
Non-Standard-Datenbanken und Data Mining

Semistrukturierte Datenbanken ([SQL:2003](#))
und Volltextindizierung

Prof. Dr. Ralf Möller

Universität zu Lübeck

Institut für Informationssysteme



Übersicht

- Semistrukturierte Datenbanken (am Beispiel von XML) und Volltextsuche
- Information Retrieval
- Mehrdimensionale Indexstrukturen
- Cluster-Bildung
- Einbettungstechniken
- First-n-, Top-k-, und Skyline-Anfragen
- Probabilistische Datenbanken, Anfragebeantwortung, Top-k-Anfragen und Open-World-Annahme
- Probabilistische Modellierung, Bayes-Netze, Anfragebeantwortungsalgorithmen, Lernverfahren,
- Temporale Datenbanken und das relationale Modell,
- Probabilistische Temporale Datenbanken
- SQL: neue Entwicklungen (z.B. JSON-Strukturen und Arrays), Zeitreihen (z.B. TimeScaleDB)
- Stromdatenbanken, Prinzipien der Fenster-orientierten inkrementellen Verarbeitung
- Approximationstechniken für Stromdatenverarbeitung, Stream-Mining
- Probabilistische raum-zeitliche Datenbanken und Stromdatenverarbeitungssysteme: Anfragen und Indexstrukturen, Raum-zeitliches Data Mining, Probabilistische Skylines
- Von NoSQL- zu NewSQL-Datenbanken, CAP- und CALM-Theorem, CRON-Hypothese
Blockchain-Datenbanken

Beispiel für ein Dokument

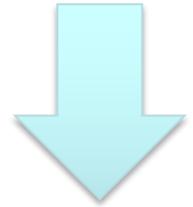
```
<bib>
  <book> <publisher> Addison-Wesley </publisher>
    <author> Serge Abiteboul </author>
    <author> <first-name> Rick </first-name>
      <last-name> Hull </last-name>
    </author>
    <author> Victor Vianu </author>
    <title> Foundations of Databases </title>
    <year> 1995 </year>
  </book>
  <book price="55">
    <publisher> Freeman </publisher>
    <author> Jeffrey D. Ullman </author>
    <title> Principles of Database and Knowledge Base Systems </title>
    <year> 1998 </year>
  </book>
</bib>
```

Semistrukturierte Datenbanken: Überblick



- **Datenspezifikationsprache XML**

- Gedacht zur Datenkommunikation und –integration
- Begriff des XML-“Dokuments“
- Strukturprüfung möglich (DTD, XML-Schema)
- Repräsentation von XML-Daten in SQL möglich?



- **Anfragesprache XPath**

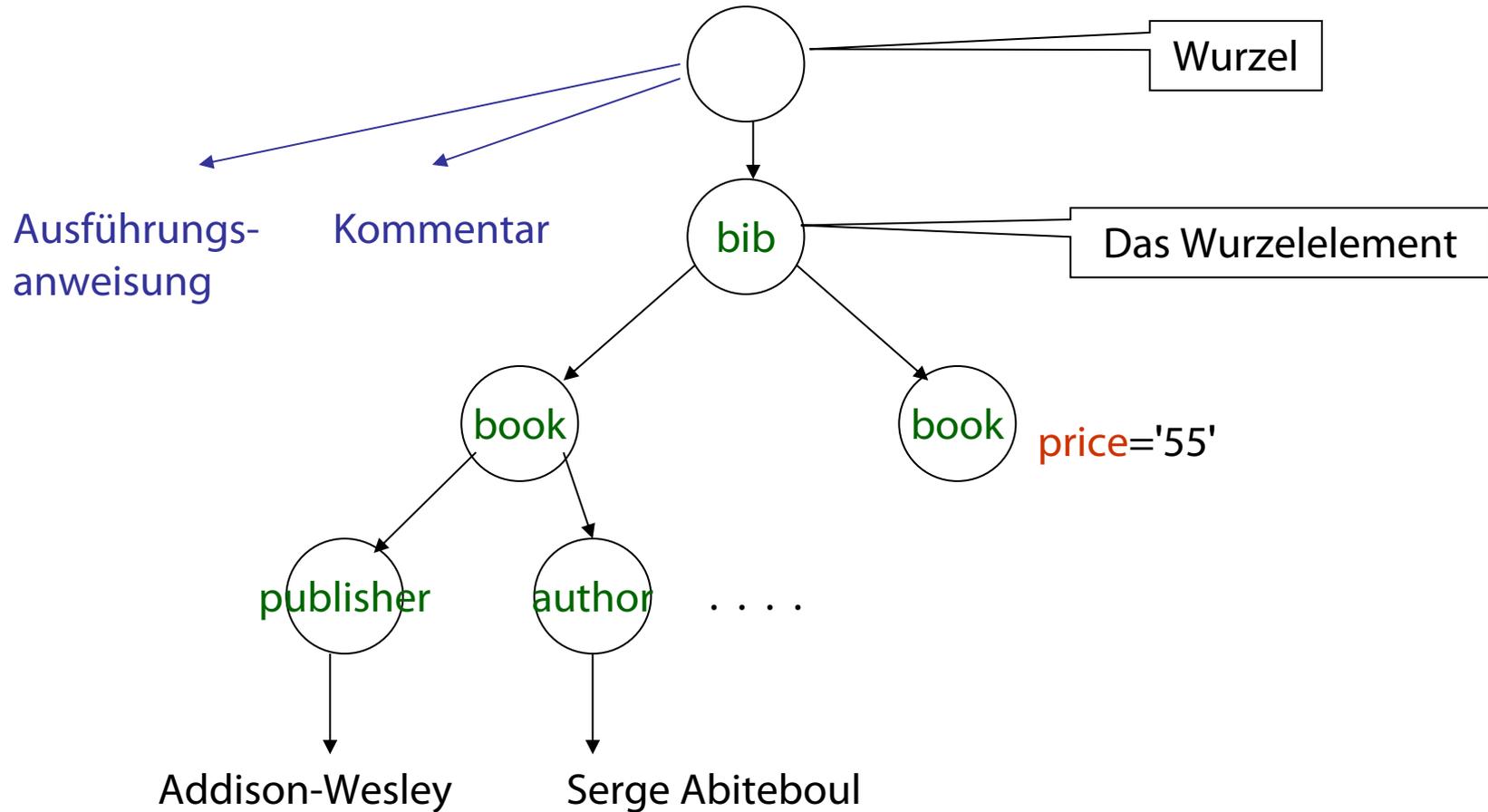
- W3C-Standard: <http://www.w3.org/TR/xpath> (11/99)
- Übersetzung nach SQL möglich?
- Einige Aspekte der optimierten Anfragebeantwortung



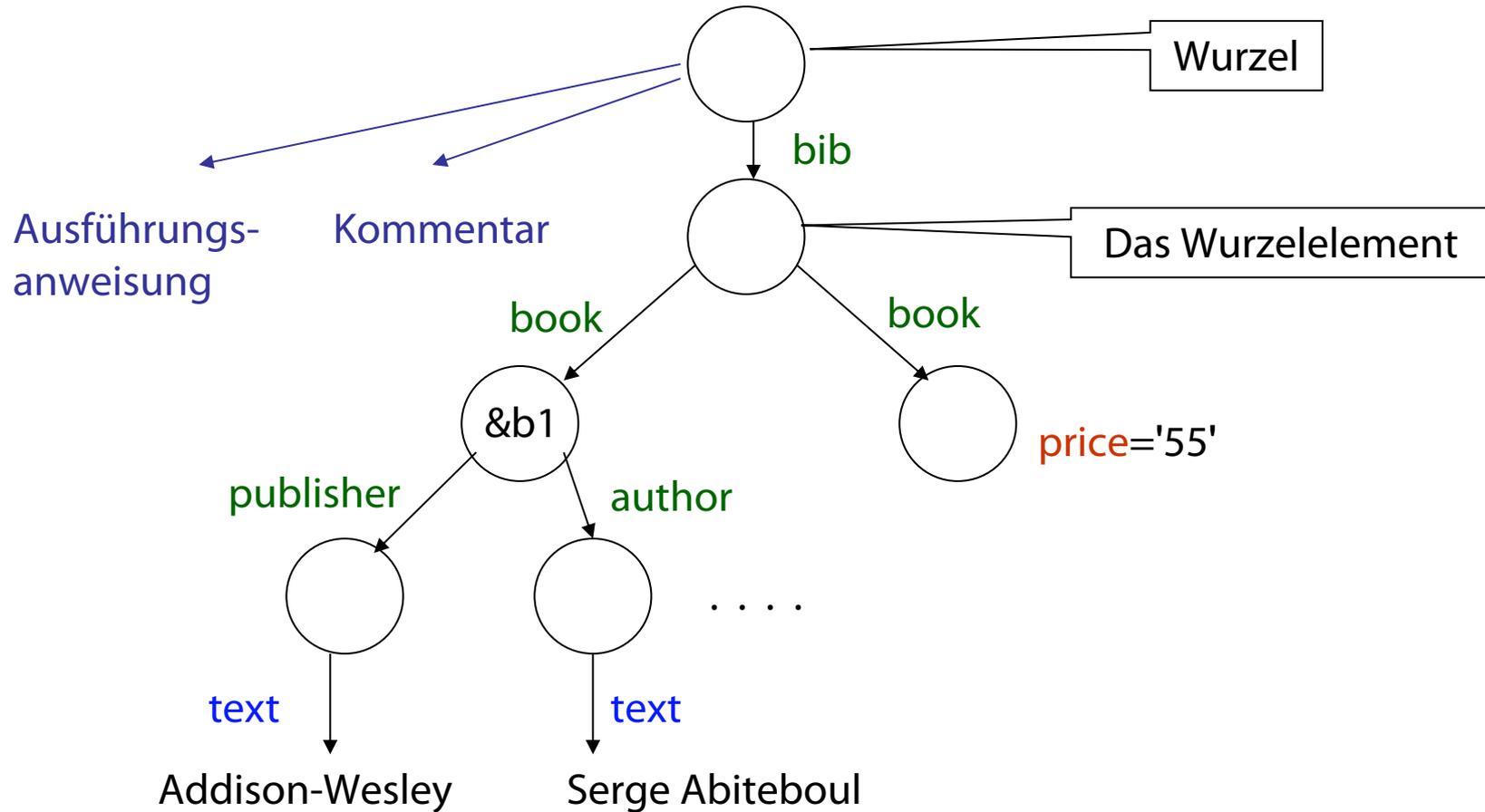
Acknowledgment: XPath-Präsentationen
basieren auf Darstellungen von Dan Suciu,
Univ. Washington

[http://www.cs.washington.edu/homes/suciu/
COURSES/590DS](http://www.cs.washington.edu/homes/suciu/COURSES/590DS)

Datenmodell für XPath



Datenmodell für XPath: Duale Sicht



Dokumenttypdefinitionen (DTDs)

- Beschreibung von akzeptierten Strukturen (optional)
- Kontextfreie Grammatik

```
<!ELEMENT paper (title, author*, year?)>  
<!ELEMENT author (firstName, lastName)>
```

- Siehe auch XML-Schema
(ausdrucksmächtiger als DTDs,
z.B. Minimal- und Maximalangaben von Nachfolgern)

XPath: Einfache Ausdrücke

/bib/book/year

Ergebnis: <year> 1995 </year>
<year> 1998 </year>

/bib/paper/year

Ergebnis: empty (keine Papiere in der bib)

XPath: Hülloperator //

//author

Ergebnis:<author> Serge Abiteboul </author>
 <author> <first-name> Rick </first-name>
 <last-name> Hull </last-name>
 </author>
 <author> Victor Vianu </author>
 <author> Jeffrey D. Ullman </author>

/bib//first-name

Ergebnis: <first-name> Rick </first-name>

XPath: Platzhalter

//author/*

Ergebnis: <first-name> Rick </first-name>
<last-name> Hull </last-name>

* passt auf jedes Element

XPath: Attributknoten

/bib/book/@price

Ergebnis: '55'

@price steht für eine Referenz auf den Attributwert

XPath: Qualifizierung

/bib/book/author[first-name]

Ergebnis: <author> <first-name> Rick </first-name>
 <last-name> Hull </last-name>
 </author>

XPath: Funktionen

`/bib/book/author/text()`

Ergebnis: Serge Abiteboul
Victor Vianu
Jeffrey D. Ullman

Rick Hull tritt nicht auf, da `firstname`, `lastname` vorhanden

`/bib/book/*[name() != author]`

Zugriff auf Namen eines Knotens mittels Funktion `name()`

XPath: Weitere Qualifizierungen

`/bib/book/author[firstname][address[//zip][city]]/lastname`

Ergebnis: `<lastname> ... </lastname>`
`<lastname> ... </lastname>`

XPath: Weitere Qualifizierungen

`/bib/book[@price < '60']`

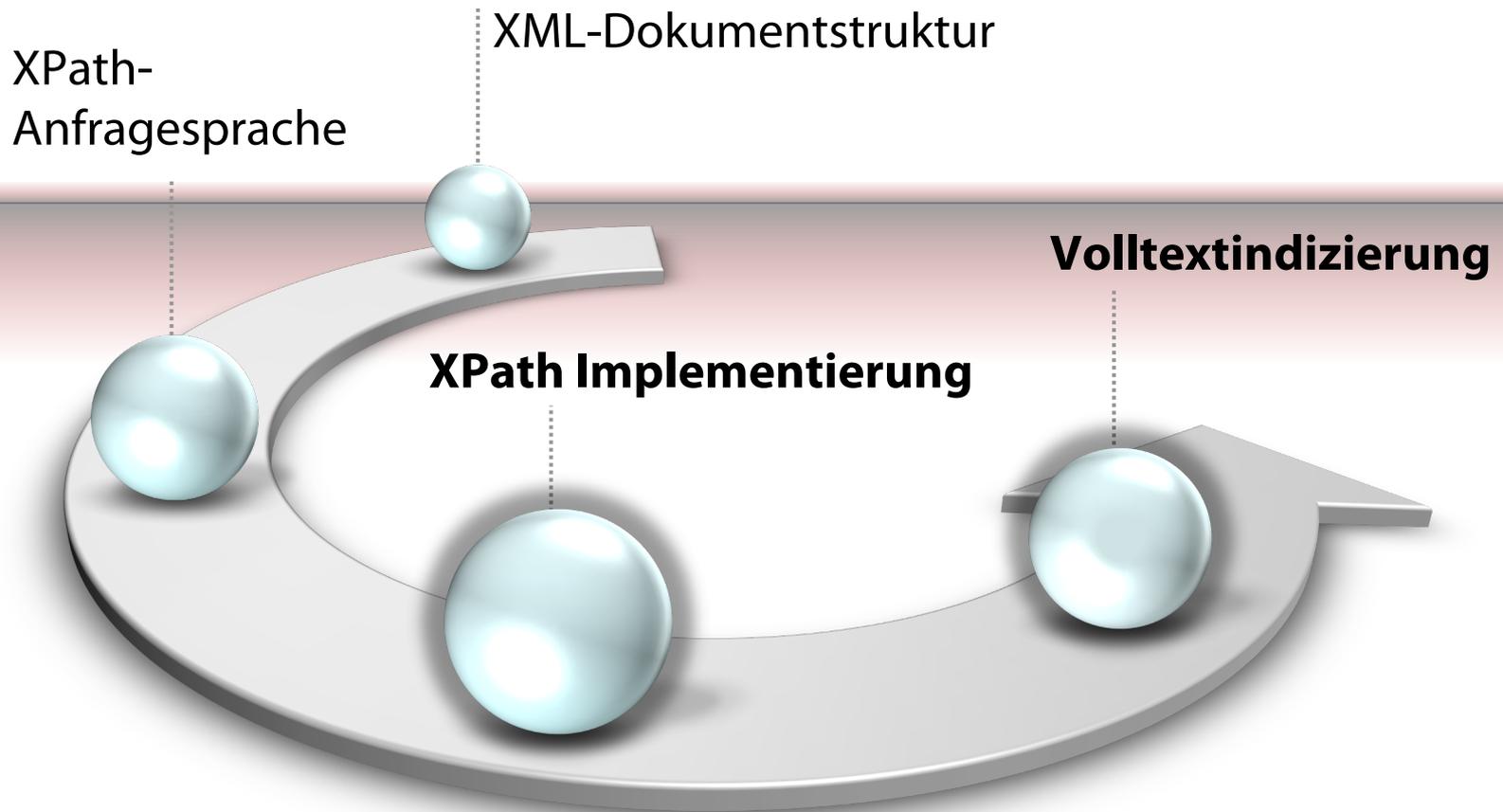
`/bib/book[author/@age < '25']`

`/bib/book[author/text()]`

XPath: Zusammenfassung

<code>bib</code>	passt auf ein <code>bib</code> Element
<code>*</code>	passt auf beliebiges Element
<code>/</code>	passt auf das <code>root</code> Element
<code>/bib</code>	passt auf <code>bib</code> Element unter <code>root</code>
<code>bib/paper</code>	passt auf <code>paper</code> in <code>bib</code>
<code>bib//paper</code>	passt auf <code>paper</code> in <code>bib</code> , in jeder Tiefe
<code>//paper</code>	passt auf <code>paper</code> in jeder Tiefe
<code>paper book</code>	passt auf <code>paper</code> oder <code>book</code>
<code>@price</code>	passt auf <code>price</code> Attribut
<code>bib/book/@price</code>	passt auf <code>price</code> Attribute in <code>book</code> , in <code>bib</code>
<code>bib/book/[@price<'55']/author/lastname</code>	passt auf ...

Semistrukturierte Datenbanken



Im nächsten Teil werden wir uns die letzten 2 Themen erarbeiten

Unser Beispieldokument noch einmal

```
<bib>
  <book> <publisher> Addison-Wesley </publisher>
    <author> Serge Abiteboul </author>
    <author> <first-name> Rick </first-name>
      <last-name> Hull </last-name>
    </author>
    <author> Victor Vianu </author>
    <title> Foundations of Databases </title>
    <year> 1995 </year>
  </book>
  <book price="55">
    <publisher> Freeman </publisher>
    <author> Jeffrey D. Ullman </author>
    <title> Principles of Database and Knowledge Base Systems </title>
    <year> 1998 </year>
  </book>
</bib>
```

Speicher- und Zugriffstechniken für XML

1. Verwendung bestehender Techniken

- Abbildung auf relationale Datenbanken
 - Verwendung des physischen Datenmodells
 - Verwendung der Zugriffsoperatoren und deren Optimierungstechniken
- Abbildung des XML-Datenmodells auf relationale Schemata notwendig

2. Entwicklung neuer Techniken

- Neues physisches Datenmodell

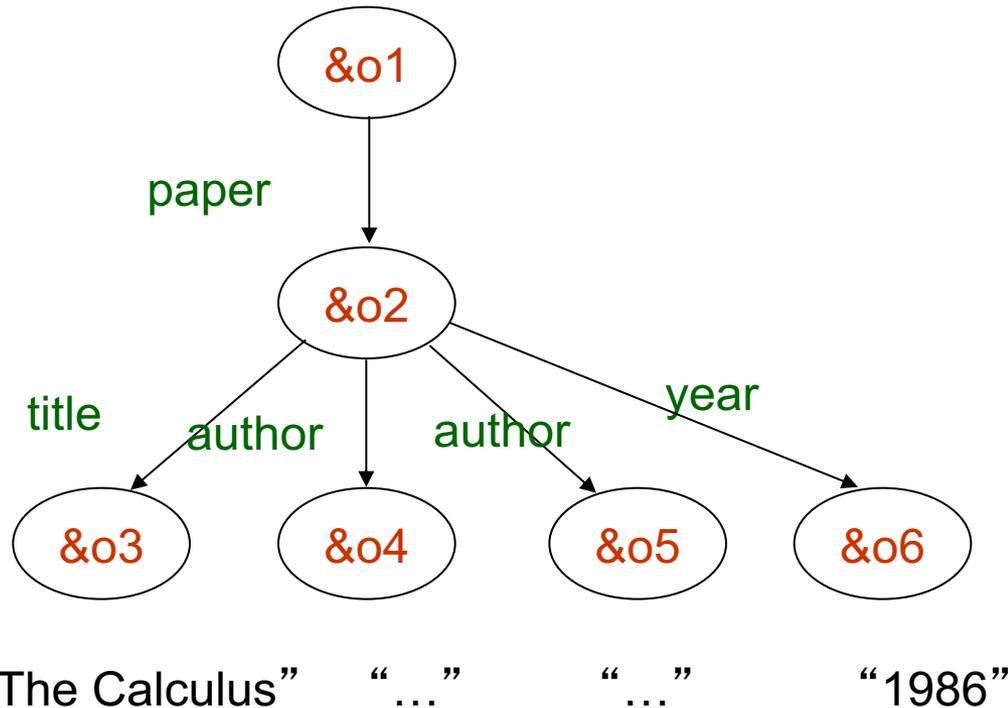
XML-Daten in Relationalen Datenbanken

- Verwendung eines generischen Schemas
D. Florescu, D. Kossmann, *Storing and Querying XML Data using an RDBMS*,
Bulletin of the Technical Committee on Data Engineering, 22(3):27-34, September **1999**.
- Verwendung von DTDs zur Herleitung eines Schemas
J. Shanmugasundaram, K. Tuftte, C. Zhang, H. Gang, DJ. DeWitt, and JF. Naughton
Relational databases for querying xml documents: Limitations and opportunities.
Proceedings of the 25th International Conference on Very Large Data Bases, **1999**.
- Herleitung eines Schemas aus gegebenen Daten
A. Deutsch, M. Fernandez, D. Suciu, *Storing semistructured data with STORED*,
ACM SIGMOD Record 28 (2), 431-442, **1999**.
- Verwendung einer sog. Pfad-Relation
M. Yoshikawa, T. Amagasa, S. Takeyuki, S. Uemura,
XRel: A Path-Based Approach to Storage and Retrieval of XML Documents
using Relational Databases, *ACM TOIT Volume 1* (1), 110-141, **2001**.

Generisches Schema: Ternäre Relation

Ref(Source, Label, Dest)

Val(Node, Value)



Ref

Source	Label	Dest
& o 1	paper	& o 2
& o 2	title	& o 3
& o 2	author	& o 4
& o 2	author	& o 5
& o 2	year	& o 6

Val

Node	Value
& o 3	The Calculus
& o 4	...
& o 5	...
& o 6	1986

XML in ternären Relationen: Aufgabe

- Schema für SQL:

Ref(Source, Label, Dest)

Val(Node, Value)

- XPath:

`/paper[year='1986']/author`

- SQL:

Generisches Schema: Ternäre Relation?

- In der Praxis werden mehrere Tabellen benötigt:
 - Sonst Tabellen zu groß
 - Sonst Datentypen nicht unterstützt

RefTag1(Source, Dest)

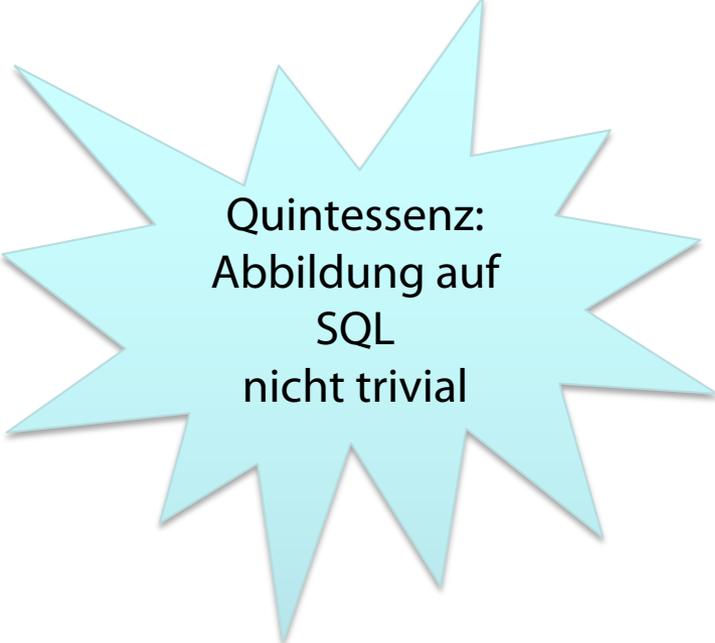
RefTag2(Source, Dest)

...

IntVal(Node, IntVal)

RealVal(Node, RealVal)

...



Quintessenz:
Abbildung auf
SQL
nicht trivial

DTDs zur Herleitung eines Schemas

- DTD (Kontextfreie Grammatik)

```
<!ELEMENT paper (title, author*, year?)>  
<!ELEMENT author (firstName, lastName)>
```

- Relationales Schema:

```
Paper( PID, Title, Year )  
PaperAuthor( PID, AID)  
Author( AID, FirstName, LastName )
```

[Shanmugasundaram et al. 1999 siehe oben]

Siehe auch: V. Christophides, S. Abiteboul, S. Cluet, M. Scholl,
From structured documents to novel query facilities,
ACM SIGMOD Record 23 (2), 313-324, 1994

Aus DTD hergeleitetes Schema: Aufgabe

- Schema für SQL:

Paper(PID, Title, Year)

PaperAuthor(PID, AID)

Author(AID, FirstName, LastName)

- XPath:

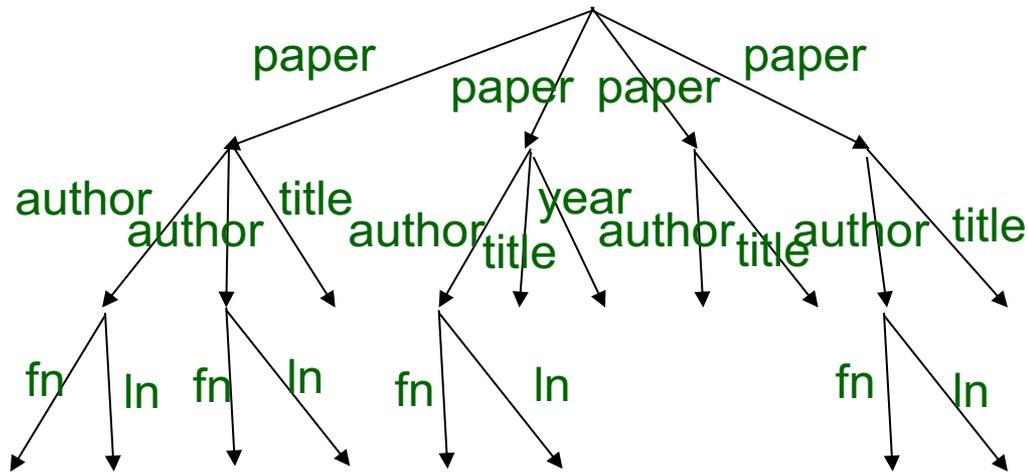
`/paper[year='1986']/author`

- SQL:

Aus Daten hergeleitetes Schema

- (Große) XML Dokumente
- Kein Schema bzw. DTD
- Problem: Finde ein “gutes” relationales Schema
- NB: Selbst wenn DTD gegeben ist, kann die Ausdrucksstärke zu gering sein:
 - Z.B. wenn eine Person 1-3 Telefonnummer hat, steht trotzdem:
`phone*`

Aus Daten hergeleitetes Schema



Paper1

auth	fn1	ln1	fn2	ln2	title	year
or						
X	X	X	X	X	X	-
X	X	X	-	-	X	X
X	X	X	-	-	X	-

Paper2

author	title
X	X

Aus Daten hergeleitetes Schema: Aufgabe

- Schema für SQL:

```
Paper1(author, fn1, ln1, fn2, ln2, title, year )  
Paper2( author, title )
```

- XPath:

```
/paper[year='1986']/author
```

- SQL:

Aus DTD hergeleitetes Schema: Aufgabe

- Schema für SQL:

Paper(PID, Title, Year)

PaperAuthor(PID, AID)

Author(AID, FirstName, LastName)

- XPath:

`/paper[year='1986']/author`

- SQL:

Wie setzen wir // um?

Pfad-Relations-Methode

- Speicherung von Pfaden als Zeichenketten
- Xpath-Ausdrücke werden durch SQL **like** umgesetzt (vgl. auch **contains**)
- Das Prozentzeichen '%' steht für eine beliebige Zeichenkette mit 0 oder mehr Zeichen

```
SELECT * FROM Versicherungsnehmer  
WHERE Ort LIKE '%alt%';
```

- Der Unterstrich '_' steht für ein beliebiges einzelnes Zeichen, das an der betreffenden Stelle vorkommen soll.

Pfad-Relations-Methode

Path

pathID	Pathexpr
1	/bib
2	/bib/paper
3	/bib/paper/author
4	/bib/paper/title
5	/bib/paper/year
6	/bib/book/author
7	/bib/book/title
8	/bib/book/publisher

Ein Eintrag für jeden vorkommenden Pfad

Annahme: Nicht zu viele verschiedene Pfadbezeichner notwendig

Pfad-Relations-Methode

Element

NodeID	pathID	ParentID
1	1	-
2	2	1
3	3	2
4	3	2
5	3	2
6	3	2
7	4	2
8	2	1
...		

Eine Eintrag für jeden Knoten in der Datenbasis
Recht große Tabelle (Baum der Höhe h hat max. 2^h Blätter)

Pfad-Relations-Methode

Val
text()

NodeID	Val
3	Smith
4	Vance
5	Tim
6	Wallace
7	The Best Cooking Book Ever
6	3
7	4
8	2
...	

Ein Eintrag für jedes Blatt in der Datenbasis
und jedes Attribut
Recht große Tabelle

Pfad-Relations-Methode: Aufgabe

- Schema wie oben vereinbart

- XPath: `/bib/paper[year='1986']//figure`

- SQL:

Anwendungs-spezifische Abbildungen

```
<customerinfo Cid="1003">
  <name>Robert Shoemaker</name>
  <addr country="Canada">
    <street>845 Kean Street</street>
    <city>Aurora</city>
    <prov-state>Ontario</prov-state>
    <pcode-zip>N8X 7F8</pcode-zip>
  </addr>
  <phone type="work">905-555-7258</phone>
  <phone type="home">416-555-2937</phone>
  <phone type="cell">905-555-8743</phone>
</customerinfo>
```

CID	NAME	STREET	CITY
1003	Robert Shoemaker	845 Kean Street	Aurora

```
CREATE TABLE address(
  cid INTEGER,
  name VARCHAR(30),
  street VARCHAR(40),
  city VARCHAR(30))
```

CID	PHONETYPE	PHONENUM
1003	work	905-555-7258
1003	home	416-555-2937
1003	cell	905-555-8743

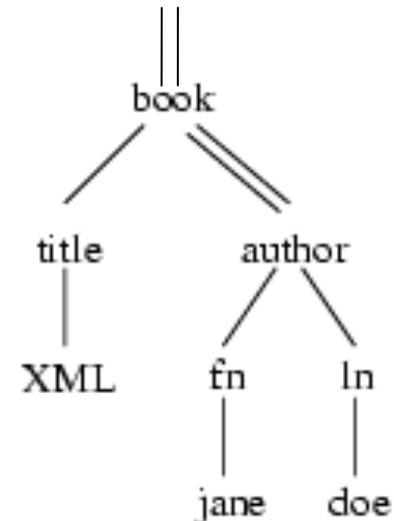
```
CREATE TABLE phones(
  cid INTEGER,
  phonetype VARCHAR(10),
  phonenum VARCHAR(20))
```

Nomalform
eingehalten

XPath vs. XQuery

- **13 Navigationsmöglichkeiten** in XPath:
nicht nur Nachfolger
- XQuery: Nicht nur Pfad-,
sondern **Zweig-basierte Anfragen**:

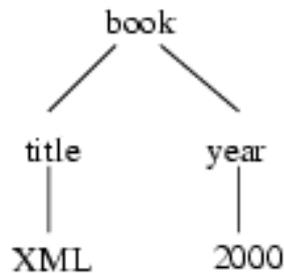
Finde das Publikationsjahr
aller Bücher
über "XML" geschrieben
von "Jane Doe".



Frühere Ansätze

- Basierend auf **binären Joins** [Zhang 01, Al-Khalifa 02].
- Umfassende SQL-Optimierung nötig
 - Zwischenresultate können groß sein
 - SQL-Maschinen überfordert

Join mit
Values-
Tabelle

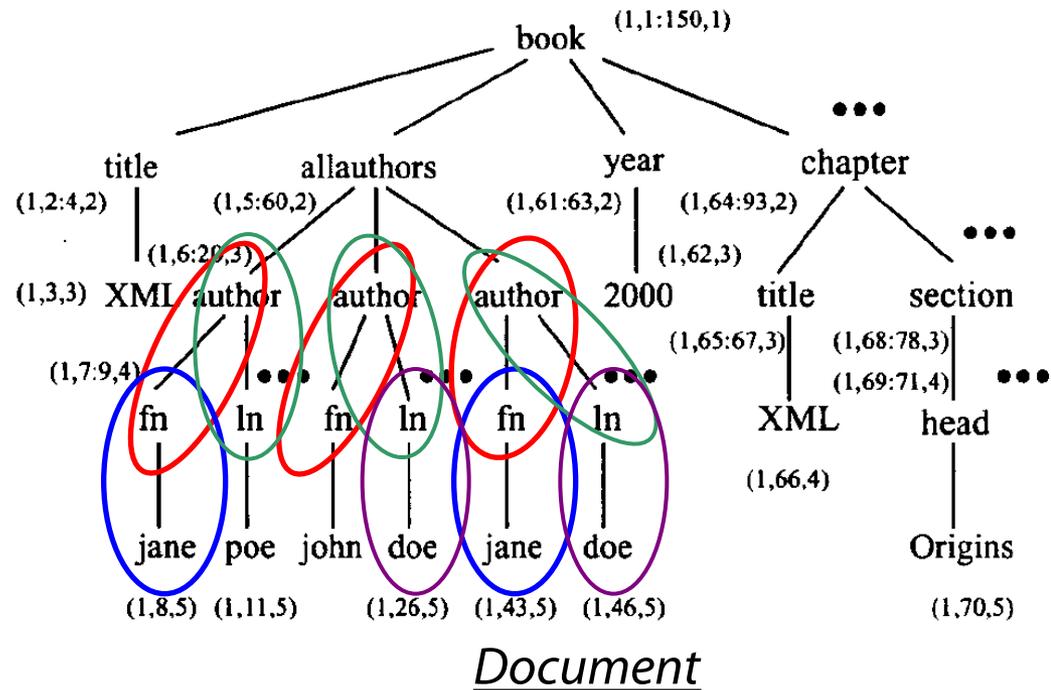
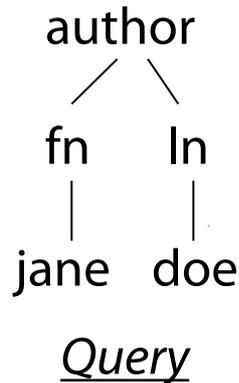


- ((book ⋈ title) ⋈ XML) ⋈ (year ⋈ 2000)
 - (((book ⋈ year) ⋈ 2000) ⋈ title) ⋈ XML
- Viele andere Möglichkeiten...

[Zhang 01] C. Zhang, J. Naughton, D. DeWitt, Q. Luo, G. Lohman, On Supporting Containment Queries in Relational Database Management Systems, In SIGMOD 2001, pp. 425-436, **2001**

[Al-Khalifa 02] Shurug Al-khalifa, Jignesh M. Patel, H. V. Jagadish, Divesh Srivastava, Nick Koudas & Yuqing Wu. Structural joins: A Primitive for Efficient XML Query Pattern Matching. In Proc. ICDE, pages 141–152, **2002**

Binäre strukturelle Joins



Decomposition

author-fn → **3**

author-ln → **3**

fn-jane → **2**

ln-doe → **2**

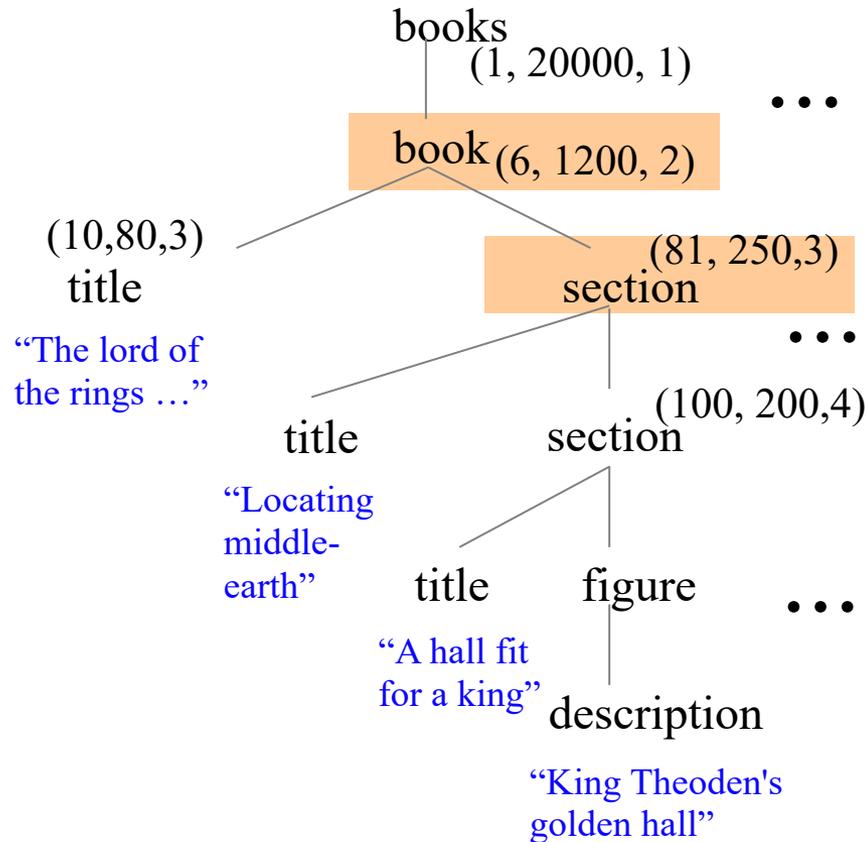
BLAS: An Efficient XPath Processing System

- **Bi-LA**beling based XPath processing **S**ystem
 - **D**-Beschriftung
 - **<Start, End, Ebene>** (minimale Angaben)
 - Aufbau eines B-Baums zur Unterstützung von Vorgänger/Nachfolger-Anfragen
 - **P**-Beschriftung
 - basiert auf XPRESS → eine XML Datenkompressionstechnik, die eine arithmetische Kodierung für Pfadbezeichner verwendet
 - Anfragebeantwortung über komprimierten Dokumenten unter Verwendung der D- und P-Beschriftungen

J.-K. Min, M.-J. Park, and C.-W. Chung. XPRESS: A queryable compression for XML data. In Proceedings of SIGMOD, **2003**.

BLAS: An efficient XPath processing system, Y. Chen, S.B. Davidson, Y. Zheng, In Proceedings SIGMOD '04 Proceedings of the 2004 ACM SIGMOD International Conference on Management of data, 47-58, **2004**

D-Beschriftung: Dynamische Intervallkodierung



- Beschriftung $\langle \text{Start, Ende, Ebene} \rangle$ kann verwendet werden, um Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen in einem Baum zu entdecken

D. DeHaan, D. Toman, M. Consens, and M.T. Ozsu. A comprehensive XQuery to SQL translation using dynamic interval encoding. In Proceedings of SIGMOD, **2001**

J. Celko. Trees, Databases and SQL. DBMS, 7(10):48–57, **1994**

D-Beschriftungen

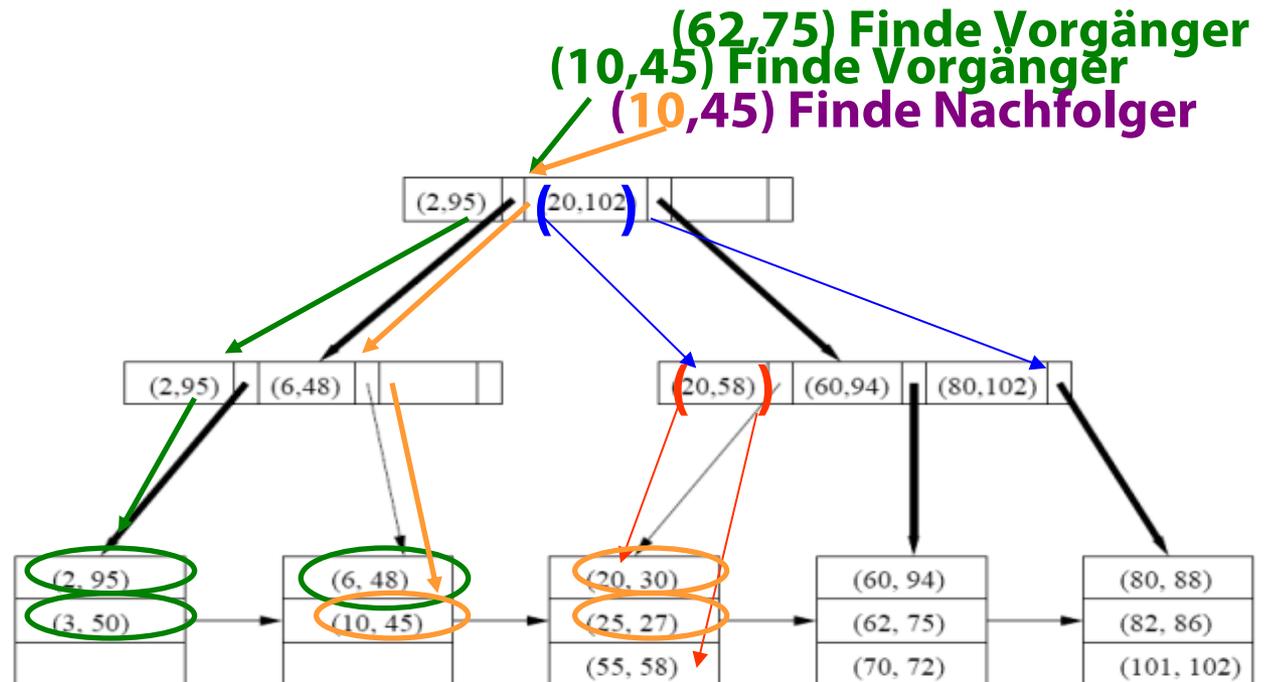
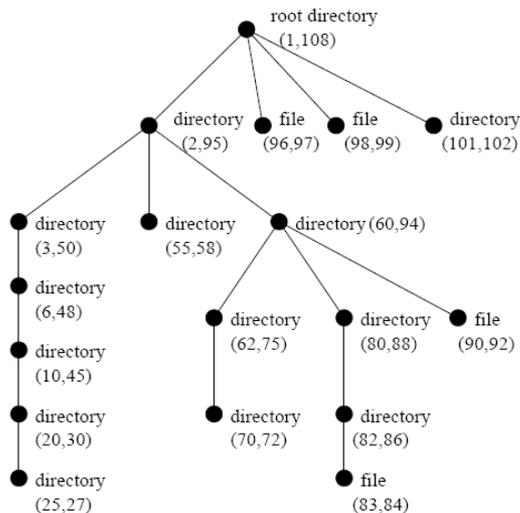
- Intervalle zur Nachfolgeranzeige: $\langle \text{Start, Ende, Ebene} \rangle$
- Tripel $\langle d_1, d_2, d_3 \rangle$ wird für jeden XML-Knoten n vergeben ($n.d_1 \leq n.d_2$)
 - m ist Nachfolger von n gdw. $n.d_1 < m.d_1$ und $m.d_2 < n.d_2$
 - m ist Kind von n gdw.
 m ist Nachfolger von n und $n.d_3 + 1 = m.d_3$

- Verwendung mit Tag-basierter SQL-Tabellen-repräsentation

author	→	(1,1:150,1) (1,180:200,1) ...
book	→	(1,6:20,3) (1,22:40,3) ...
jane	→	(1,8:8,5) (1,43:43,5) ...
...		...
title	→	(1,65:67,3) ...
XML	→	(1,66:66,4) (2,140:140,6) ...
year	→	(1,61:63,2) (1,88:90,2) ...

XB-Tree: Nachfolger und Vorgängernavigation

- Verwendung von Indexen zur Effizienzsteigerung
- XB-Bäume sind wie B-Bäume
 - Interne Knoten haben die Form [L:R], sortiert nach L
 - Eltern-Intervall enthält Kinder-Intervalle



Zugriff über B-Baum: Clustered Index

- Blattknoten sind normalerweise nicht in sequentieller Reihenfolge auf der Festplatte gespeichert
- Dieses muss explizit angefordert werden (→ clustered index)

Ning Zhang, Varun Kacholia & M. Tamer Özsu. A Succinct Physical Storage Scheme for Efficient Evaluation of Path Queries in XML. In Proc. ICDE, pages 54–63, **2004**

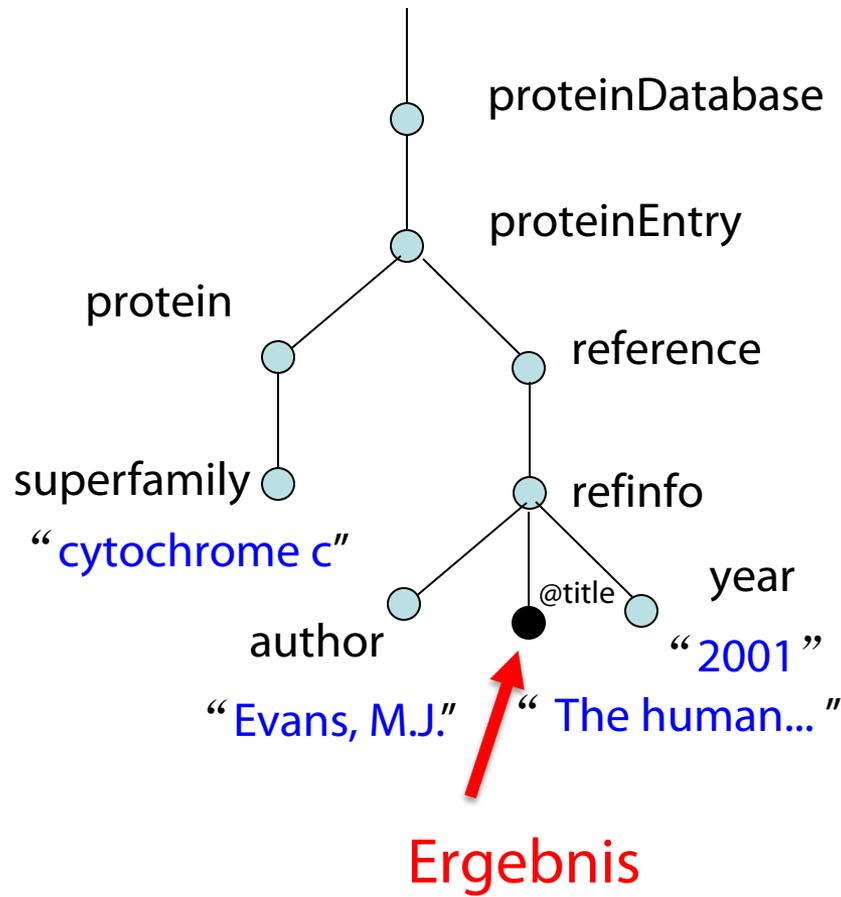
R. Bayer and E. M. McCreight, Organization and Maintenance of Large Ordered Indexes, Acta Informatica, vol. 1, no. 3, **1972**

Ein Beispieldokument

```
<proteinDatabase>
  <proteinEntry>
    <protein>
      <Name> cytochrome c</name>
      <classification>
        <superfamily>cytochrome c</superfamily>
      </classification>...
    </protein>
    <reference>
      <refinfo title="The human somatic cytochrome c gene">
        <authors>
          <author>Evans, M.J.</author>...
        </authors>
        <year>2001</year>
      </refinfo>
      ...
    </reference>
    ...
  </proteinEntry>
  ...
</proteinDatabase>
```

Beispieldokument

XML-Dokument



Anfrage: `//proteinDatabase//refinfo/@title`

Suche alle Knoten
proteinDatabase und refinfo

Seien proteinDatabase und refinfo zwei
Relationen, die die jeweiligen Knoten
repräsentieren, dann D-join ausführen

```
select refinfo.title
```

```
from proteinDatabase pDB, refinfo
```

```
where pDB.start < refinfo.start and  
refinfo.end < pDB.end
```

P-Beschriftungen

- Kind-Navigation sollte ebenfalls effizient implementiert werden
 - Beispiel
`/proteinDatabase/proteinEntry/protein/name`
- Bisher: **Extrem viele Joins bei naiver SQL-Codierung**
- Aufgabe: Verbesserung der “/”-Auswertung für Pfade
- Fokus auf **Suffix-Pfadanfragen**:
 - Beispiel: `//protein/name`

Definitionen / Notation

- Die Auswertung eines Pfadausdrucks P (geschrieben $[P]$) gibt eine Sequenz (Menge) von Knoten in einem XML-Baum T zurück, die über P von der Wurzel des Baums T erreichbar sind.
- Pfadausdruck, Pfad und Anfrage werden synonym verwendet
- $P \sqsubseteq Q$ gdw. $[P] \subseteq [Q]$ (Enthaltensein, Containment)
 - Beispiel: $[//protein/name] \sqsubseteq [//name]$

Definitionen (Forts.)

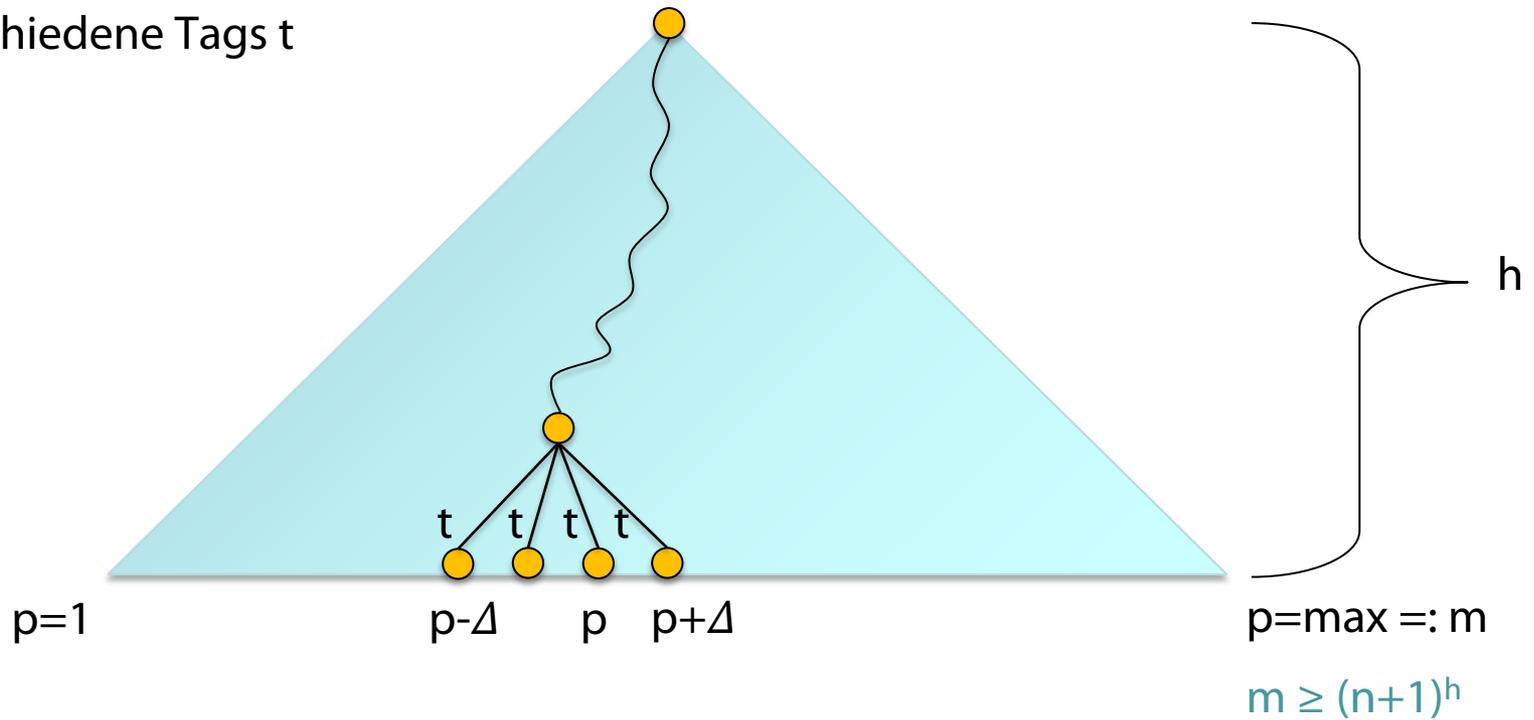
- **Suffix-Pfadausdruck**: Ein Pfadausdruck P mit einer Folge von Kind-Schritten $/$, ggf. mit einem Nachfolger-Schritt $//$ am Anfang
- Beispiele:
 - `//protein/name`
 - `/proteinDatabase/proteinEntry/protein/name`
- $SP(n)$: der eindeutige einfache Pfad P von der Wurzel bis zum Knoten n im XML Baum (SP = source path)
- Die Auswertung eines Suffix-Pfadausdrucks Q ist die Bestimmung aller Knoten n , so dass $n \in [Q]$

P-Beschriftungen

- Weise jedem Knoten n eine Zahl p zu und jedem Suffix-Pfad ein Intervall $[p_1, p_2]$, so dass für Suffix-Pfade Q_1 und Q_2 gilt:
 - $Q_1 \subseteq Q_2$ (Q_1 in Q_2 enthalten)
falls $Q_2.p_1 \leq Q_1.p_1$ und $Q_1.p_2 \leq Q_2.p_2$
- Ein Knoten n ist in einem Suffix-Pfad Q enthalten falls $Q.p_1 \leq n.p \leq Q.p_2$
- Sei Q ein Suffix-Pfad, dann gilt $[Q] = \{n \mid Q.p_1 \leq n.p \leq Q.p_2\}$ wobei $n.p = SP(n).p_1$

P-Beschriftungen

n verschiedene Tags t



P-Beschriftung Beispiel

- Annahme: Längster Pfad: $h=6$
- Sei die Maxanzahl n der Auszeichner (Tags) auf 99 festgelegt
- Wähle maximalen p-Wert $m = 100^6 = 10^{12}$
(wir wollen, dass $m \geq (n+1)^h$)
- Jedem Auszeichner (Tag) wird ein Bereich r zugewiesen:
 $r_i = 0.01 = 1/(99+1)$
- P-Beschriftung für jeden Suffix-Pfad bestimmen
- Beispiel $P = /ProteinDatabase/ProteinEntry/protein/name$

Ordnung der Tags für Partitionierung wie in P)

Path expression	P-label
//name	$\langle 4 \times 10^{10}, 5 \times 10^{10} - 1 \rangle$
//protein/name	$\langle 4.03 \times 10^{10}, 4.04 \times 10^{10} - 1 \rangle$
//ProteinEntry/protein/name	$\langle 4.0302 \times 10^{10}, 4.0303 \times 10^{10} - 1 \rangle$
//ProteinDatabase/ProteinEntry/protein/name	$\langle 4.030201 \times 10^{10}, 4.030202 \times 10^{10} - 1 \rangle$
/ProteinDatabase/ProteinEntry/protein/name	$\langle 4.030201 \times 10^{10}, 4.03020101 \times 10^{10} - 1 \rangle$

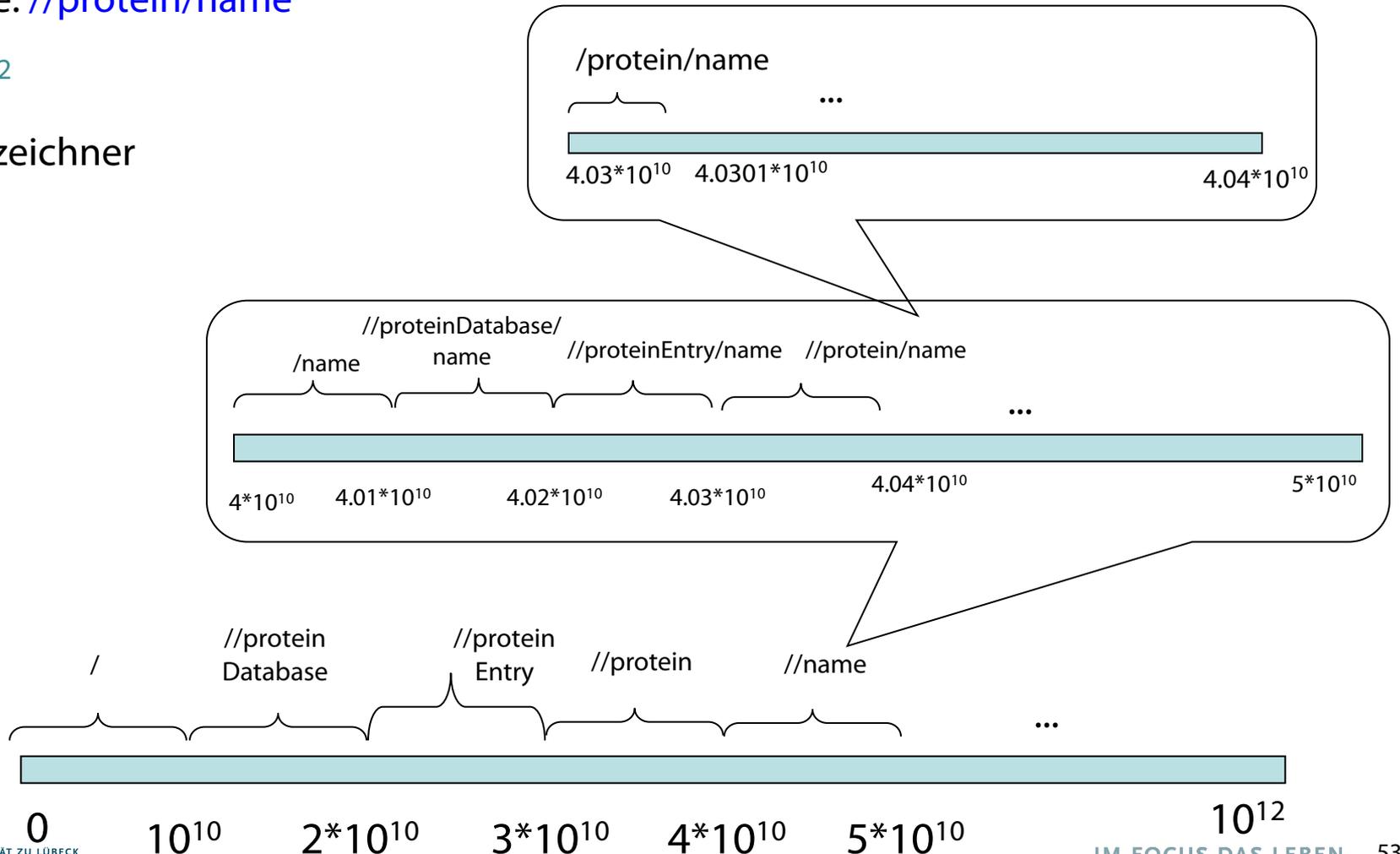
P-Beschriftungen (Beispiel)

Anfrage: `//protein/name`

$m=10^{12}$

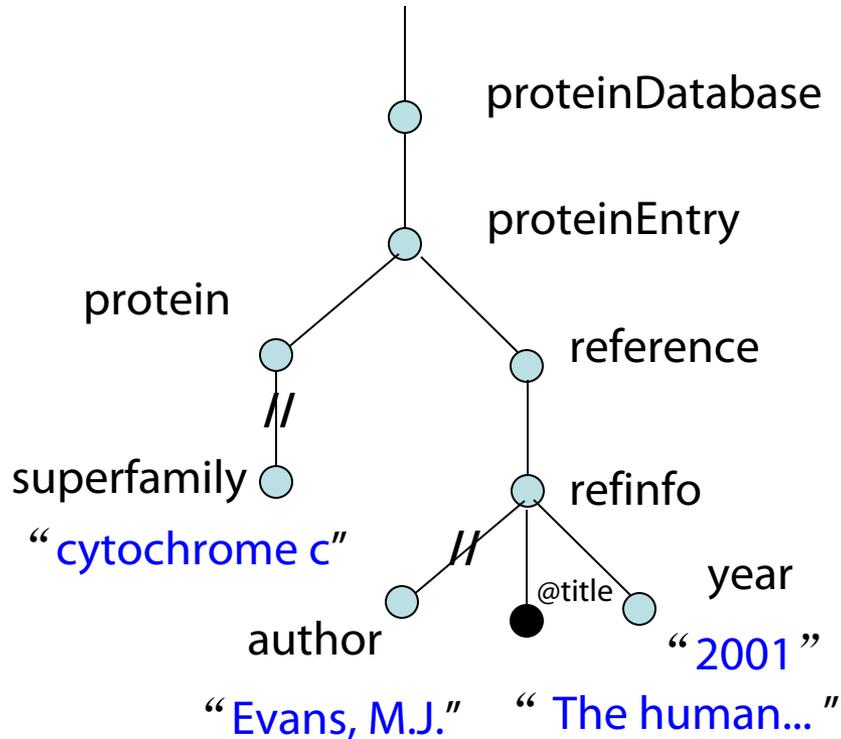
99 Auszeichner

$r_i = 0.01$



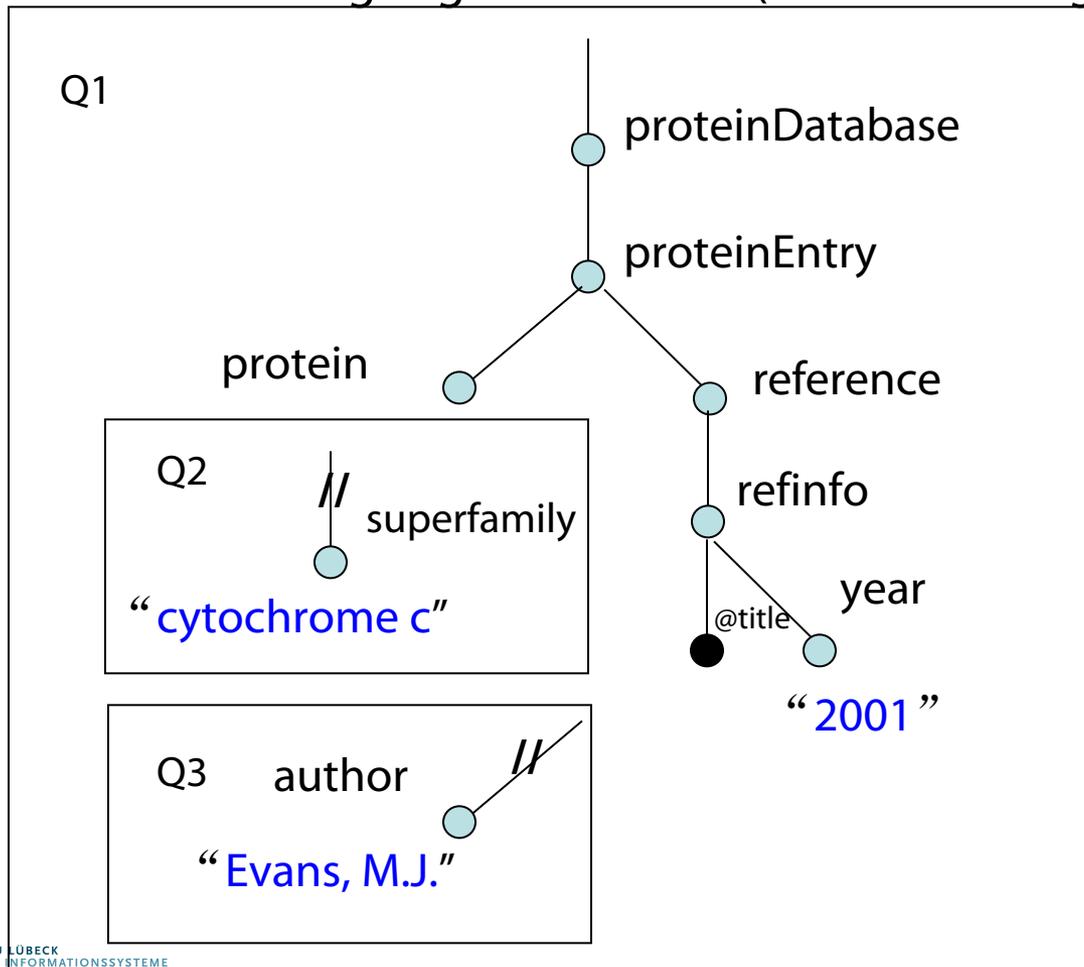
Zweiganfragen (TWIG-Patterns)

Beispielanfrage (ähnlich zu vorigen Daten, beachte aber //)



Ein Beispiel

- Aufspaltung (D-Eliminierung):
 - Rekursiver Selbstaufwurf; Unterprozedur Verzweigungselimination (B-Eliminierung)



$p//q \rightarrow p \text{ and } //q$

Tiefensuche

Spalte $p//q$ in $p \text{ and } //q$

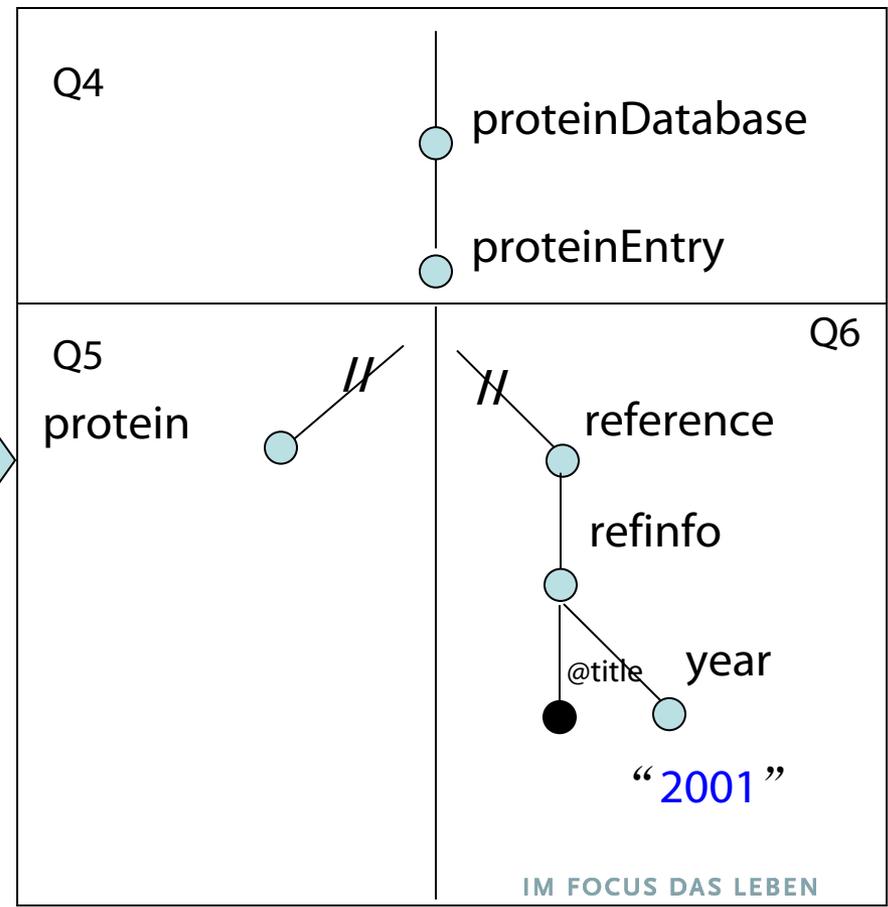
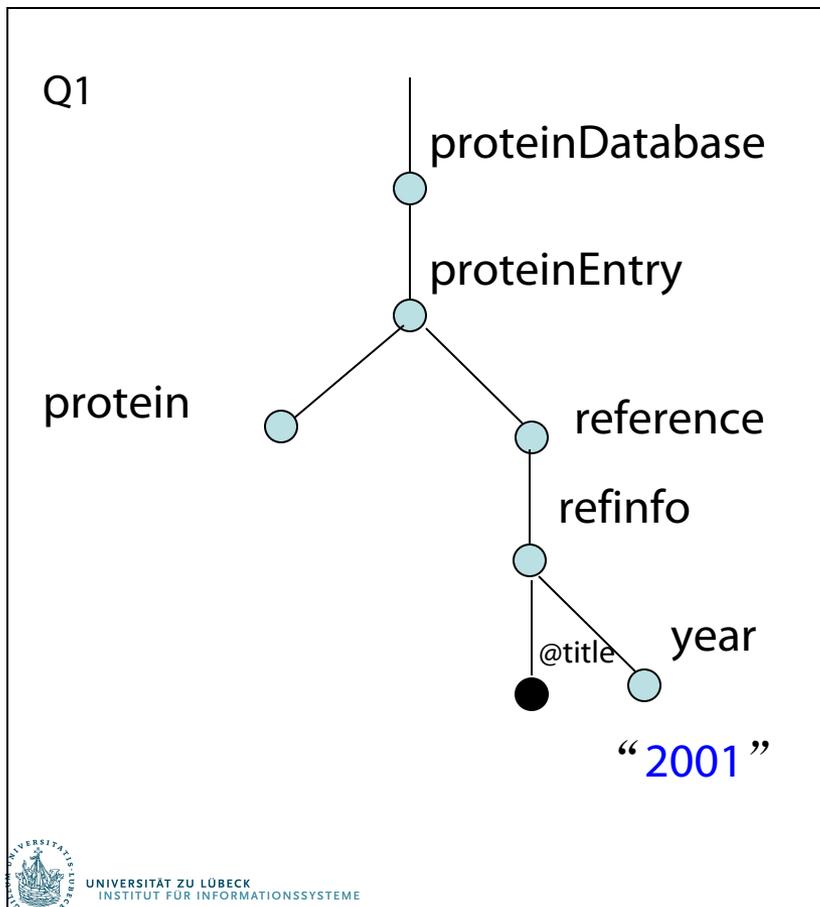
Eliminiere Verzweigung falls vorhanden, sonst evaluiere Q mit P-Beschriftungen

Join für Zwischenergebnisse unter Verwendung der D-Beschriftungen

Ein Beispiel

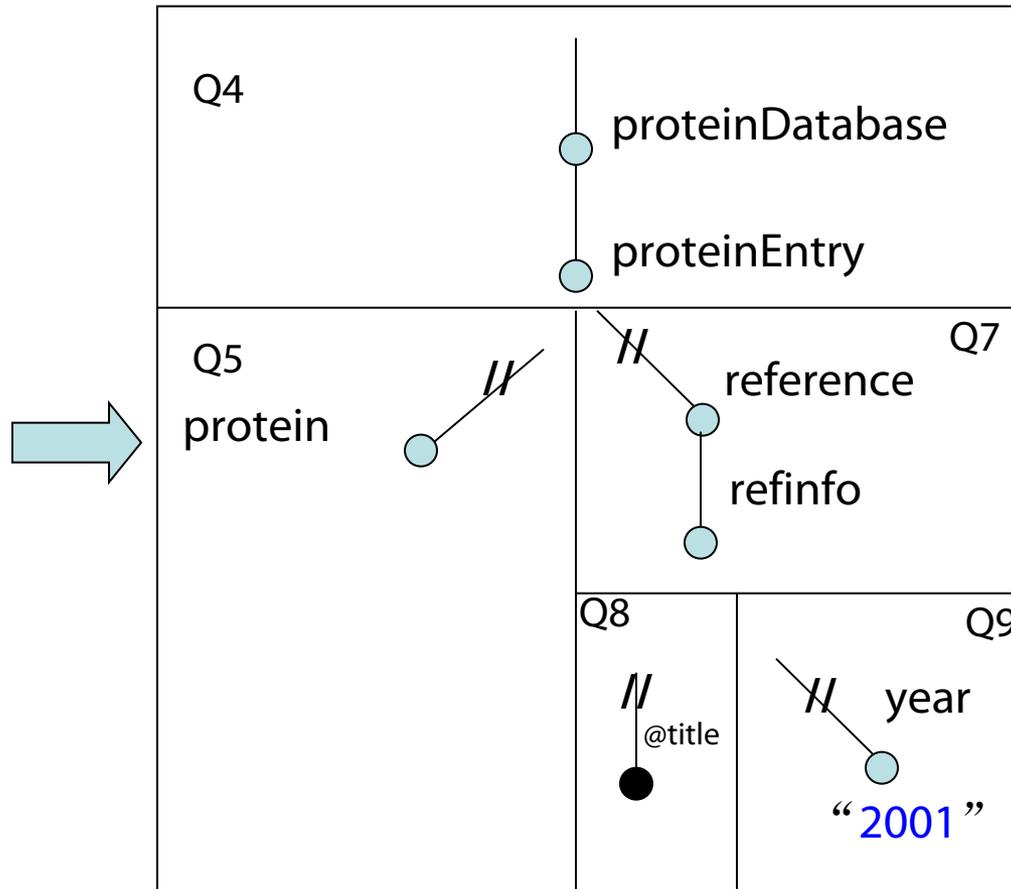
- Verzweigungselimination (B-Eliminierung)

$$p[q_1, q_2, \dots, q_i] / r \rightarrow p, //q_1, //q_2, \dots, //q_i, //r$$

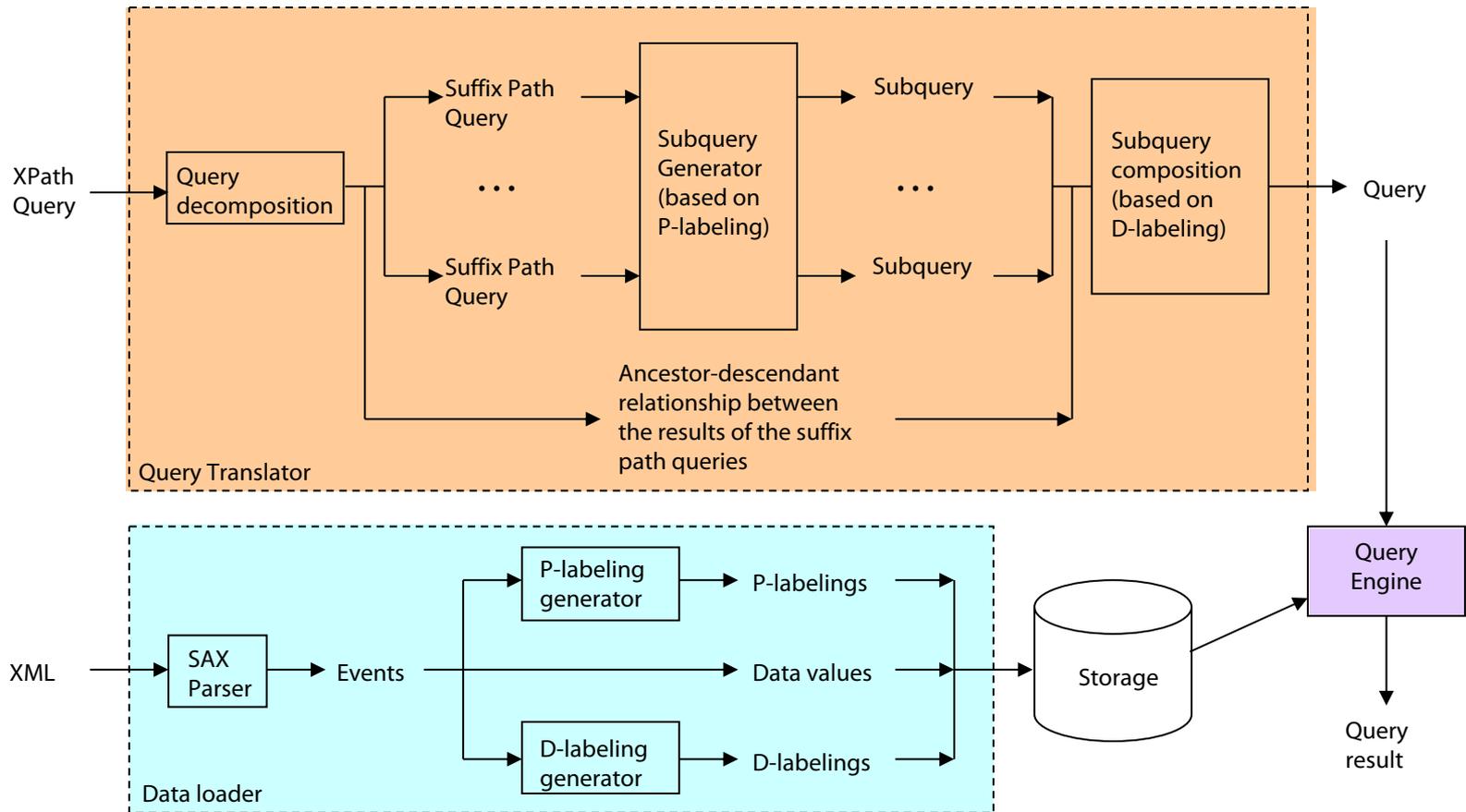


Ein Beispiel

Verzweigungselimination



BLAS Architektur



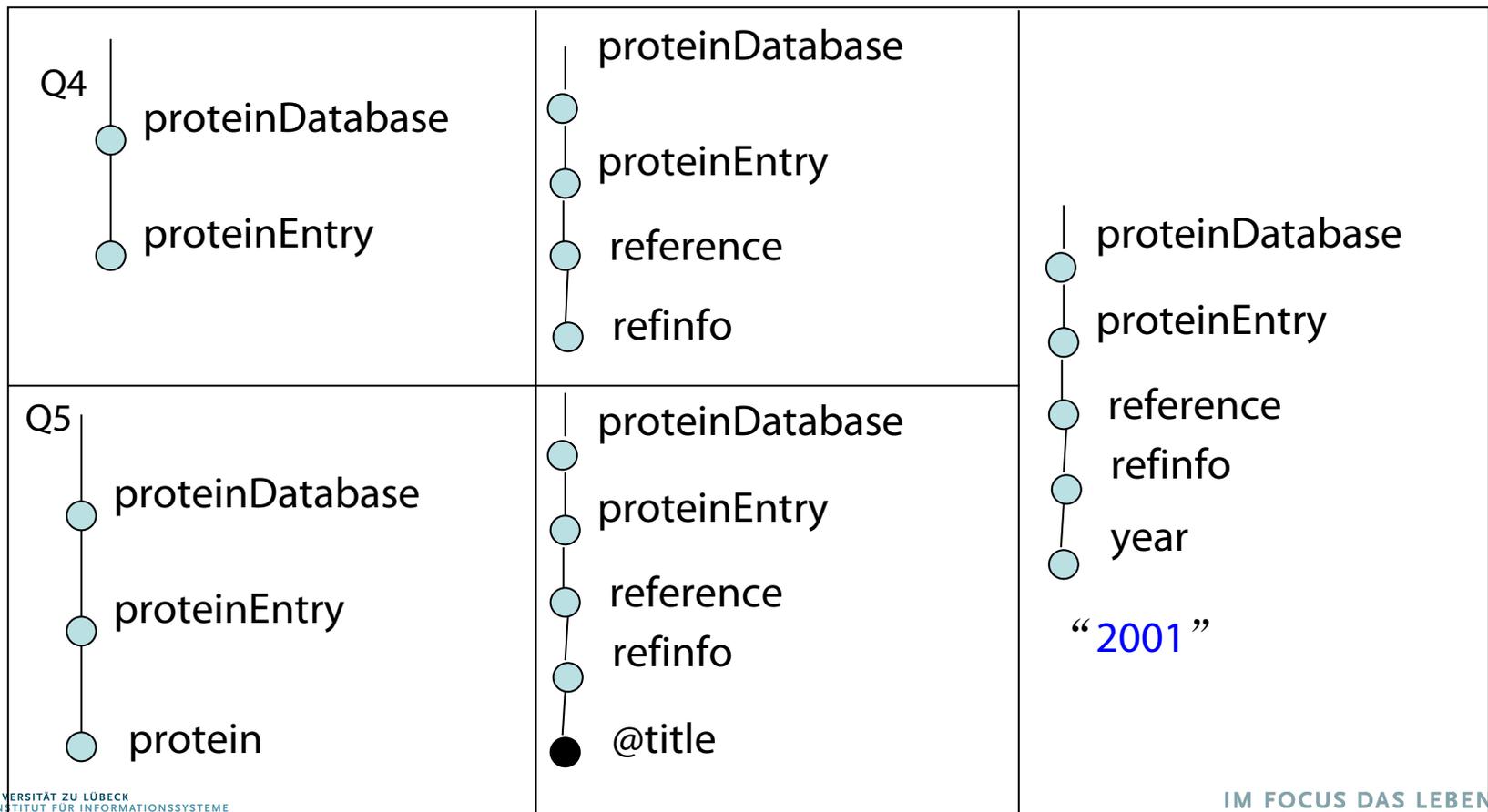
Aufspaltung von Anfragen

- Übersetzung einer Anfrage nach SQL
 - **Anfragedekomposition**
 - Aufspaltung einer Anfrage in eine Menge von Suffix-Pfad-Anfragen unter Speicherung von Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen
 - **SQL-Generierung**
 - Bestimmung der P-Beschriftung der Anfrage zur Verwendung in einer SQL-Unteranfrage (Bereichsanfrage)
 - **SQL-Komposition**
 - Komposition der Teilanfragen auf Basis der D-Beschriftungen und der Vorgänger-Nachfolger-Beziehung

BLAS: Verfeinerung 1: Vermeidung von Joins

Push up-Algorithmus: Optimierung der Verzweigungselimination

Da p/q_i und p/r spezieller als $//q_i$ und $//r$,
 zerlege $p[q_1, q_2, \dots, q_i]/r \rightarrow p, p/q_1, p/q_2, \dots, p/q_i, p/r$



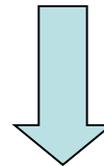
BLAS: Verfeinerung 2: Vermeidung von Joins

Entfaltungsalgorithmus als Nachfolger-Eliminierung
(Entfaltungs-D-Eliminierung)

$$p//q \rightarrow p/r_1/q, p/r_2/q, \dots, p/r_i/q$$

Ein Beispiel:

Q2=/ProteinDatabase/ProteinEntry/protein//superfamily="cytochrome c"



Q21 =

/ProteinDatabase/ProteinEntry/protein/classification/superfamily="cytochrome c" ,

Weitere Arbeiten: Anfrageoptimierung

- Automatische Selektion von Indizierungstechniken

Beda Christoph Hammerschmidt, KeyX: Selective Key-Oriented Indexing in Native XML-Databases, Dissertation, **IFIS Universität Lübeck**, Akademische Verlagsgesellschaft Aka GmbH, DISDBIS 93, **2005**

Christian Mathis, Storing, Indexing, and Querying XML Documents in Native XML Database Management Systems, Dissertation, Universität Kaiserslautern, **2009**

- Erfüllbarkeits- und Enthaltenseins-Tests unter Berücksichtigung von XML-Schema-Spezifikationen

Jinghua Groppe, Speeding up XML Querying: Satisfiability Test & Containment Test of XPath Queries in the Presence of XML Schema Definitions, Dissertation, **IFIS Universität Lübeck**, dissertation.de: Verlag im Internet GmbH, **2008**

- Neue Optimierungstechniken für XML-Anfragen bei Datenverteilung in großen Sensornetzwerken (Kommunikation energieaufwändig)
- Caches in der Nähe von Datenquellen zur Vermeidung von Kommunikation und Verifikation der Cache-Kohärenz bei nicht-zuverlässigen Kommunikationskanälen

Nils Höller, Efficient XML Data Management and Query Evaluation in Wireless Sensor Networks, Dissertation **IFIS Universität Lübeck**, **2010**
(vgl. auch das IFIS/ITM-Projekt AESOP's TALE)

Non-Standard-Datenbanken

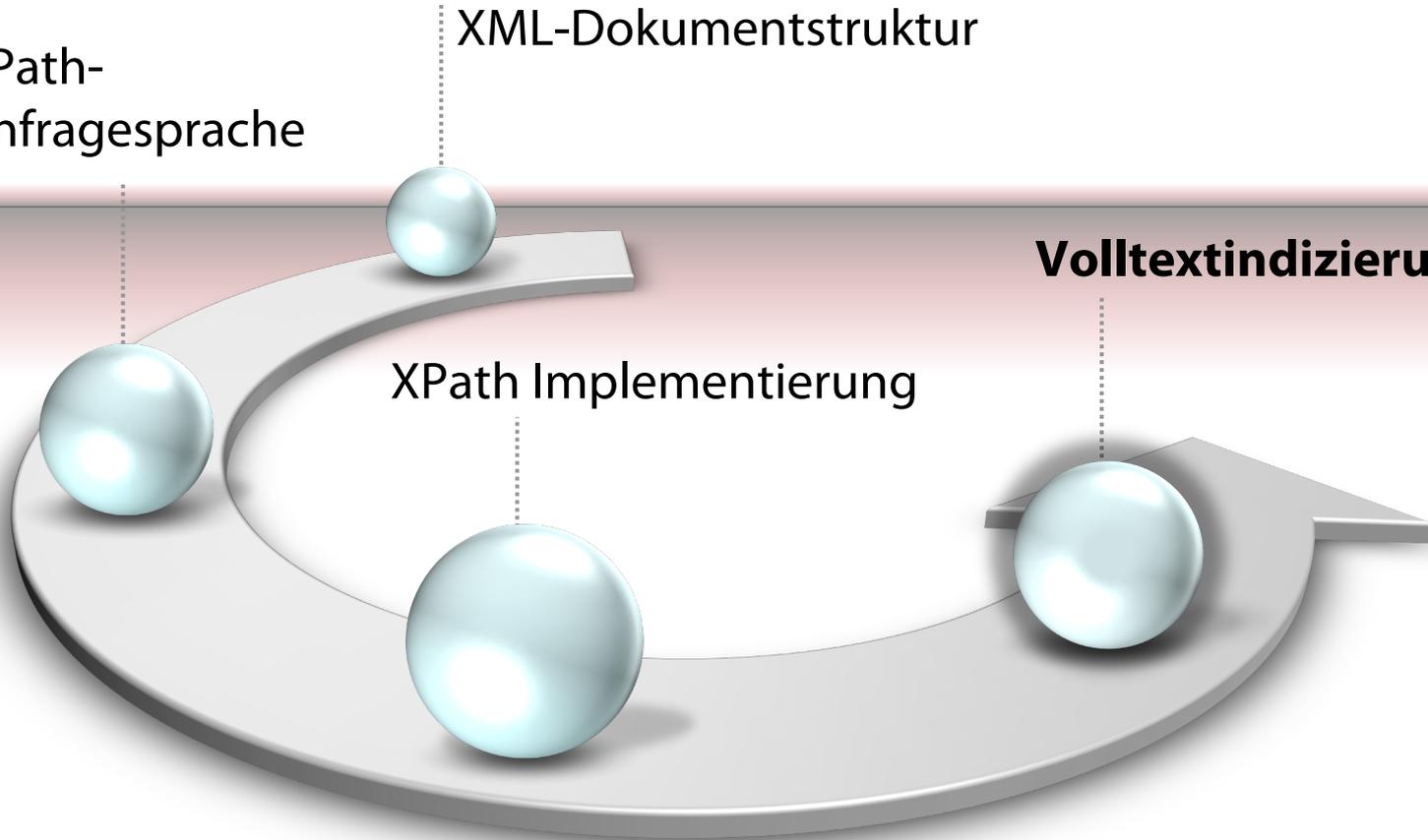
Semistrukturierte Datenbanken

XPath-
Anfragesprache

XML-Dokumentstruktur

Volltextindizierung

XPath Implementierung



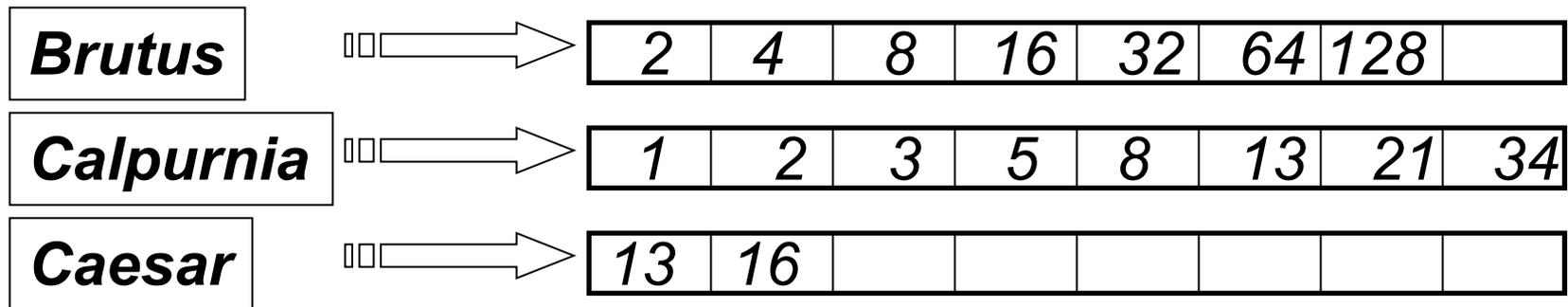
Text als unstrukturierte Daten

Welche Stücke `//drama[author='shakespeare']` enthalten die Worte **Brutus** UND **Caesar** aber NICHT **Calpurnia**?

- `//drama[author='shakespeare' and matches(content,'Brutus') & matches(content 'Caesar') and not(matches(content, 'Calpurnia'))]`
- Verwendung z.B. von **Knuth-Morris-Pratt-Algorithmus**, um alle Stücke von Shakespeare mit **Brutus** und **Caesar** zu finden, um dann solche mit **Calpurnia** zu entfernen?
 - Langsam (für große Korpora)
 - NICHT **Calpurnia** ist keinesfalls einfacher zu behandeln
 - Andere Operationen (z.B. Finde das Wort **romans** in der Nähe von **countrymen**) sind nicht einfach umsetzbar
 - Ggf. Bewertung von Ergebnissen gewünscht

Invertierter Index

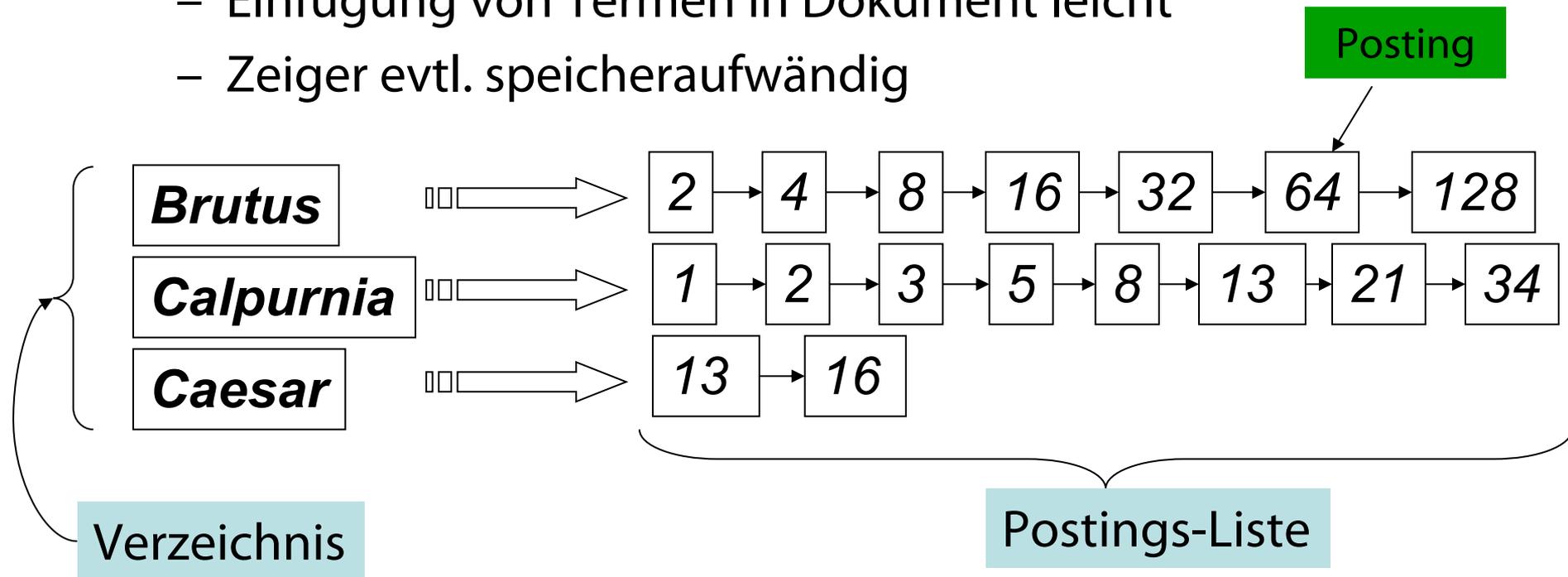
- Für jeden Term **T**, müssen wir eine Liste aller Dokumente, die **T** enthalten, speichern
- Sollen wir ein Feld oder eine Liste verwenden?



*Was machen wir, wenn das Wort **Caesar** zu Dokument 14 hinzugefügt wird?*

Invertierter Index

- Verkettete Listen i.a. bevorzugt
 - Dynamische Speicherallokation
 - Einfügung von Termen in Dokument leicht
 - Zeiger evtl. speicheraufwändig



Sortiert nach docID (später mehr dazu)

Antworten im Kontext

Antony and Cleopatra, Act III, Scene ii

Agrippa [Aside to DOMITIUS ENOBARBUS]: Why, Enobarbus,
When Antony found Julius **Caesar** dead,
He cried almost to roaring; and he wept
When at Philippi he found **Brutus** slain.

Lineare Suche des Teilausschnitts
könnte schon zu langsam sein
→ Positionen auch abspeichern

Hamlet, Act III, Scene ii

Lord Polonius: I did enact Julius **Caesar** I was killed i' the
Capitol; **Brutus** killed me.

Indexierungsschritte

- Geg.: Sequenz von Paaren (Token, DocID).

Doc 1

I did enact Julius
Caesar I was killed
i' the Capitol;
Brutus killed me.

Doc 2

So let it be with
Caesar. The noble
Brutus hath told you
Caesar was ambitious



Term	Doc #
I	1
did	1
enact	1
julius	1
caesar	1
I	1
was	1
killed	1
i'	1
the	1
capitol	1
brutus	1
killed	1
me	1
so	2
let	2
it	2
be	2
with	2
caesar	2
the	2
noble	2
brutus	2
hath	2
told	2
you	2
caesar	2
was	2
ambitious	2

Indizierungsschritte

Sortierung nach Term

Hoher Aufwand

Term	Doc #
I	1
did	1
enact	1
julius	1
caesar	1
I	1
was	1
killed	1
i'	1
the	1
capitol	1
brutus	1
killed	1
me	1
so	2
let	2
it	2
be	2
with	2
caesar	2
the	2
noble	2
brutus	2
hath	2
told	2
you	2
caesar	2
was	2
ambitious	2



Term	Doc #
ambitious	2
be	2
brutus	1
brutus	2
capitol	1
caesar	1
caesar	2
caesar	2
did	1
enact	1
hath	1
I	1
I	1
i'	1
it	2
julius	1
killed	1
killed	1
let	2
me	1
noble	2
so	2
the	1
the	2
told	2
you	2
was	1
was	2
with	2

Indizierungsschritte

- Mehrfacheinträge für Terme aus einem Dokument werden verschmolzen
- Anzahlinformation wird hinzugefügt

Warum Anzahl?
Bewertung von Antworten.

Term	Doc #
ambitious	2
be	2
brutus	1
brutus	2
capitol	1
caesar	1
caesar	2
caesar	2
did	1
enact	1
hath	1
I	1
I	1
i'	1
it	2
julius	1
killed	1
killed	1
let	2
me	1
noble	2
so	2
the	1
the	2
told	2
you	2
was	1
was	2
with	2



Term	Doc #	Term freq
ambitious	2	1
be	2	1
brutus	1	1
brutus	2	1
capitol	1	1
caesar	1	1
caesar	2	2
did	1	1
enact	1	1
hath	2	1
I	1	2
i'	1	1
it	2	1
julius	1	1
killed	1	2
let	2	1
me	1	1
noble	2	1
so	2	1
the	1	1
the	2	1
told	2	1
you	2	1
was	1	1
was	2	1
with	2	1

Umsetzung in SQL?

• SQL:

TermDoc

Term	Doc #
I	1
did	1
enact	1
julius	1
caesar	1
I	1
was	1
killed	1
i'	1
the	1
capitol	1
brutus	1
killed	1
me	1
so	2
let	2
it	2
be	2
with	2
caesar	2
the	2
noble	2
brutus	2
hath	2
told	2
you	2
caesar	2
was	2
ambitious	2



Term	Doc #	Term freq
ambitious	2	1
be	2	1
brutus	1	1
brutus	2	1
capitol	1	1
caesar	1	1
caesar	2	2
did	1	1
enact	1	1
hath	2	1
I	1	2
i'	1	1
it	2	1
julius	1	1
killed	1	2
let	2	1
me	1	1
noble	2	1
so	2	1
the	1	1
the	2	1
told	2	1
you	2	1
was	1	1
was	2	1
with	2	1

Das Ergebnis wird in eine Verzeichnis- und eine Postings-Tabelle unterteilt

Term	Doc #	Freq
ambitious	2	1
be	2	1
brutus	1	1
brutus	2	1
capitol	1	1
caesar	1	1
caesar	2	2
did	1	1
enact	1	1
hath	2	1
I	1	2
i'	1	1
it	2	1
julius	1	1
killed	1	2
let	2	1
me	1	1
noble	2	1
so	2	1
the	1	1
the	2	1
told	2	1
you	2	1
was	1	1
was	2	1
with	2	1



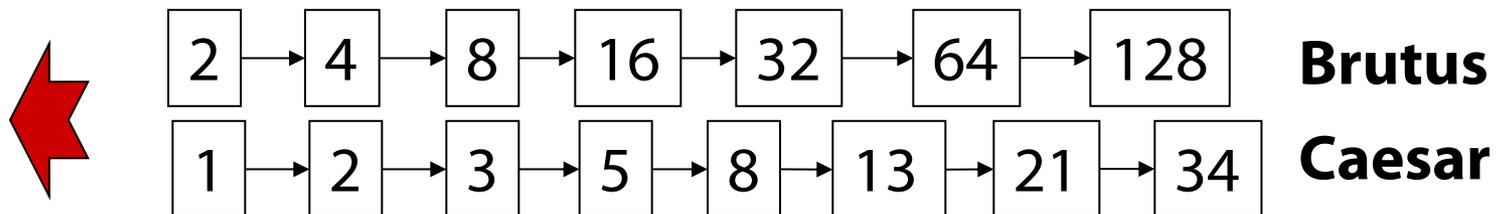
Term	N docs	Coll freq	Zeiger
ambitious	1	1	→
be	1	1	→
brutus	2	2	→
capitol	1	1	→
caesar	2	3	→
did	1	1	→
enact	1	1	→
hath	1	1	→
I	1	2	→
i'	1	1	→
it	1	1	→
julius	1	1	→
killed	1	2	→
let	1	1	→
me	1	1	→
noble	1	1	→
so	1	1	→
the	2	2	→
told	1	1	→
you	1	1	→
was	2	2	→
with	1	1	→

Doc #	Freq
2	1
2	1
1	1
2	1
1	1
2	2
1	1
1	1
2	1
1	2
1	1
2	1
1	1
1	2
2	1
1	1
2	1
2	1
1	1
2	1
2	1
1	1
2	1
2	1
2	1

Warum N docs und Coll freq?
Bewertung von Antworten.

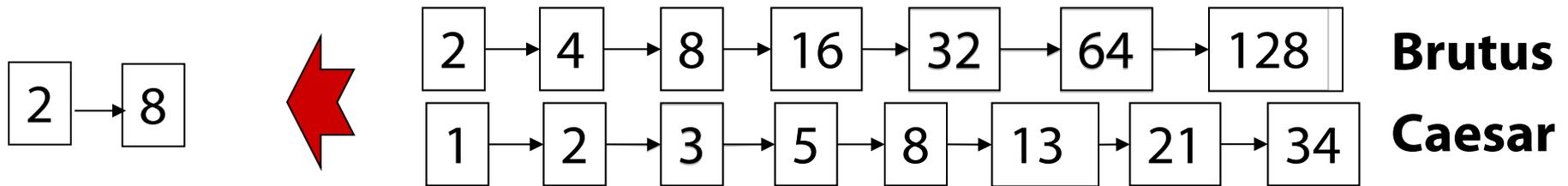
Anfrageverarbeitung: UND

- Betrachten wir folgende Anfrage:
Brutus UND **Caesar**
 - Suche **Brutus** im Verzeichnis
 - Hole die zugeordnete Postings-Liste
 - Suche **Caesar** im Verzeichnis
 - Hole die Postings-Liste
 - “Verschmelze” die Listen



Die Verschmelzung

- Gehe mit zwei Zeigern durch die Postings-Listen



Falls die Listen die Länge x und y haben, dauert die Verschmelzung $O(x+y)$ Schritte.

Notwendig: Postings nach docID sortiert

Knuth, D. E. Kap. 6.5. "Retrieval on Secondary Keys". The Art of Computer Programming, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, **1973**

Andere Methode: Signature Files z.B. mit Bloom Filter (später vertieft)
Bloom, Burton H., Space/Time Trade-offs in Hash Coding with Allowable Errors, Communications of the ACM 13 (7), 422–426, **1970**

Non-Standard-Datenbanken

Von semistrukturierten Datenbanken zur Volltextsuche



Phrasale Anfragen

- Gesucht sind Antworten auf **“stanford university”** – als eine Phrase
- Der Satz “I went to university at Stanford” stellt keinen Treffer dar
 - Das Konzept der Phrasenanfrage wird von Nutzern gut verstanden und einigermaßen häufig verwendet
- Es reicht nicht, nur <Term : docID>-Einträge zu speichern

Erster Versuch: Zweiwort-Indexe

- Indexiere jedes aufeinanderfolgende Paar von Termen im Text als Phrase
- Beispieltext: "Friends, Romans, Countrymen"
- Zweiworte:
 - **friends romans**
 - **romans countrymen**
- Jedes dieser Zweiworte wird nun ein Eintrag im Verzeichnis
- Zweiwort Phrasenanfragen können nun einfach behandelt werden

Längere Phrasenanfragen

- Beispiel:
stanford university palo alto
- Behandlung als boolesche Kombination von
Zweiwortanfragen:

stanford university UND **university palo**
UND **palo alto**



Falsch-positive Lösungen möglich!

- Nachbetrachtung der gefundenen Dokumente
notwendig

Denkaufgabe:

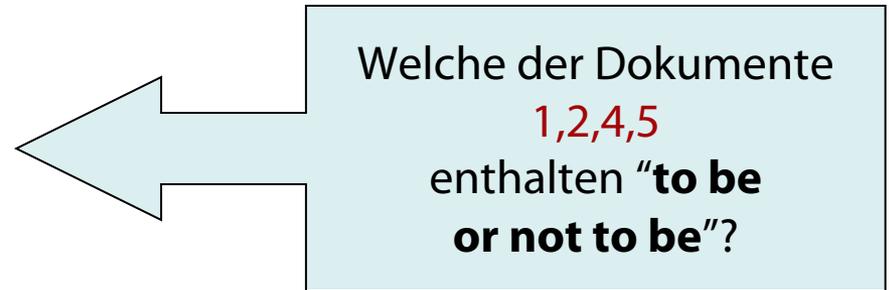
Können wir den nachträglichen Dokumentenabgleich zur Vermeidung von falsch-positiven Ergebnissen vermeiden?

Positionsbezogene Indexe

- Speichere für jeden Term folgende Einträge: <Anzahl der Dokumente, die Term enthalten;
Doc₁: Position₁, Position₂ ... ;
Doc₂: Position₁, Position₂ ... ;
...>
- Position_i kann Offset sein oder Wortnummer

Beispiel: Positionsbezogener Index

<**be**: 993427;
1: 7, 18, 33, 72, 86, 231;
2: 3, 149;
4: 17, 191, 291, 430, 434;
5: 363, 367, ...>



- Datenkomprimierung möglich
- Allerdings erhöht sich der Speicherverbrauch substantiell

Verarbeitung einer Phrasenanfrage

- Extrahiere die Einträge im invertierten Index für **to, be, or, not**.
- Verschmelze die Dok-Positions-Listen um alle Positionen zu finden mit **“to be or not to be”**.
 - **to:**
 - 2:1,17,74,222,551; 4:8,16,190,429,433; 7:13,23,191; ...
 - **be:**
 - 1:17,19; 4:17,191,291,430,434; 5:14,19,101; ...
- Auch anwendbar für Suchen mit “In der Nähe von”-Operatoren

Denkaufgabe:

Finde alle Dokumente, die ein Wort enthalten, das mit "mon" beginnt.

Wie können wir das realisieren?

Platzhalter-Anfragen: *

- **mon***: Finde alle Dokumente, die ein Wort enthalten, das mit "mon" beginnt
- Verwendung eines B-Baums mit Eintragungen in lexikographischer Ordnung
- Finde alle Worte **w**, so dass **mon** \leq **w** $<$ **moo**

Denkaufgabe:

Finde alle Dokumente, die ein Wort enthalten, das mit "mon" endet.

Wie können wir das realisieren?

Platzhalter-Anfragen

- ***mon:** Finde Worte, die mit mon enden
- Mögliche Lösung:
 - Erstelle B-Baum für Terme rückwärts geschrieben
 - Realisierung der Anfrage als Bereichsanfrage: **nom** \leq **w** < **non**.

Denkaufgabe:

Wie können wir alle Terme (und damit Dokumente) finden, die auf **pro*cent** passen?

Was machen wir bei **se*ate AND fil*er**?

*'ne ans Ende rotieren

- Was machen wir bei multiplen Platzhaltern?
- Neuer Ansatz:
Transformiere Anfrage, so dass Platzhalter am Ende der Anfrage auftreten
→ "Permuterm"-Index

Permuterm-Index

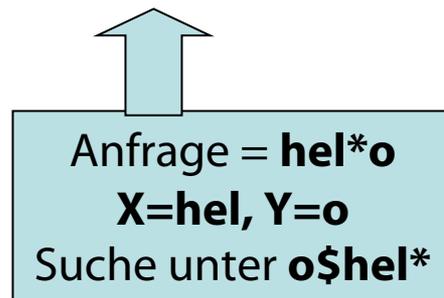
- Für Term **hello** erstelle Indexeinträge:
 - **hello\$, ello\$h, llo\$he, lo\$hel, o\$hell, \$hello**Wobei \$ ein spezielles Symbol ist

- Behandlung von Anfragen:

- **X** suche unter **X\$**
- ***X** suche unter **X\$***
- **X*Y** suche unter **Y\$X***

X* suche unter **\$X***

X suche unter **X***



Denkaufgabe:

Wie behandeln wir $X*Y*Z$?

Permuterm-Anfrageverarbeitung

- Rotiere Anfrageplatzhalter nach rechts
- Verwende B-Baum-Zugriff wie bekannt
- Permuterm-Problem: \approx Vervierfachung der zu speichernden Daten im "Lexikon"



Empirisches Resultat für das Englische

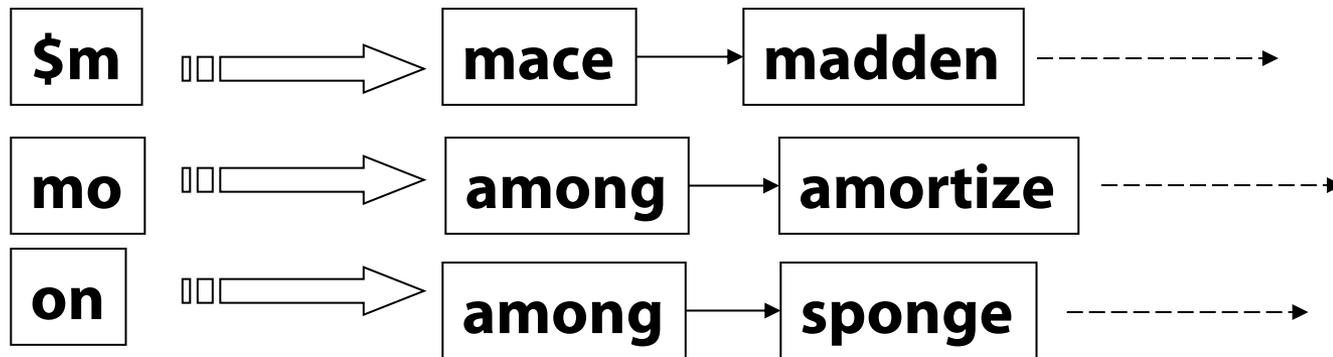
Bigramm-Indexe

- Bestimme alle n-Gramme (Sequenz von n Zeichen), die in den Termen vorkommen
- Beispieltext "**April is the cruelest month**"
Wir erhalten folgende 2-Gramme (Bigramme)

\$a,ap,pr,ri,il,l\$, \$i,is,s\$, \$t,th,he,e\$, \$c,cr,ru,
ue,el,le,es,st,t\$, \$m,mo,on,nt,h\$

- \$ ist ein besonderes Abgrenzungssymbol
- Aufbau eines invertierten Index für Bigramme auf Verzeichnisterme, in denen das Bigramm vorkommt

Beispiel: Bigramm-Index



Verarbeitung von n-Gramm-Platzhaltern

- Anfrage **mon*** kann als
 - **\$m AND mo AND on** formuliert werden
- Schnell und speichereffizient
- Hole Terme und gleiche die UND-Version der Platzhalteranfrage ab
- Leider kriegen wir z.B. auch **moon** zu fassen
- Nachverarbeitung notwendig
- Überlebende Terme führen dann über den Term-Dokument-Index zum Dokument (und ggf. zur Position darin zur Hervorhebung)
- Geeignet zur Tippfehlerkorrektur
- Suche nach ungefähr passenden Texten? Plagiate?

BLAST: Basic Local Alignment Search Tool

- **Annahme:** Falls zwei Sequenzen eine gute lokale Übereinstimmung haben, dann ist mit großer Wahrscheinlichkeit eine kleine **Teilzeichenkette** sogar identisch (**Seed**)

TTGACTCGATTATAGTCGCGGATATACTATCG
CCTATCACAAGAATATAGTCCCTGATCCAGC

TTGACTC GATTATAGTCGCGGAT ATACTATCG
CCTATCACA GAATATAGTCCCTGAT CCAGC

TTGACTC GATTATAGTCGCGGAT ATACTATCG
CCTATCACA GAATATAGTCCCTGAT CCAGC

BLAST-Algorithmus

Gegeben sei eine Anfragesequenz s und eine Sequenzdatenbank $D=\{d_j\}$

1. Berechne Teilsequenzen s_i von s der Länge q
 - Auch Q-Gramme genannt (wieviele?)
 - Füge evtl. Q-Gramme mit Änderungen hinzu, um die Anzahl der Passungen zu erhöhen (mit geringerer Bewertung)
2. Finde alle Vorkommen aller s_i in allen d_j (Seeds)
 - Lückenfreie Ausrichtung mit Bewertung
3. Erweitere Seeds nach links und rechts in s_i und d_j
 - Ergänzung des Bewertungsmaßes der initialen Treffer
 - Schwellwert t

Beispiel

$q=5, t=3$

$s=ACGTGATA$

$d=GATTGACGTGACTGCTAGTGATACTATAT$



$s_1=ACGTG$

$s_2=CGTGA$

$s_3=GTGAT$

$s_4=TGATA$

GATTG**ACGTG**ACTGCTAGTGATACTATAT

GATTGAC**CGTGA**CTGCTAGTGATACTATAT

GATTGACGTGACTGCTAG**TGATA**CTATAT

GATTGACGTGACT**GC**TAGTGATACTATAT



GATTGAC**CGTGA**CTGCAAGTGATACTATAT

ACGTGATA

5

ACGTGATA

5+1=6

ACGTGATA

6-1=5

...

...

Eigenschaften

- Finden von initialen Treffern aufwendig
 - Vorberechnung der Q-Gramme aller d_i
 - Aufbau des invertierten Index
 - Gegeben s , berechne alle Q-Gramme (evtl. mit Editieroperationen, falls initiale Treffermenge zu klein)

Zusammenfassung

