

---

# **Non-Standard-Datenbanken**

Volltextindizierung und Information Retrieval

Prof. Dr. Ralf Möller

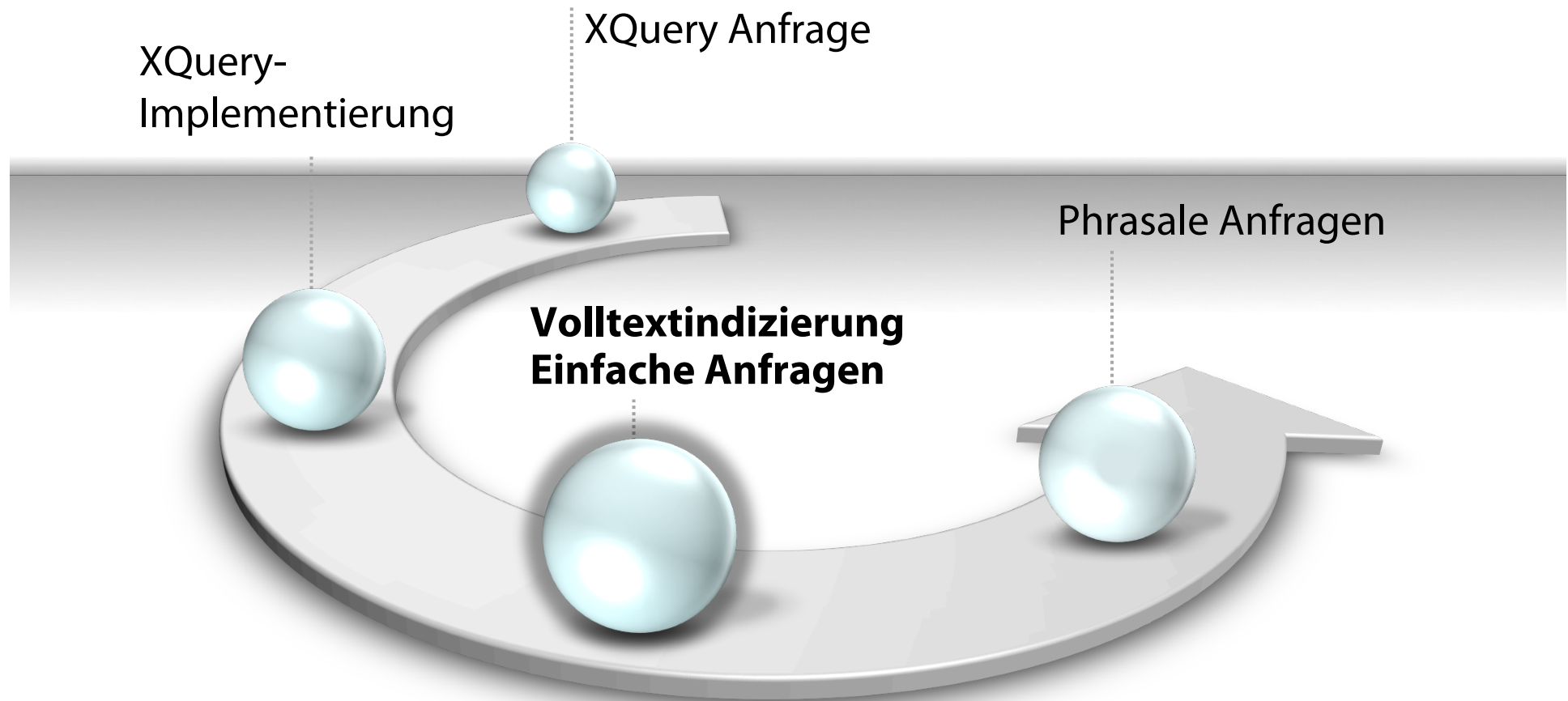
Universität zu Lübeck

Institut für Informationssysteme



# Non-Standard-Datenbanken

Von semistrukturierten Datenbanken zur Volltextsuche



# Text als unstrukturierte Daten

---

- Welche Stücke von Shakespeare enthalten die Worte **Brutus** UND **Caesar** aber NICHT **Calpurnia**?
- Verwendung von grep um alle Stücke von Shakespeare mit **Brutus** und **Caesar** zu finden, um dann Zeilen mit **Calpurnia** zu entfernen?
  - Langsam (für große Korpora)
  - NICHT **Calpurnia** ist keinesfalls einfach zu behandeln
  - Andere Operationen (z.B. Finde das Wort **romans** in der Nähe von **countrymen**) sind mit grep nicht umsetzbar
  - Bewertung von Ergebnissen gewünscht
    - Kommt später

# Term-Dokument-Inzidenzmatrix

	Antony and Cleopatra	Julius Caesar	The Tempest	Hamlet	Othello	Macbeth
Antony	1	1	0	0	0	1
Brutus	1	1	0	1	0	0
Caesar	1	1	0	1	1	1
Calpurnia	0	1	0	0	0	0
Cleopatra	1	0	0	0	0	0
mercy	1	0	1	1	1	1
worser	1	0	1	1	1	0

**Brutus UND Caesar** aber NICHT  
**Calpurnia**

1 falls Dokument Wort  
enthält, sonst 0

# Inzidenzvektoren

---

- Wir haben einen 0/1-Vektor für jeden Term
- Zur Beantwortung der Anfrage: Nehme die Vektoren von **Brutus, Caesar** and **Calpurnia** (komplementiert) ➔ bitweises UND.
- 110100 UND 110111 UND 101111 = 100100.

**Brutus UND Caesar** aber NICHT **Calpurnia**

# 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.

# Größere Korpora

---

- Betrachte  $N = 1\text{M}$  Dokumente, jedes mit ca. 1K Termen
- Das ergibt bei 6 Bytes/Term einschl. Leerzeichen und Interpunktionszeichen
  - 6GB Daten für alle Dokumente
- Sagen wir, es gibt darunter  $m = 500\text{K}$  unterschiedliche Terme

# Inzidenzmatrix viel zu groß

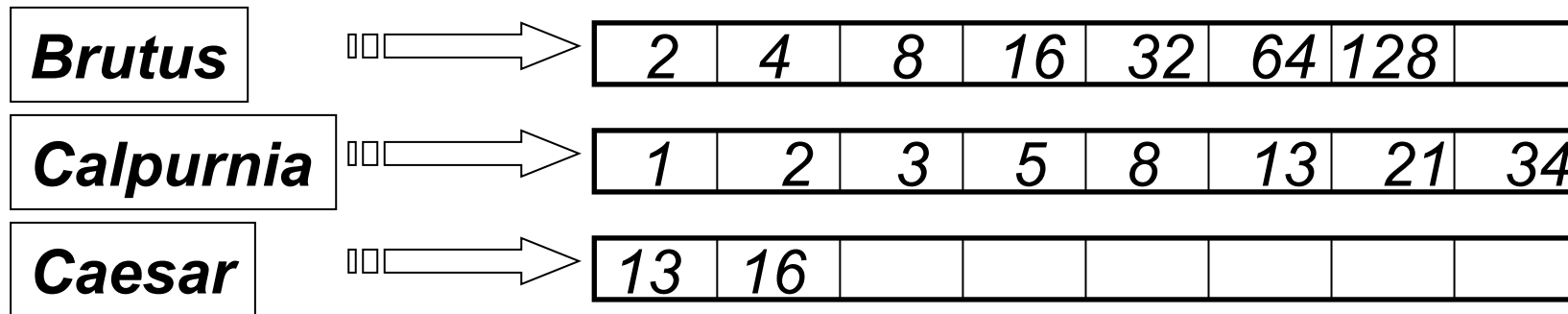
---

- 500K x 1M Matrix hat halbe Billion 0'en und 1'en
- Aber nicht mehr als eine Milliarde 1'en
  - Matrix ist extrem dünn besetzt
- Können wir eine bessere Repräsentation wählen?
  - Wir brauchen nur die 1-Positionen zu speichern



# Invertierter Index

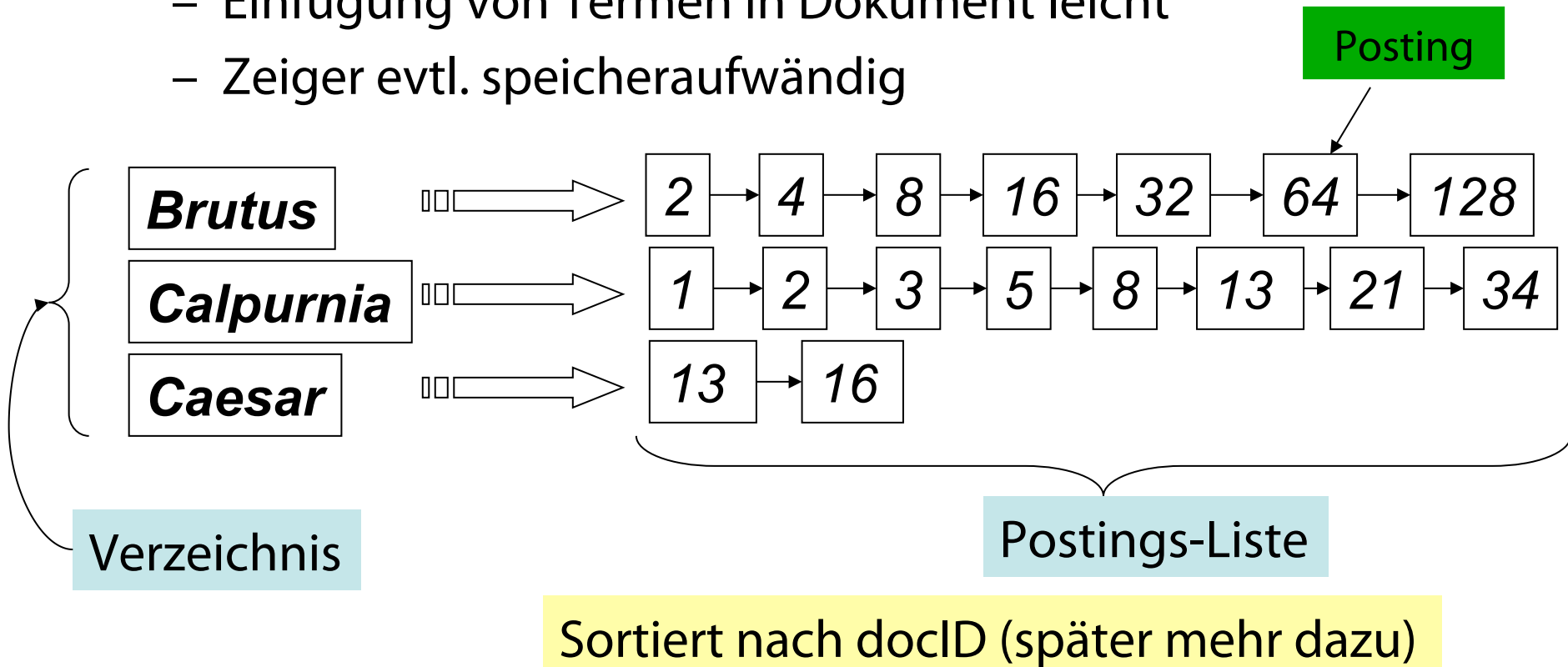
- Für jeden Term  $T$ , müssen wir eine Liste aller Dokumente, die  $T$  enthalten, speichern
- Sollen wir ein Feld oder eine Liste verwenden?



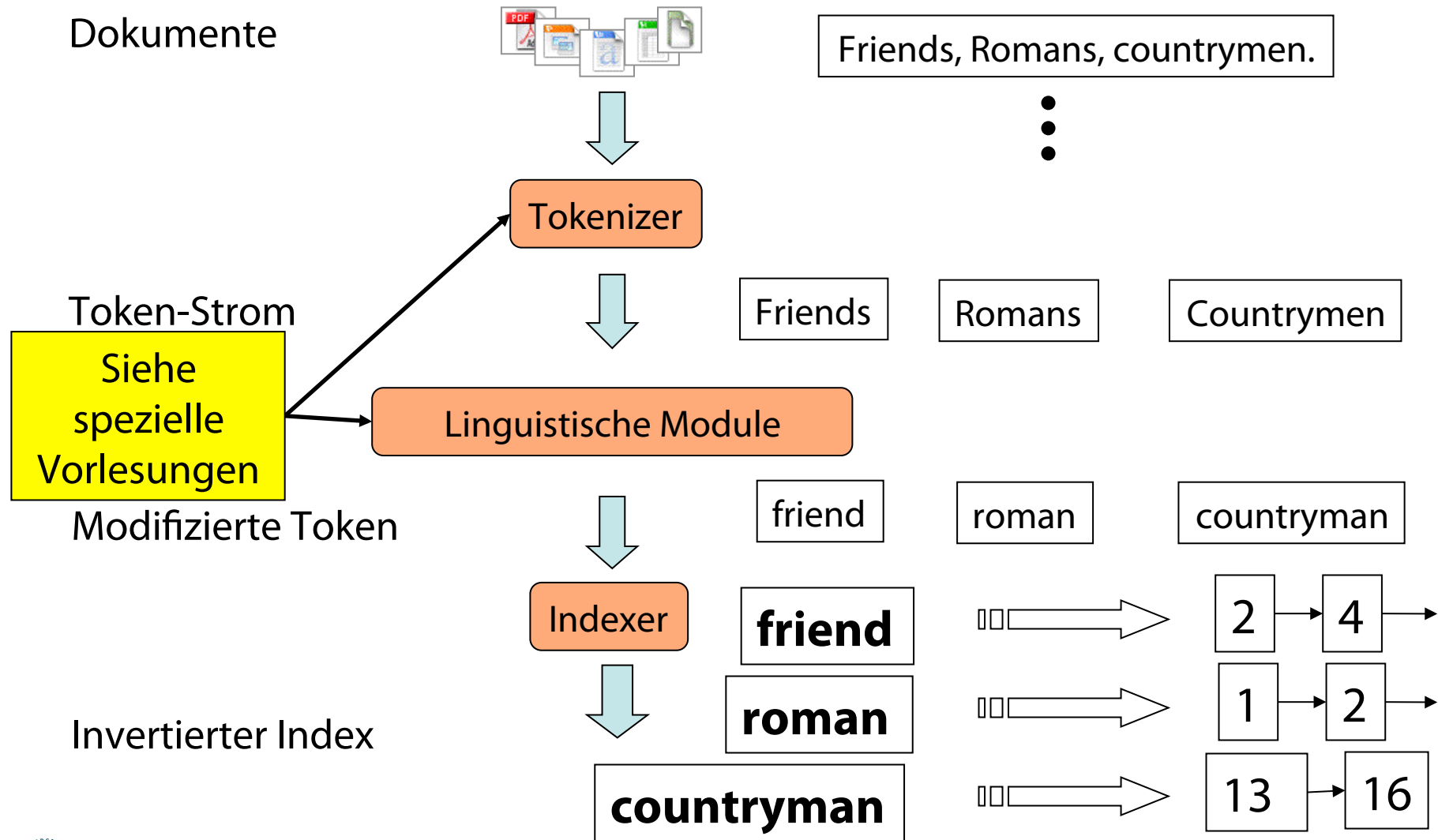
*Was machen wir, wenn das Wort **Caesar** zu Dokument 14 hinzugefügt wird?*

# Invertierter Index

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



# Konstruktion des invertierten Index



# 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.  
Wird später behandelt.

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	→

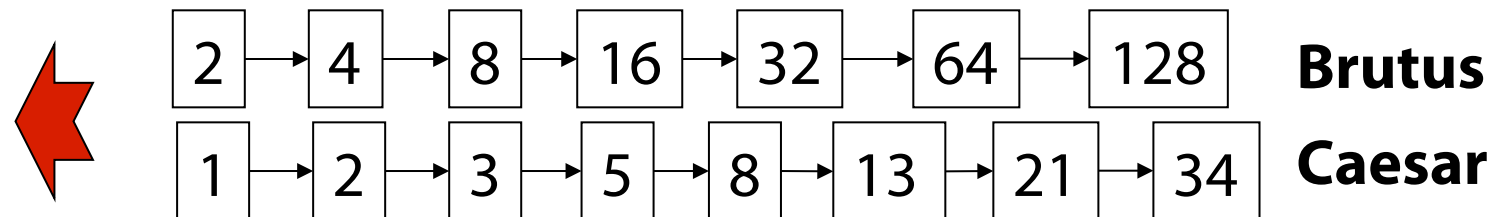
Doc #	Freq
2	1
2	1
1	1
2	1
1	1
1	1
2	2
1	1
1	1
2	1
1	2
1	1
2	1
1	1
1	2
2	1
1	1
2	1
2	1
1	1
2	1
2	1
2	1
1	1
2	1
2	1
2	1

Warum N docs und Coll freq?  
Bewertung von Antworten.  
Wird später behandelt.



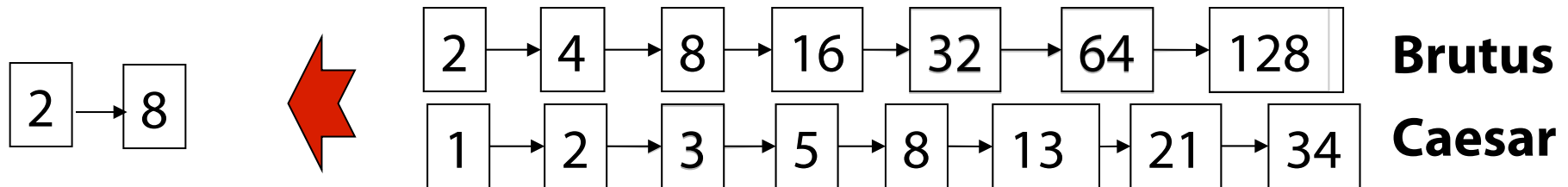
# Anfrageverarbeitung: UND

- 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 synchron 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 (hier nicht 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 (10% der Anfragen sind phrasal)
- 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

---

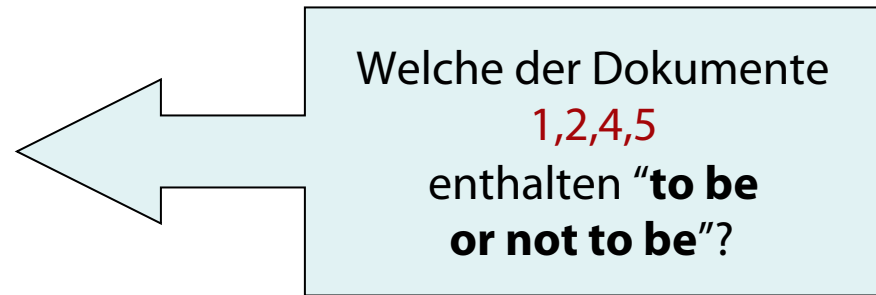
- Speichere für jeden Term folgende Einträge: <Anzahl der Dokumente, die Term enthalten;  
Doc<sub>1</sub>: Position<sub>1</sub>, Position<sub>2</sub> ... ;  
Doc<sub>2</sub>: Position<sub>1</sub>, Position<sub>2</sub> ... ;  
...>
- Position<sub>i</sub> kann Offset sein oder Wortnummer



# 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 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 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** ≤ **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**?

# B-Bäume für \*'ne am Ende der Anfrage

---

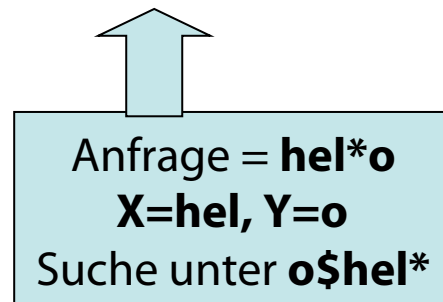
- Bei Platzhaltern in der Mitte viele Konjunkte in der resultierenden Anfrage
- Was machen wir bei multiplen Platzhaltern?
- Neuer Ansatz:  
Transformiere Anfrage, so dass Platzhalter am Ende der Anfrage auftreten  
→ "Permuterm"-Index



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



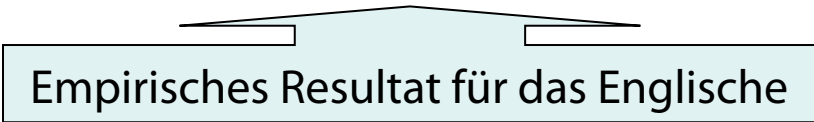
Denkaufgabe:

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

---

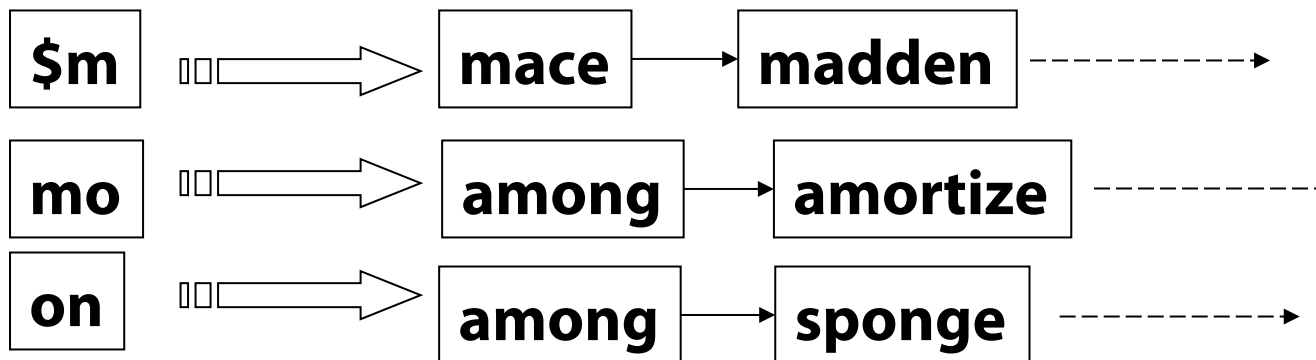
- Bestimme alle n-Gramme (Sequenz von n Zeichen), die in den Termen vorkommen
- Beispieltext "**April is the cruelest month**"  
Wir erhalten folgende 2-Gramme (Bigramme)

\$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 der Index vorkommt

# Beispiel: Bigramm-Index

---



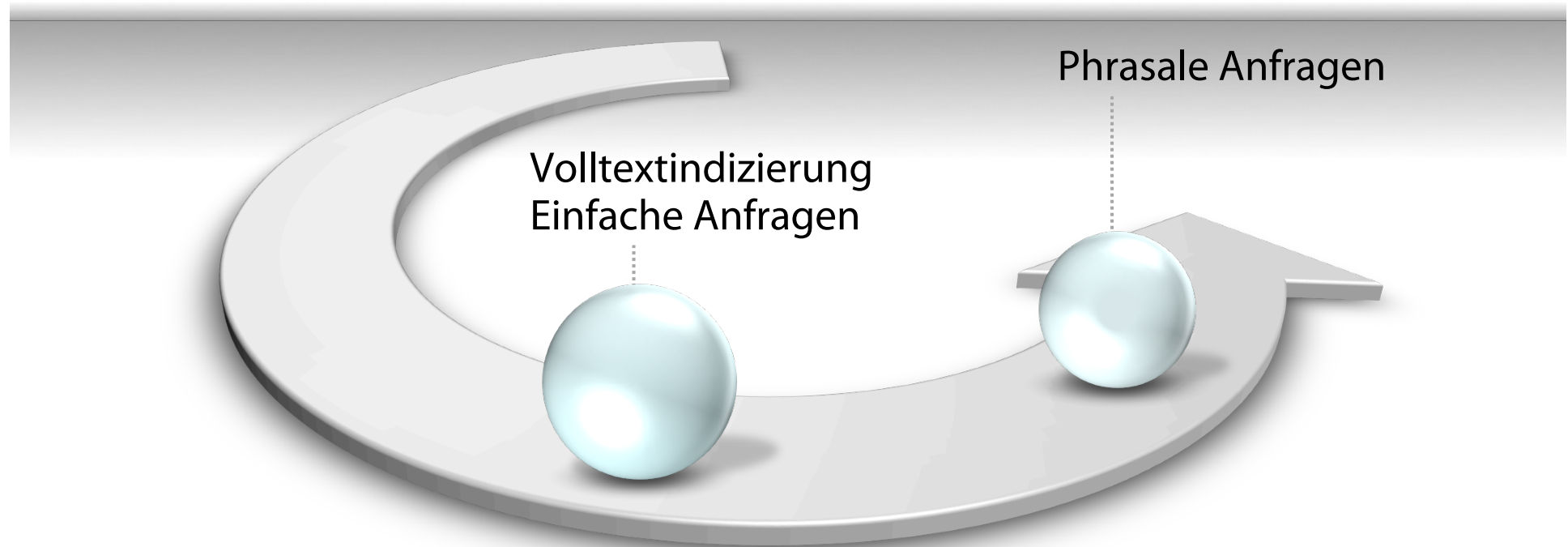
# Verarbeitung von n-Gramm-Platzhaltern

---

- 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)

# Non-Standard-Datenbanken

## Volltextindizierung und phrasale Anfragen



# Introduction to Information Retrieval

Chr. Manning, P. Raghavan, H. Schütze

Die Präsentationen sind inspiriert durch:  
<http://web.stanford.edu/class/cs276/>

Vgl. auch:

- G. Salton; E. A. Fox; H. Wu, Extended Boolean information retrieval, *Commun. ACM*, 26 (11): 10-22, 1983
- R. Baeza-Yates,; B. Ribeiro-Neto, *Modern information retrieval*, Addison-Wesley, 1999
- S. Büttcher, Ch.L.A. Clarke, G.V. Cormack,, *Information Retrieval: Implementing and Evaluating Search Engines*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. 2010

