffff, fbfff, ffbff, fffbf, ffffb
  - Beispiel: Verlage(Verlag, Ort)
  - bf, fb
  - Sicht im IIS: Amazon $\bowtie_{\text{Verlag}}$ Verlage
  - Templates der Sicht aus jeder Kombination:
    - bfffff, fbffff, ffbfff, fffbff, ffffbf
    - bffffb, fbfffb, ffbffb, fffbfb, ffffbb
    - + fffffb (ffffb $\bowtie$ fb mit passing binding)
- Beobachtung:
  - Einige templates sind redundant: Jede Anfrage, die dieses template erlaubt wird auch von einem anderen template erlaubt.



Redundanz in Templates



Weniger restriktiv

Weniger restriktiv falls Auswahllisten Teilmengen sind

transitiv

- bfffff, fbffff, ffbfff, fffbff, ffffbf
- bffffb, fbfffb, ffbffb, fffbfb, ffffbb

Subsumption Test: A template T is subsumed by another template T' if for every attribute X the adornment of X in T is at least as restrictive as the adornment of X in T' (based on Figure 1).

Adornments – Fallbeispiel

- Amazon
  - Formular 1: Mindestens eine Spezifikation aus **`author`**, **`title`**, **`subject`**, **`format`** (format aus Auswahlliste)
  - Formular 2: **`ISBN`** spezifizieren
  - Formular 3: Mindestens eine Spezifikation aus **`keyword`**, **`publisher`**, **`date`**
  - Antwortrelation:
    - **`author`**, **`title`**, **`ISBN`**, **`publisher`**, **`date`**, **`format`**, **`price`**, **`shipping info`**
- Barnes & Noble
  - Formular 1
    - Mindestens eine Spezifikation aus **`author`**, **`title`**, **`keywords`**
    - Optionale Spezifikation in **`format`**, **`subject`**, **`price`**, **`age`** (alles aus Auswahllisten)
  - Formular 2: **`ISBN`** spezifizieren

Adornments - Fallbeispiel

Amazon

author	title	format	subject	KW	ISBN	pub	date	price	ship
b	f	o	f'	u'	u	u	u	u	u
f	b	o	f'	u'	u	u	u	u	u
f	f	c	f'	u'	u	u	u	u	u
f	f	o	b'	u'	u	u	u	u	u
u	u	u	u'	u'	b	u	u	u	u
u	u	u	u'	f'	u	b	f	u	u
u	u	u	u'	b'	u	f	f	u	u
u	u	u	u'	f'	u	f	b	u	u

Barnes & Noble

author	title	format	subject	KW	ISBN	pub	date	price	ship	age
f	b	o	o'	f'	u	u	u	o	u	o'
b	f	o	o'	f'	u	u	u	o	u	o'
f	f	o	o'	b'	u	u	u	o	u	o'
u	u	u	u'	u'	b	u	u	u	u	u'

IIS

author	title	format	subject	KW	ISBN	pub	date	price	ship	age
f	f	f	u'	u'	b	f	f	f	f	u'
f	f	f	u'	b'	f	f	f	f	f	u'
b	f	f	o'	u'	f	f	f	f	f	u'
f	b	f	o'	u'	f	f	f	f	f	u'
b	f	f	u'	f'	f	b	f	f	f	u'
f	b	f	u'	f'	f	b	f	f	f	u'
f	b	f	u'	f'	f	f	b	f	f	u'
b	f	f	u'	f'	f	f	b	f	f	u'

Adornments - Fallbeispiel

IIS

author	title	format	subject	KW	ISBN	pub	date	price	ship	age
f	f	f	u'	u'	b	f	f	f	f	u'
f	f	f	u'	b'	f	f	f	f	f	u'
b	f	f	o'	u'	f	f	f	f	f	u'
f	b	f	o'	u'	f	f	f	f	f	u'
b	f	f	u'	f'	f	b	f	f	f	u'
f	b	f	u'	f'	f	b	f	f	f	u'
f	b	f	u'	f'	f	f	b	f	f	u'
b	f	f	u'	f'	f	f	b	f	f	u'

Ableiten von 4 Formularen im IIS nach [YLGU99]
- Spezifikation der ISBN (template 1)
- Spezifikation des keyword (template 2)
- Mindestens author oder title spezifizieren (templates 3 und 4)
- Mindestens author oder title und mindestens publisher oder date spezifizieren (templates 5-8)

Überblick

1. Verteilung
2. Autonomie
3. Syntaktische Heterogenität
4. Strukturelle Heterogenität
5. Semantische Heterogenität
   - Namenskonflikte
   - Identität
   - Datenkonflikte
6. Gebundene und Freie Variablen
   - Adornments
   - **Anfrageplanung**

Gebundene & Freie Variablen – Beispiel

v_1(Song, CD)

<Friends, Life>

<Friends, Love>

v_2(CD, Artist, Price)

<Love, Lucy, $15>

<Story, Snoopy, $14>

v_3(CD, Artist, Price)

<Story, Lucy, $13>

<Love, Snoopy, $10>

<Life, Charlie, $8>

Bastelaufgabe 1:
Wie teuer ist die billigste CD mit einem Song namens "Friends"?

Quelle: [LC00]

Gebundene & Freie Variablen – Beispiel

v_1(Song, CD)

<Friends, Life>

<Friends, Love>

v_2(CD, Artist, Price)

<Love, Lucy, $15>

<Story, Snoopy, $14>

v_3(CD, Artist, Price)

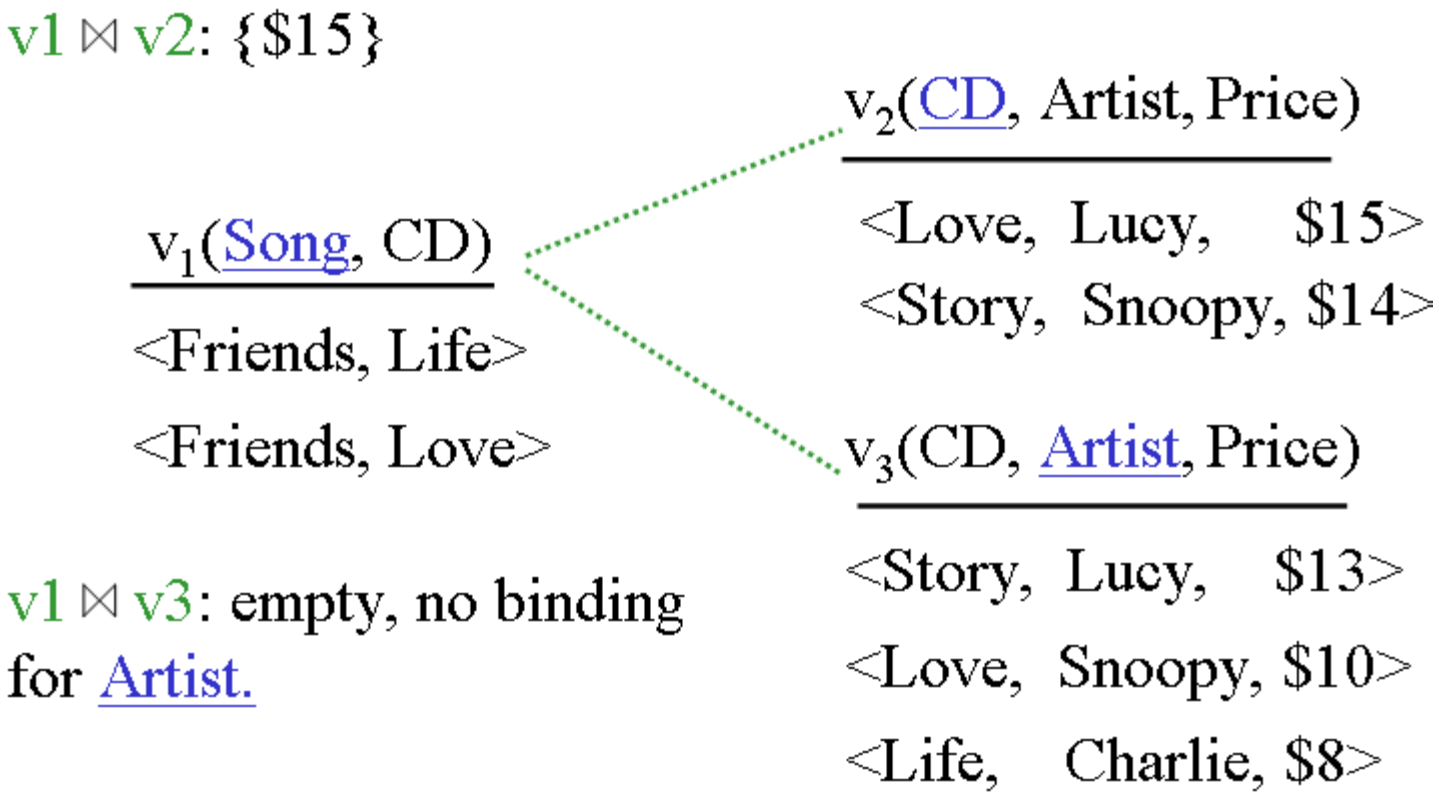
<Story, Lucy, $13>

<Love, Snoopy, $10>

<Life, Charlie, $8>

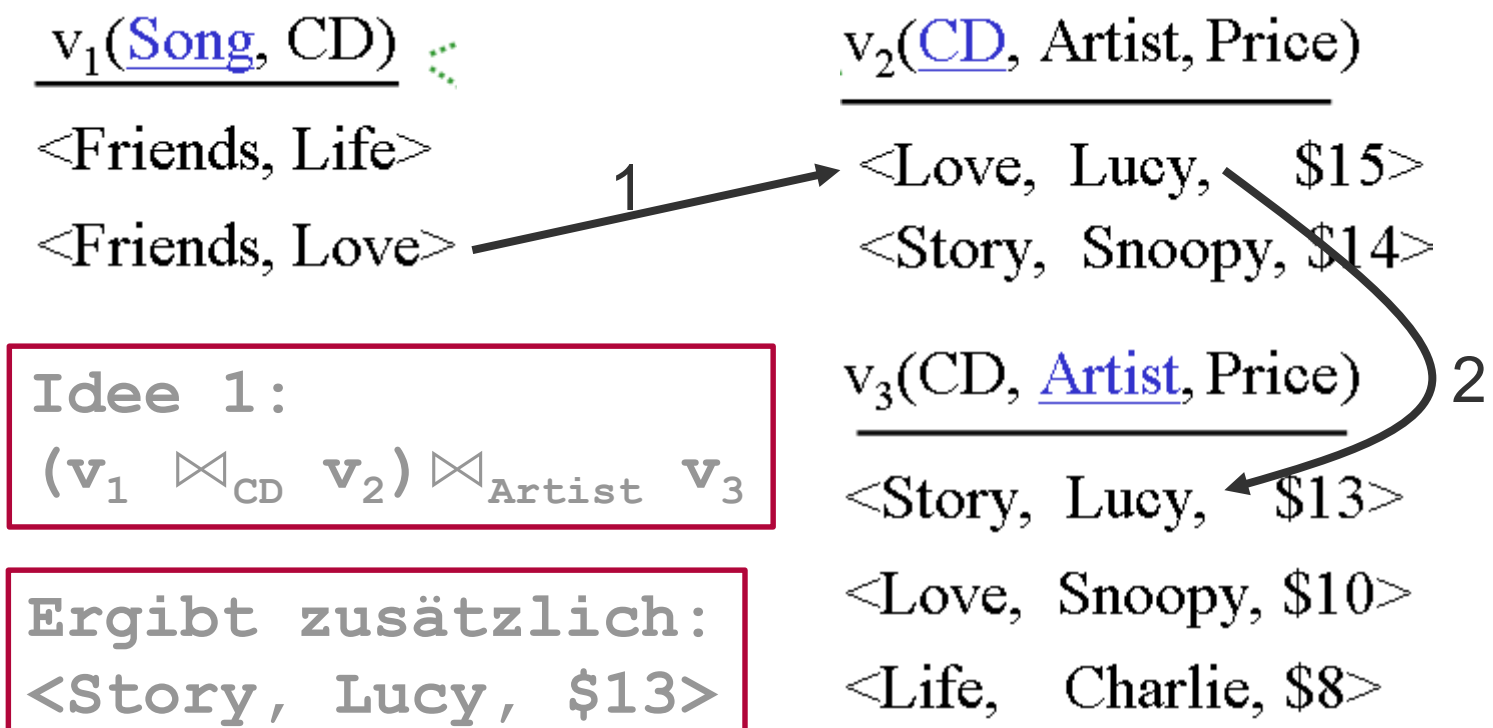
Bastelaufgabe 2:
Welches ist die billigste CD mit einem Song namens "Friends", *die Sie anfragen können*?

Gebundene & Freie Variablen – Beispiel



Quelle: [LC00]

Gebundene & Freie Variablen – Beispiel



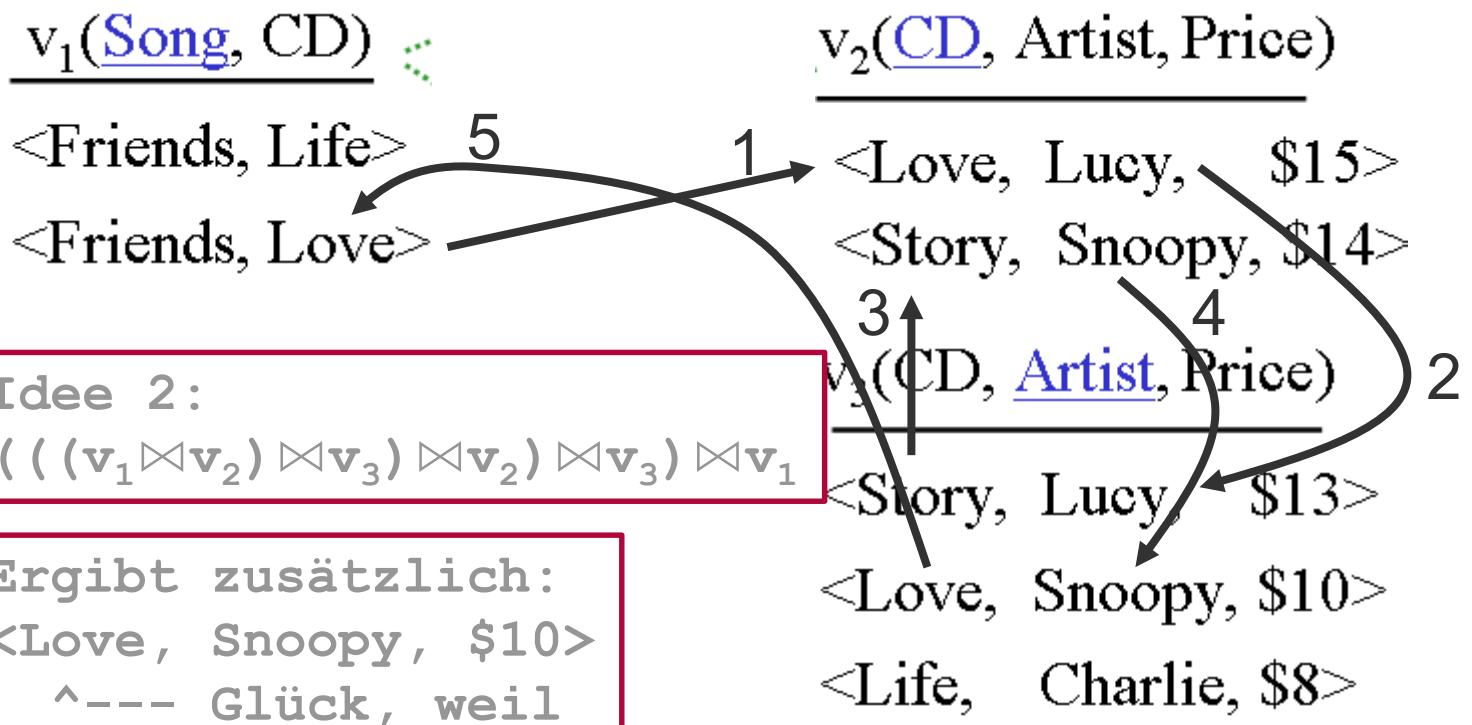
Idee 1:

$(v_1 \bowtie_{CD} v_2) \bowtie_{Artist} v_3$

Ergibt zusätzlich:

```
<Story, Lucy, $13>
   ^---PECH
```

Gebundene & Freie Variablen – Beispiel



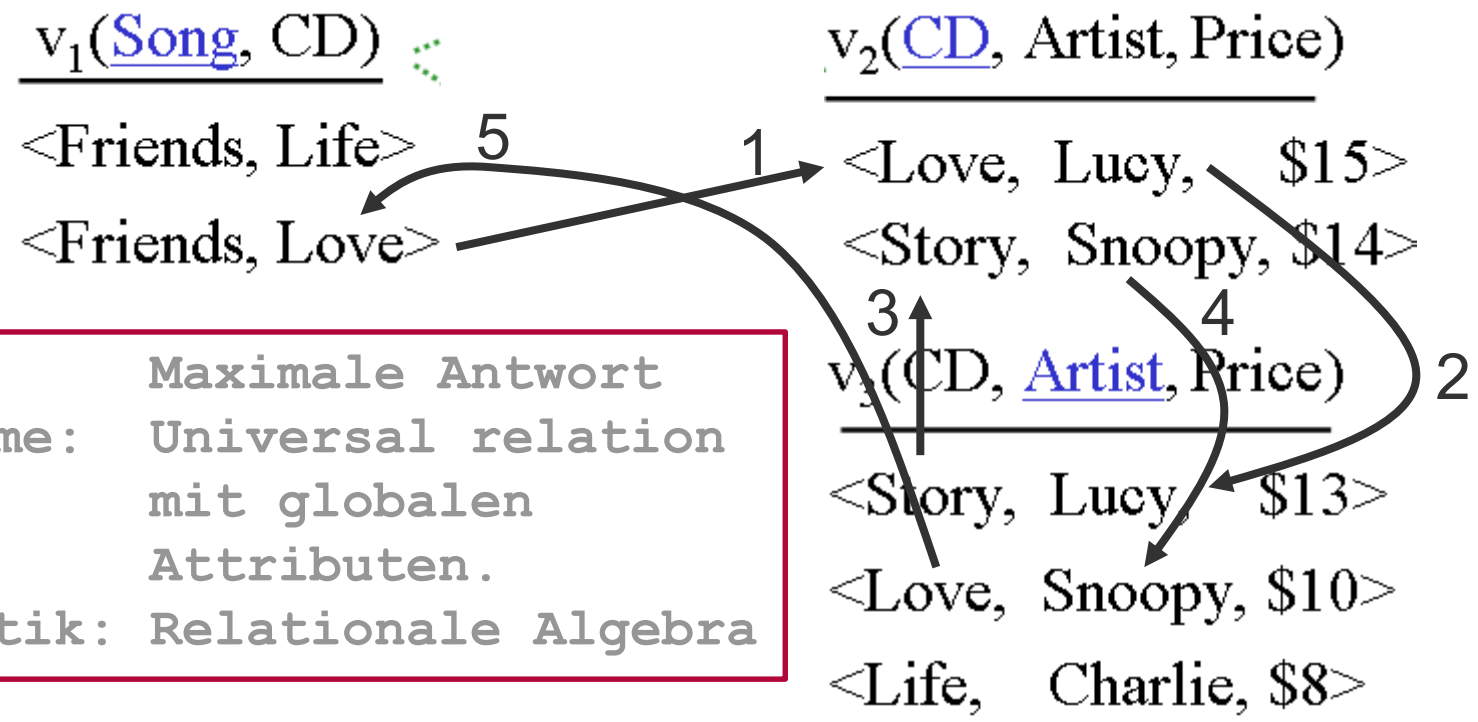
Idee 2:

$(((v_1 \bowtie v_2) \bowtie v_3) \bowtie v_2) \bowtie v_3) \bowtie v_1$

Ergibt zusätzlich:
<Love, Snoopy, $10>
^--- Glück, weil auch in v_1!

Felix Naumann
Information Integration
Winter 2019/20

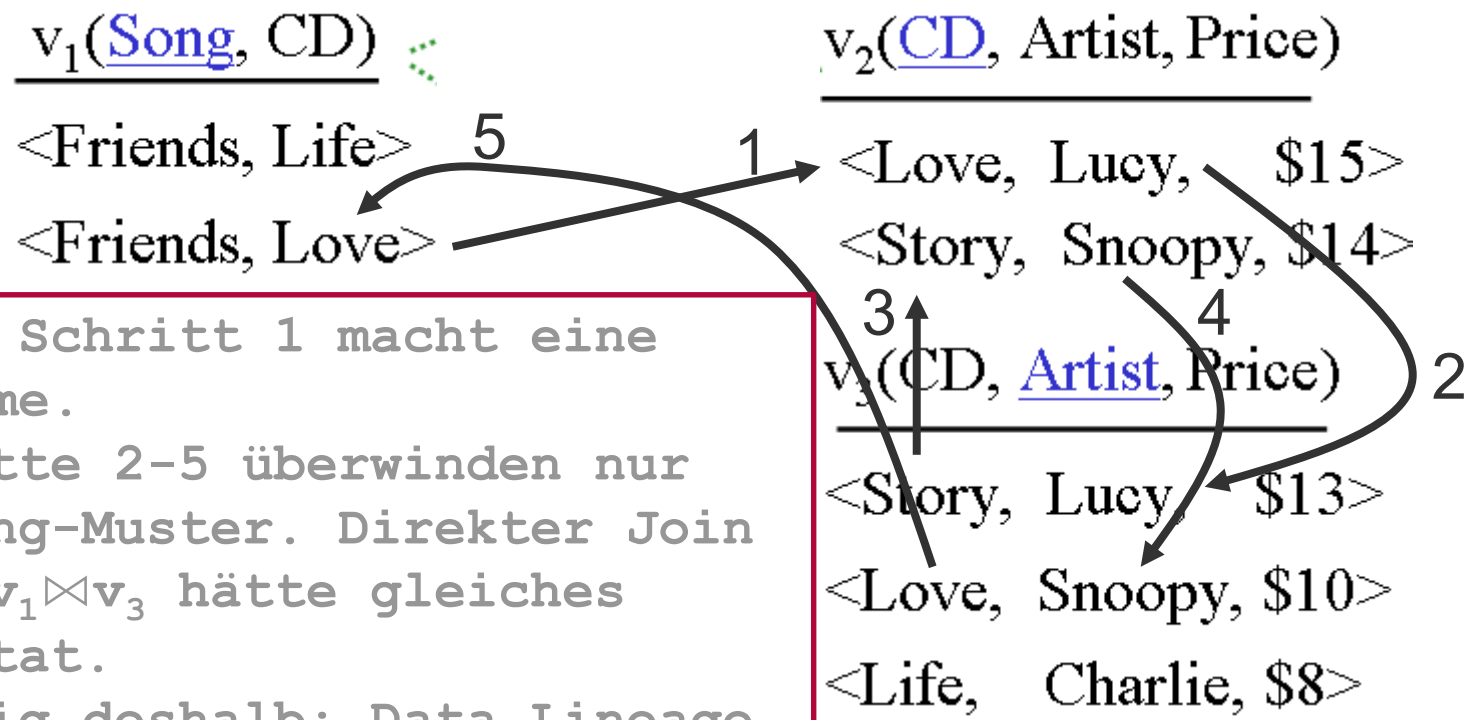
Gebundene & Freie Variablen – Beispiel: Semantik




```
Ziel:       Maximale Antwort
Annahme:    Universal relation
            mit globalen
            Attributen.
Semantik:   Relationale Algebra
```


Felix Naumann
Information Integration
Winter 2019/20

Gebundene & Freie Variablen – Beispiel: Semantik



Schon Schritt 1 macht eine Annahme.
Schritte 2-5 überwinden nur Binding-Muster. Direkter Join über $v_1 \bowtie v_3$ hätte gleiches Resultat.
Wichtig deshalb: Data Lineage und Visualisierung

Literatur

Wichtigste Literatur

- [BKLW99] Busse, Kutsche, Leser, Weber, Federated Information Systems: Concepts, Terminology and Architectures. Forschungsbericht 99-9 des FB Informatik der TU Berlin, 1999.
  Online: http://www.informatik.hu-berlin.de/~leser/publications/tr_terminology.ps
- [ÖV99] Principles of Distributed Database Systems
  M. Tamer Özsu, Patrick Valduriez, Prentice Hall, (1991/)1999.
  Kapitel 1 und 4
- [YLGU99] Ramana Yerneni, Chen Li, Hector Garcia-Molina, Jeffrey D. Ullman, „Computing Capabilities of Mediators", SIGMOD 1999

Weitere Literatur

- [Con97] Föderierte Datenbanksysteme. Konzepte der Datenintegration
  Stefan Conrad, Springer Verlag, 1997
- [LC00] Chen Li, Edward Chang „Query Planning with Limited Source Capabilities", ICDE 2000