

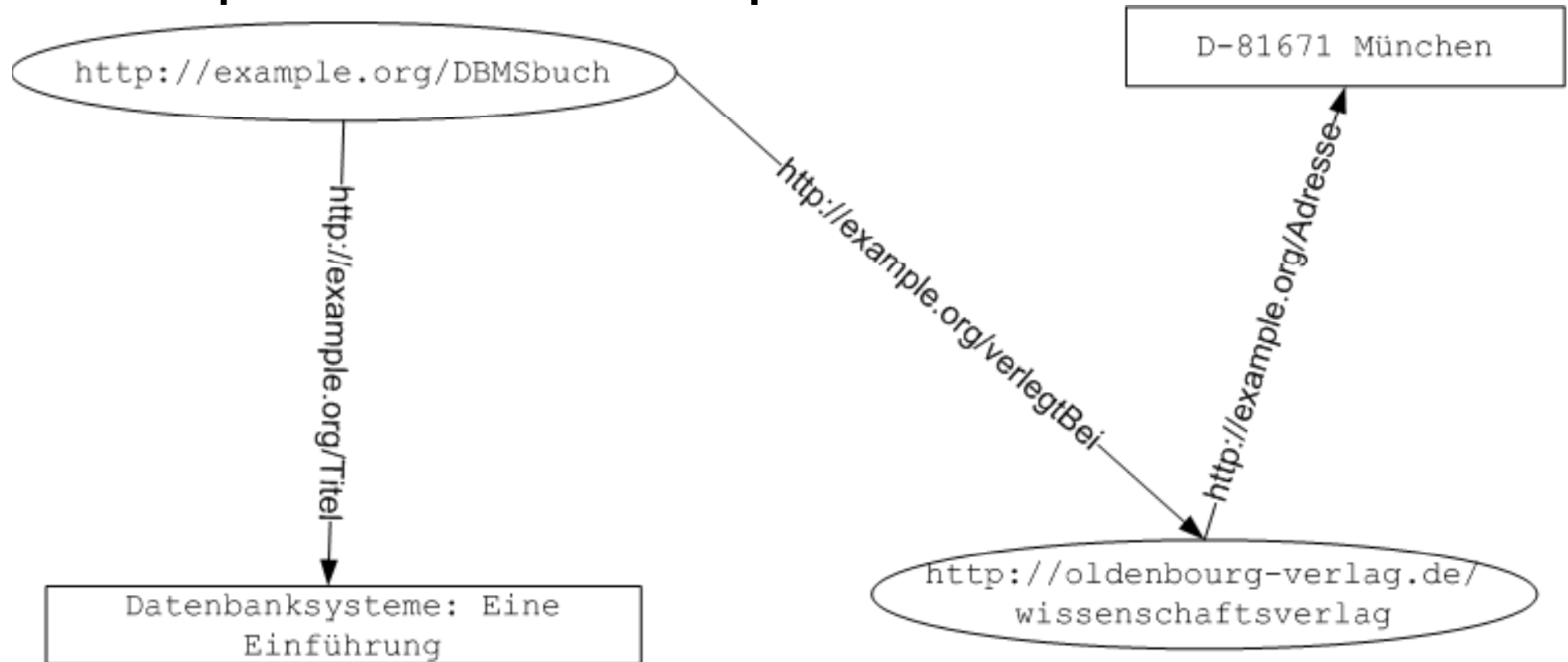
Neue Entwicklungen im Datenbankbereich

- Semantic Web: RDF
- Information Retrieval
- Hauptspeicher-Datenbanken
- Datenströme
- Multi-Tenancy/Cloud-Datenbanken

Semantic Web: Resource Description Framework (RDF)

- Triple-Datenmodell
 - (Subjekt, Prädikat, Objekt)
- Meist graphische Visualisierung
 - Subjekte und Objekte sind Knoten
 - Prädikate sind gerichtete Kanten
 - Von Subjekt-Knoten nach Objekt Knoten

Beispiel-RDF-Graph



Textuelle Darstellung des Graphen

- Das Buch mit der Kennung `<http://example.org/DBMSbuch>` wird `<http://example.org/verlegtBei>` dem Verlag `<http://oldenbourg-verlag.de/wissenschaftsverlag>`.
- Der `<http://oldenbourg-verlag.de/wissenschaftsverlag>` hat als `<http://example.org/Adresse>` das Literal "D-81671 München".
- Das `<http://example.org/DBMSbuch>` hat als `<http://example.org/Titel>` das Literal "Datenbanksysteme: Eine Einführung".

Somit wird klar, dass das erste Element des Tripels das Subjekt einer Aussage, das zweite das Prädikat und das dritte Element das Objekt darstellt.

Es gibt mehrere leicht unterschiedliche, textuelle RDF-Tripeldarstellungen, die man unter den Namen *N3*, *N-Triples* oder *Turtle* findet. In unserem Fall sieht die Beispieldatenbank in der *Turtle*-Notation wie folgt aus:

```
<http://example.org/DBMSbuch> <http://example.org/verlegtBei>  
    <http://oldenbourg-verlag.de/wissenschaftsverlag>.  
<http://oldenbourg-verlag.de/wissenschaftsverlag>  
    <http://example.org/Adresse> "D-81671 München".  
<http://example.org/DBMSbuch> <http://example.org/Titel>  
    "Datenbanksysteme: Eine Einführung".
```

Kurzform

```
@prefix ex: <http://example.org>.  
@prefix ol: <http://oldenbourg-verlag.de>.
```

```
ex:DBMSbuch ex:verlegtBei ol:wissenschaftsverlag.  
ol:wissenschaftsverlag ex:Adresse "D-81671 München".  
ex:DBMSbuch ex:Titel "Datenbanksysteme: Eine Einführung".
```



```
ex:DBMSbuch ex:verlegtBei ol:wissenschaftsverlag;  
    ex:Titel "Datenbanksysteme: Eine Einführung".  
ol:wissenschaftsverlag ex:Adresse "D-81671 München".
```

Man beachte, dass man jetzt ein Semikolon verwendet, um anzugeben, dass das vorherige Subjekt übernommen wird. Man kann mengenwertige Beziehungen auch noch weiter kompaktifizieren, wenn man Cluster gleicher Subjekte und Prädikate bildet. Beispielsweise:

```
ex:DBMSbuch ex:AutorNachName "Kemper" ,  
    "Eickler".
```

Bei diesen Clustern verwendet man Kommata als Abgrenzung der unterschiedlichen Objekte, die zu demselben Subjekt und Prädikat gehören.

Namenlose Knoten

```
@prefix ex: <http://example.org>.
```

```
@prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>.
```

```
ex:DBMSbuch ex:Autor _:k.
```

```
_:k ex:NachName "Kemper"^^xsd:string.
```

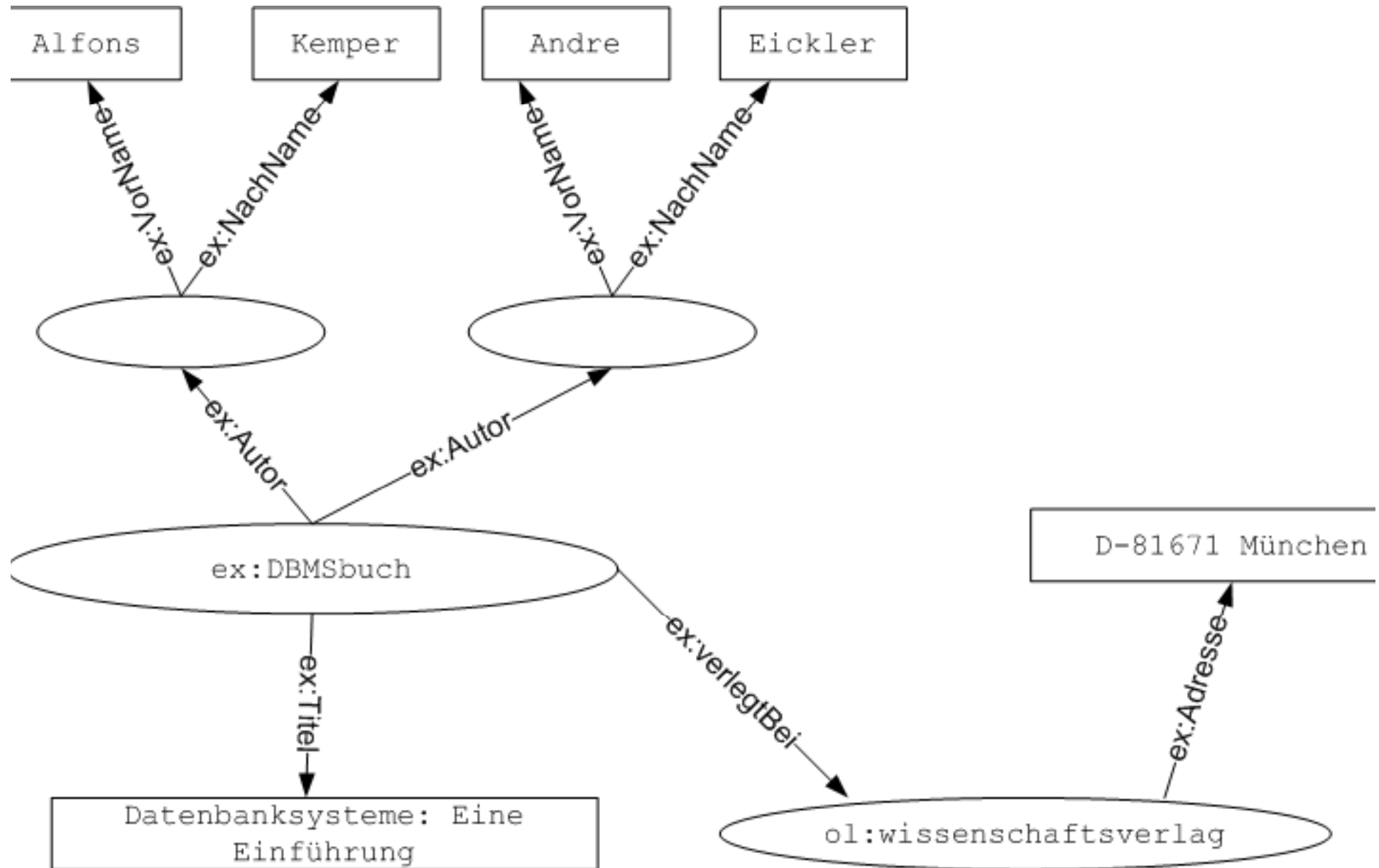
```
_:k ex:VorName "Alfons"^^xsd:string.
```

```
ex:DBMSbuch ex:Autor _:e.
```

```
_:e ex:NachName "Eickler"^^xsd:string.
```

```
_:e ex:VorName "Andre"^^xsd:string.
```

Graph mit unbenannten Knoten



SPARQL: Die RDF Anfragesprache

```
SELECT ?Var1 ?Var2 ... $VarN
```

```
WHERE {Muster1. Muster2. ... MusterM. }
```

```
PREFIX ex: <http://www.example.org>
```

```
SELECT ?AutorenDesOldenbourgVerlags WHERE
```

```
{ ?buch ex:Autor ?a.
```

```
  ?a ex:NachName ?AutorenDesOldenbourgVerlags.
```

```
  ?buch ex:verlegtBei <http://oldenbourg-  
  verlag.de/wissenschaftsverlag>.
```

```
}
```

SPARQL: Die RDF Anfragesprache

PREFIX ex: <http://www.example.org>

```
SELECT ?KempersBuecherTitel WHERE
{
  ?KempersBuecher ex:Autor ?k.
  ?k ex:NachName "Kemper".
  ?KempersBuecher ex:Titel ?KempersBuecherTitel.
}
```

SPARQL: Die RDF Anfragesprache

Union

PREFIX ex: <http://www.example.org>

```
SELECT ?KempersOderEicklersBuecherTitel WHERE
{ { ?KempersBuecher ex:Autor ?k.
  ?k ex:NachName "Kemper".
  ?KempersBuecher ex:Titel ?KempersOderEicklersBuecherTitel.
} UNION
{ ?EicklersBuecher ex:Autor ?k.
  ?k ex:NachName "Eickler".
  ?EicklersBuecher ex:Titel ?KempersOderEicklersBuecherTitel.
} }
```

SPARQL: Die RDF Anfragesprache

optional

PREFIX ex: <http://www.example.org>

```
SELECT ?KempersBuecherTitel ?KempersBuecherISBN WHERE
{
  ?KempersBuecher ex:Autor ?k.
  ?k ex:NachName "Kemper".
  ?KempersBuecher ex:Titel ?KempersBuecherTitel.
  OPTIONAL { ?KempersBuecher ex:hatISBN
  ?KempersBuecherISBN }
}
```

SPARQL: Die RDF Anfragesprache

filter

```
PREFIX ex: <http://www.example.org>
```

```
SELECT ?KempersBuecherTitel ?KempersBuecherISBN WHERE  
{  
  ?KempersBuecher ex:Autor ?k.  
  ?k ex:NachName "Kemper".  
  ?KempersBuecher ex:Titel ?KempersBuecherTitel.  
  OPTIONAL { ?KempersBuecher ex:hatISBN  
    ?KempersBuecherISBN }  
}
```

SPARQL: Die RDF Anfragesprache

count-Aggregation

PREFIX ex: <http://www.example.org>

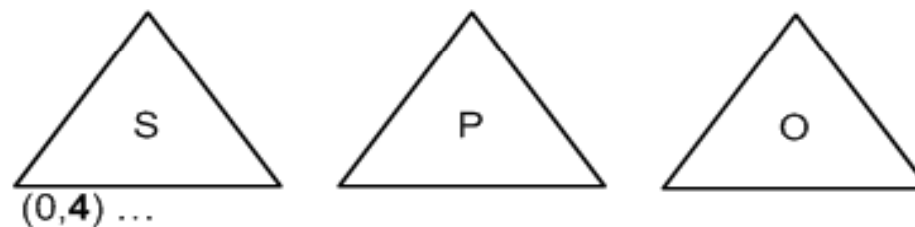
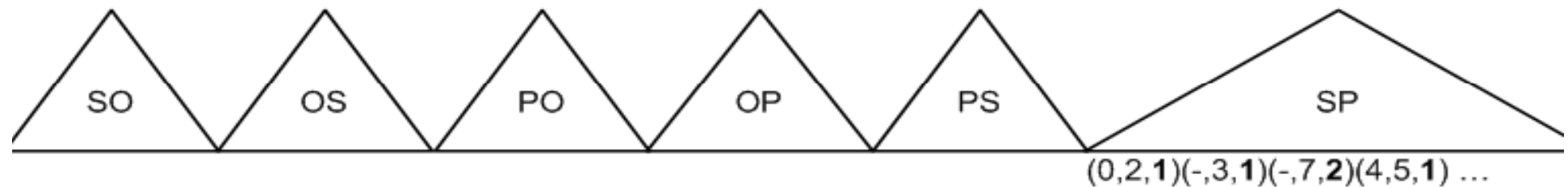
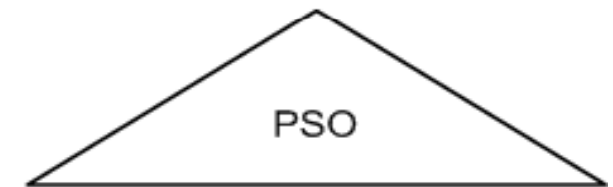
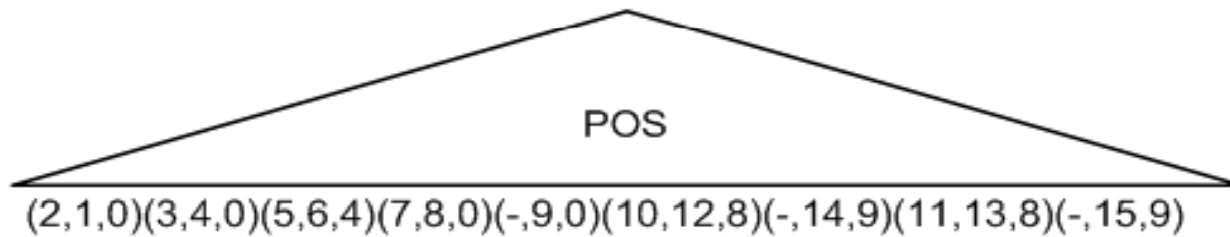
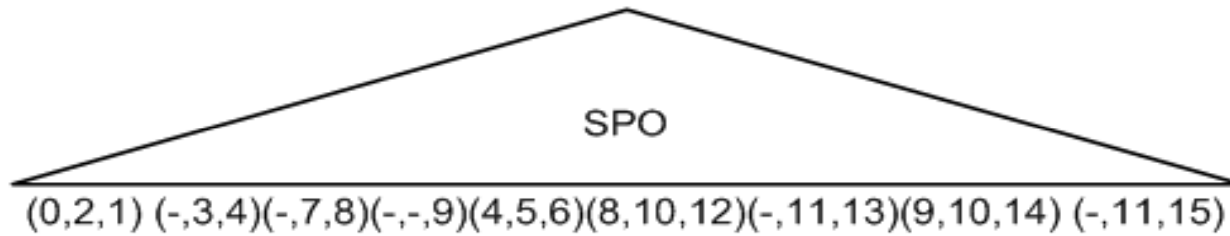
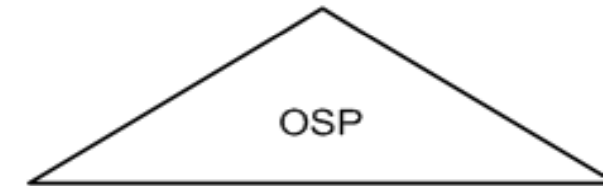
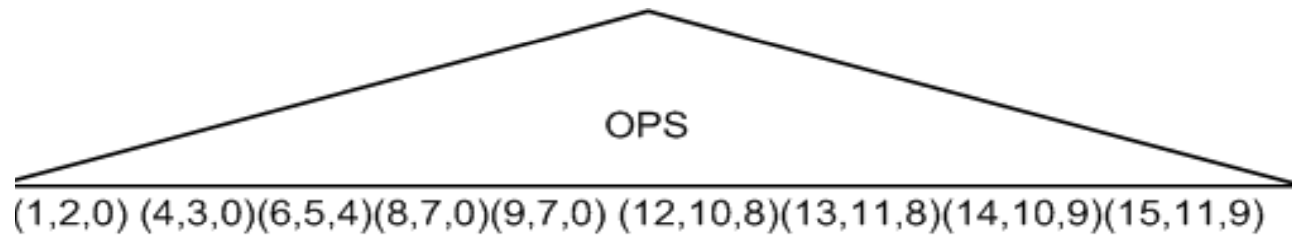
```
SELECT COUNT ?verlag WHERE
{
    ?buch ex:verlegtBei ?verlag.
}
```

Für SQL-affine Leser ist diese Anfrage etwas gewöhnungsbedürftig, da man ja in der Tat die Bücher zählen will. Die SPARQL-Formulierung zielt aber darauf ab, die Anzahl der Vorkommnisse des Musters „**?buch ex:verlegtBei ?verlag**“ für jeden **?verlag** zu zählen.

Implementierung einer RDF-Datenbank: RDF-3X

Dictionary	
Literal/URI	Code
<http://www.example.org/DBMSbuch>	0
Datenbanksysteme: Eine Einführung	1
<http://www.example.org/Titel>	2
<http://www.example.org/verlegtBei>	3
<http://oldenbourg-verlag.de/wissenschaftsverlag>	4
<http://www.example.org/Adresse>	5
D-81671 München	6
<http://www.example.org/Autor>	7
<dummy1>	8
<dummy2>	9
<http://www.example.org/VorName>	10
<http://www.example.org/NachName>	11
Alfons	12
Kemper	13
Andre	14
Eickler	15

B-Bäume ... so viele wie möglich



Kompressionstechnik: Dictionary und Präfix

- Jedes Tripel (s,p,o) wird also genau 6 mal repliziert abgelegt -- allerdings in permutierter Subjekt/Prädikat/Objekt-Reihenfolge, nämlich
 - (p,s,o) , (s,p,o) , (p,o,s) , (o,s,p) , (s,o,p) und (o,p,s) .
- Zusätzlich gibt es noch die sogenannten aggregierten Indexe, die die Anzahl der Vorkommen des jeweiligen Musters repräsentieren. Zum Beispiel bedeutet der Eintrag $(s,o,7)$, dass das Subjekt s siebenmal mit dem Objekt o in einer Beziehung steht -- mit beliebigem Prädikat.
- Das Speichervolumen wird dadurch (dramatisch) reduziert, dass man in den Blättern der Bäume eine Präfix-Komprimierung durchführt. Z.B. wird in dem zweiten Eintrag des SPO-Baums das Subjekt o weggelassen, da es identisch zum ersten Eintrag ist. In dem vierten Eintrag kann sogar die Subjekt- und die Prädikat-Kennung weggelassen werden, da beide identisch zum dritten Eintrag sind

Kompressionstechnik: Dictionary und Präfix

- Es werden aber nicht nur gleiche Präfixe weggelassen; zusätzlich wird auch anstatt des jeweiligen Codes nur die Differenz zum Code des Vorgänger-Tripels gespeichert. Der letzte Eintrag im SPO-Baum würde demnach als $(-,1,1)$ gespeichert, da er in der ersten Komponente identisch zum Vorgänger-Tripel ist, in der zweiten und dritten Komponente ist die Differenz zum Vorgänger-Tripel jeweils 1.
- Diese Kompression ist sehr effektiv, da die Tripel in den Blattknoten ja fortlaufend sortiert sind und sich deshalb immer nur geringfügig vom Vorgänger-Tripel unterscheiden.
- Als Anker für diese Differenz-Kompression wird auf jeder Blatt-Seite immer nur ein vollständiges Tripel, nämlich das Erste, gespeichert.

Anfrageauswertung

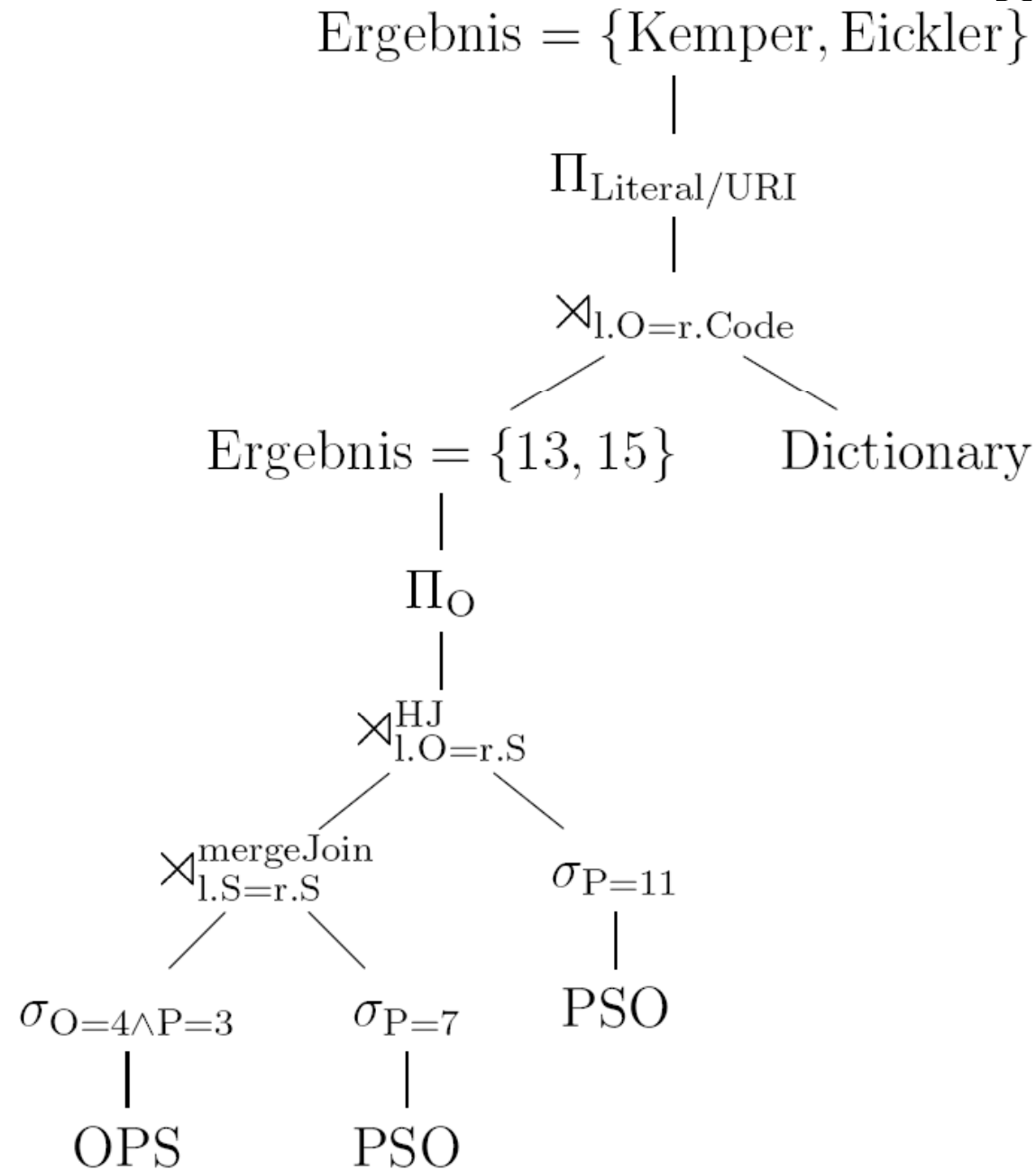
PREFIX ex: <http://www.example.org>

```
SELECT REDUCED ?AutorenDesOldenbourgVerlags WHERE
{ ?buch ex:Autor ?a.
  ?a ex:NachName ?AutorenDesOldenbourgVerlags.
  ?buch ex:verlegtBei <http://oldenbourg-
    verlag.de/wissenschaftsverlag>.
}
```



```
SELECT REDUCED ?AutorenDesOldenbourgVerlags WHERE
{ ?buch 7 ?a.
  ?a 11 ?AutorenDesOldenbourgVerlags.
  ?buch 3 4.
}
```

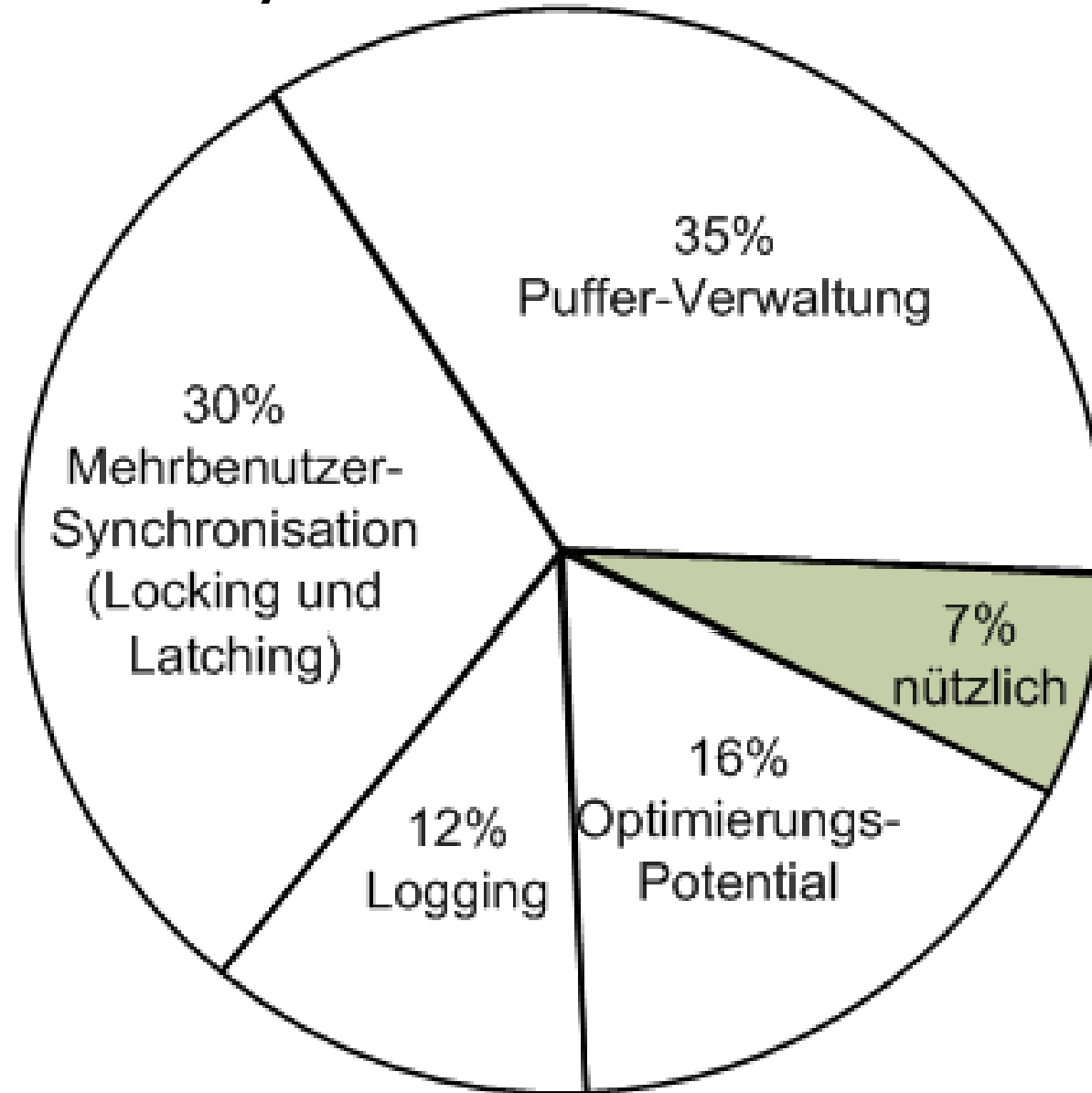
Merge-Joins ... so weit das Auge reicht ...



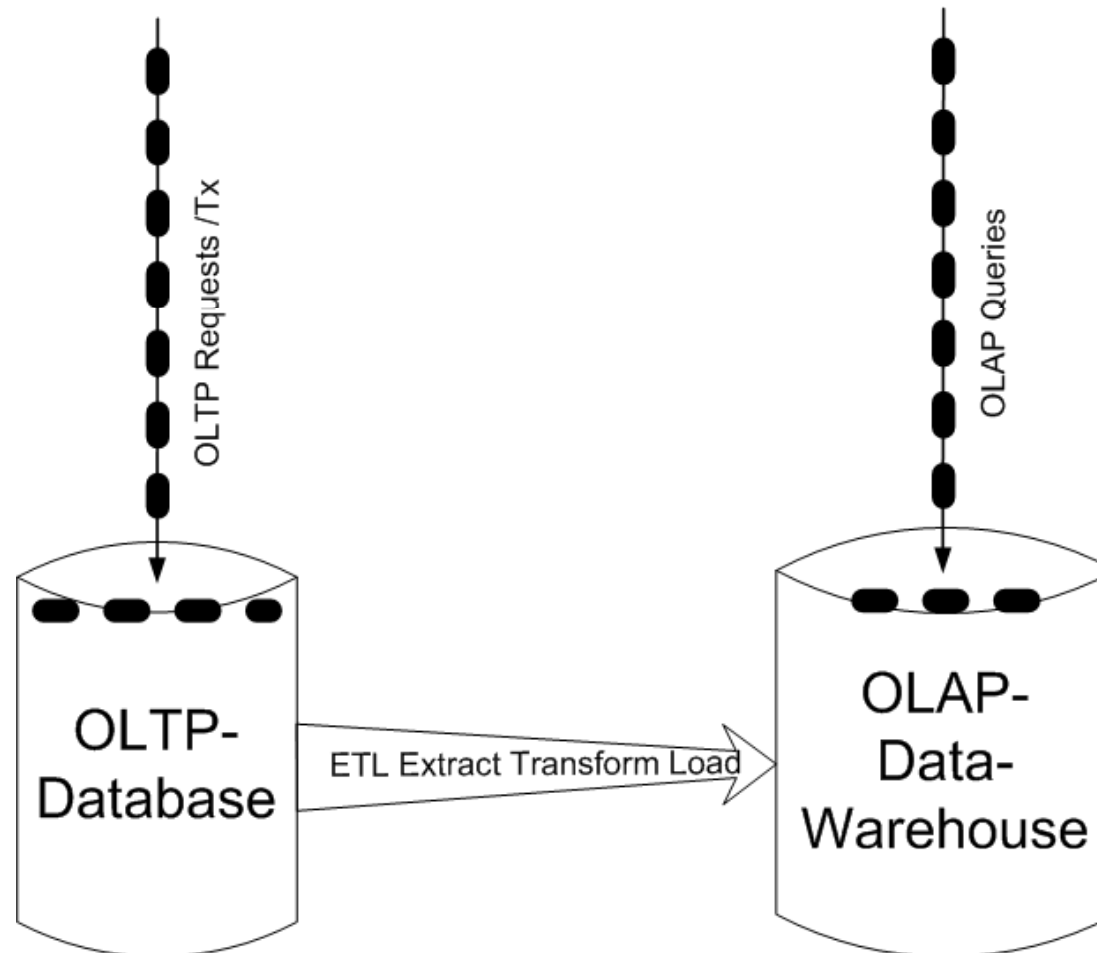
Hauptspeicher-Datenbanksysteme

- Disk is Tape, Tape is dead ... Jim Gray
- Die Zeit ist reif für ein Re-engineering der Datenbanksysteme
- Man kann heute für 40000 Euro einen Datenbankserver mit 1 TeraByte Hauptspeicher kaufen

Profiling eines klassischen Datenbanksystems

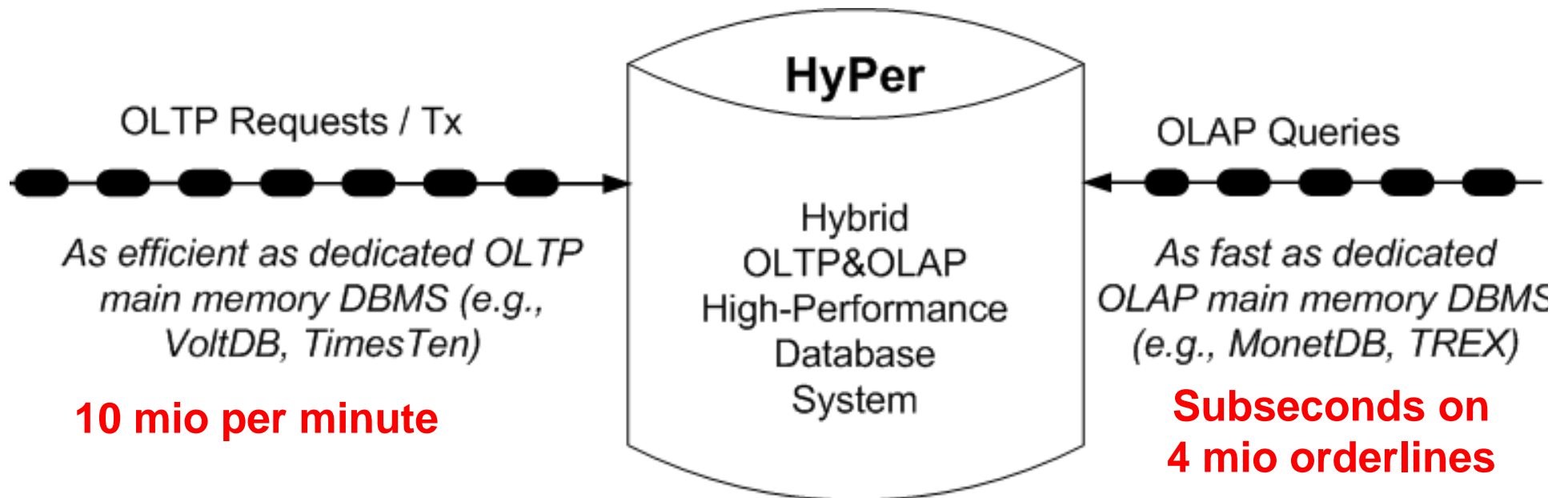


State of the Art: Separate Transaction (OLTP) and Query (OLAP) Systems



Goal: Real Time Business Intelligence

→ Querying the Transactional Data



Feasibility: Main Memory DBMS

● Amazon

● Data Volume

- Revenue: 15 billion Euro
- Avg. Item Price: 15 Euro
- 1 billion order lines per year
 - 54 Bytes per order line
 - 54 GB per year
 - + additional data
 - - compression

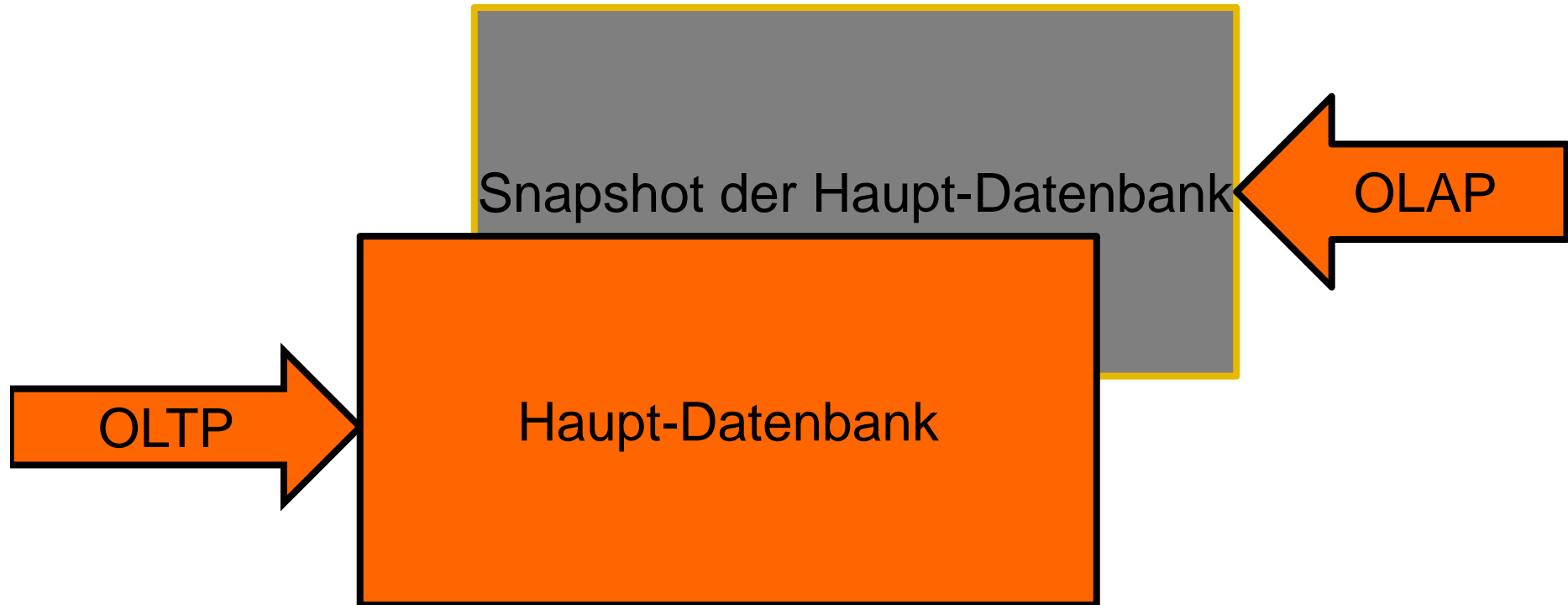
● Transaction Rate

- Avg: 32 orders per s
- Peak rate: Thousands/s
- + inquiries

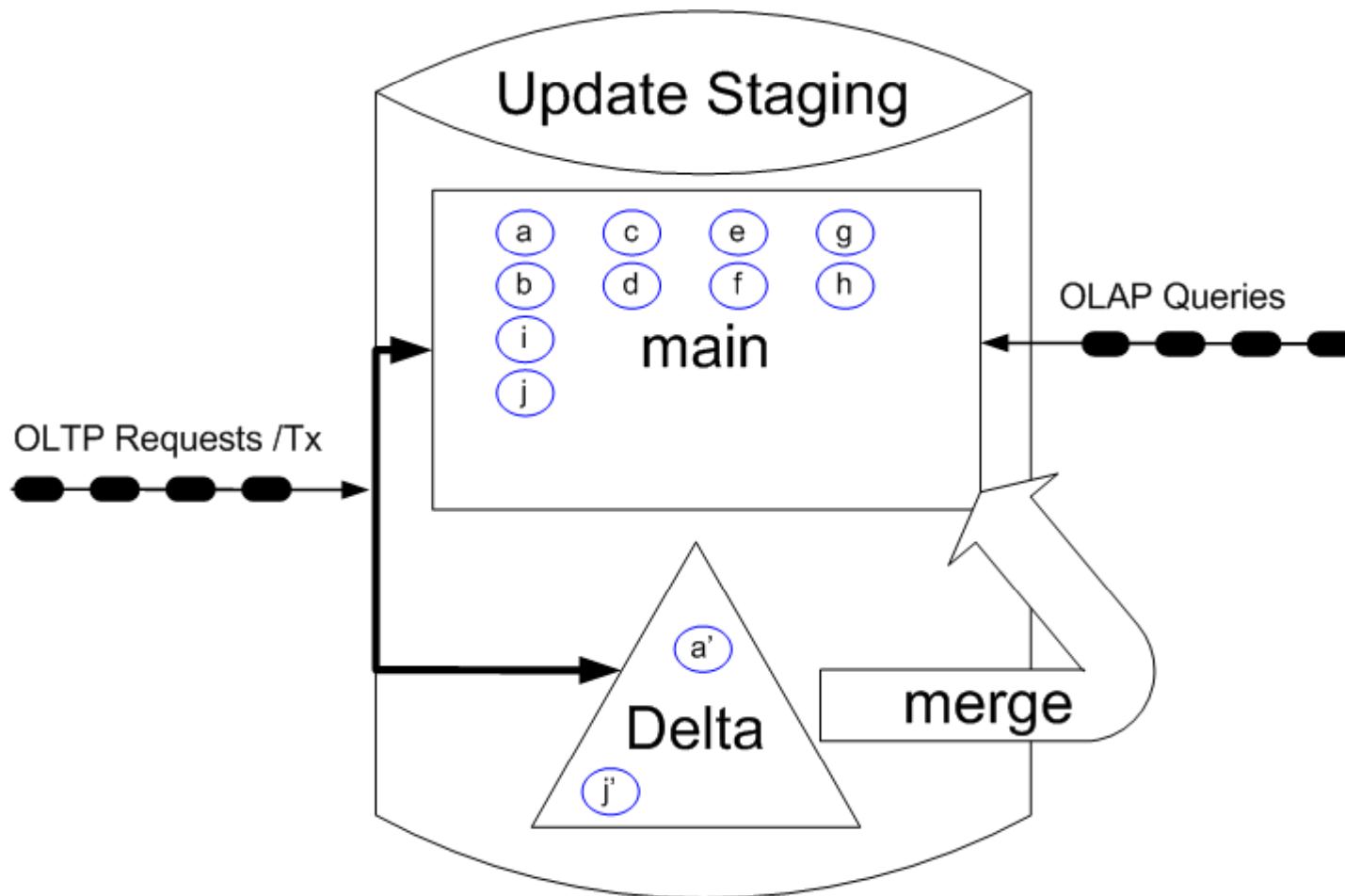
● Intel

- Tera Scale Initiative
- Server with several TB main memory
- We just ordered one from Dell for 49 K Euro
- Main Memory capacity will grow faster than Customers' Needs
- Cf. RAMcloud-project at Stanford
 - Ousterhoud et al.

Snapshots für Anfragen

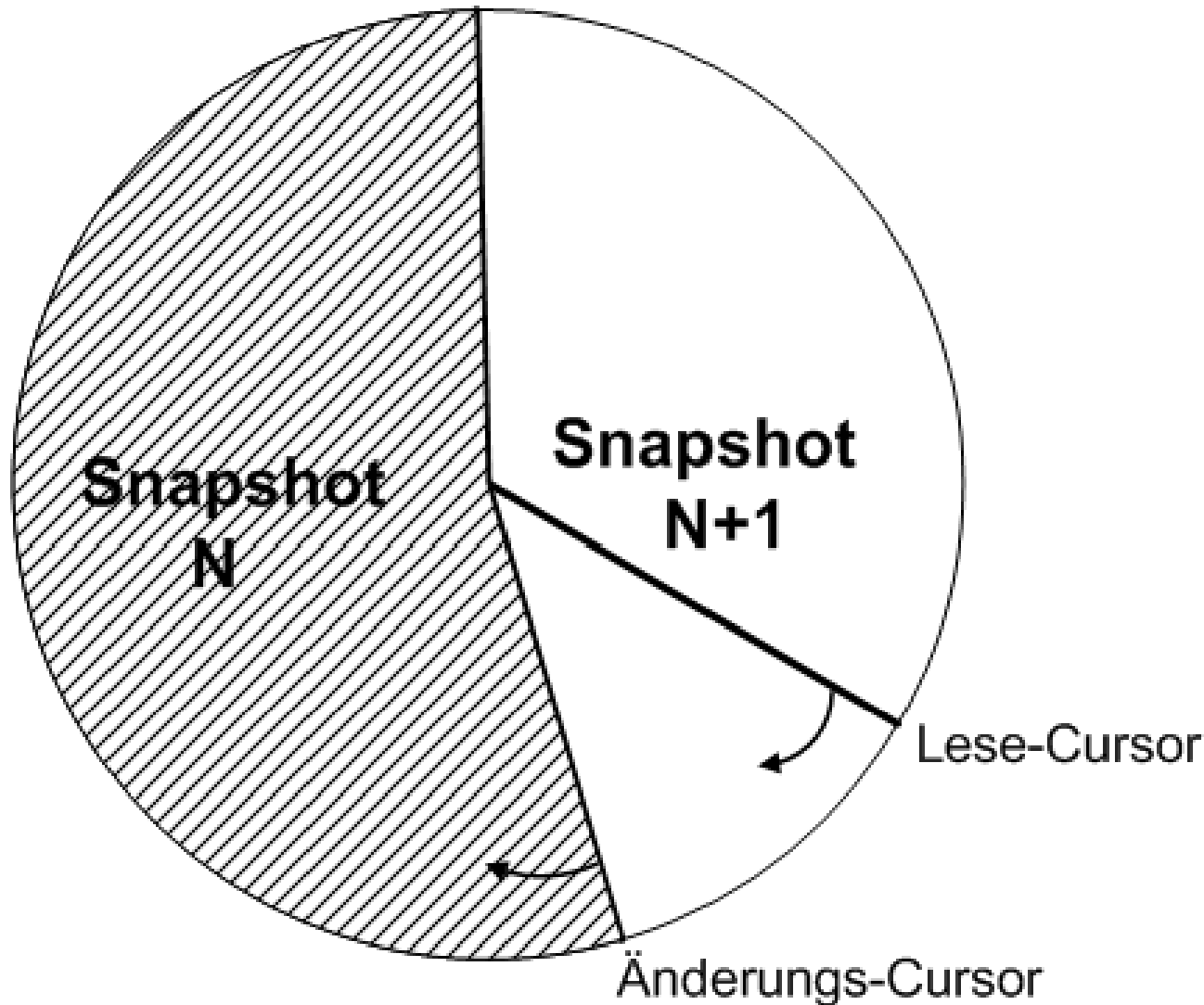


Update Staging: In vielen Systemen verwendet, zB. NewDB von SAP

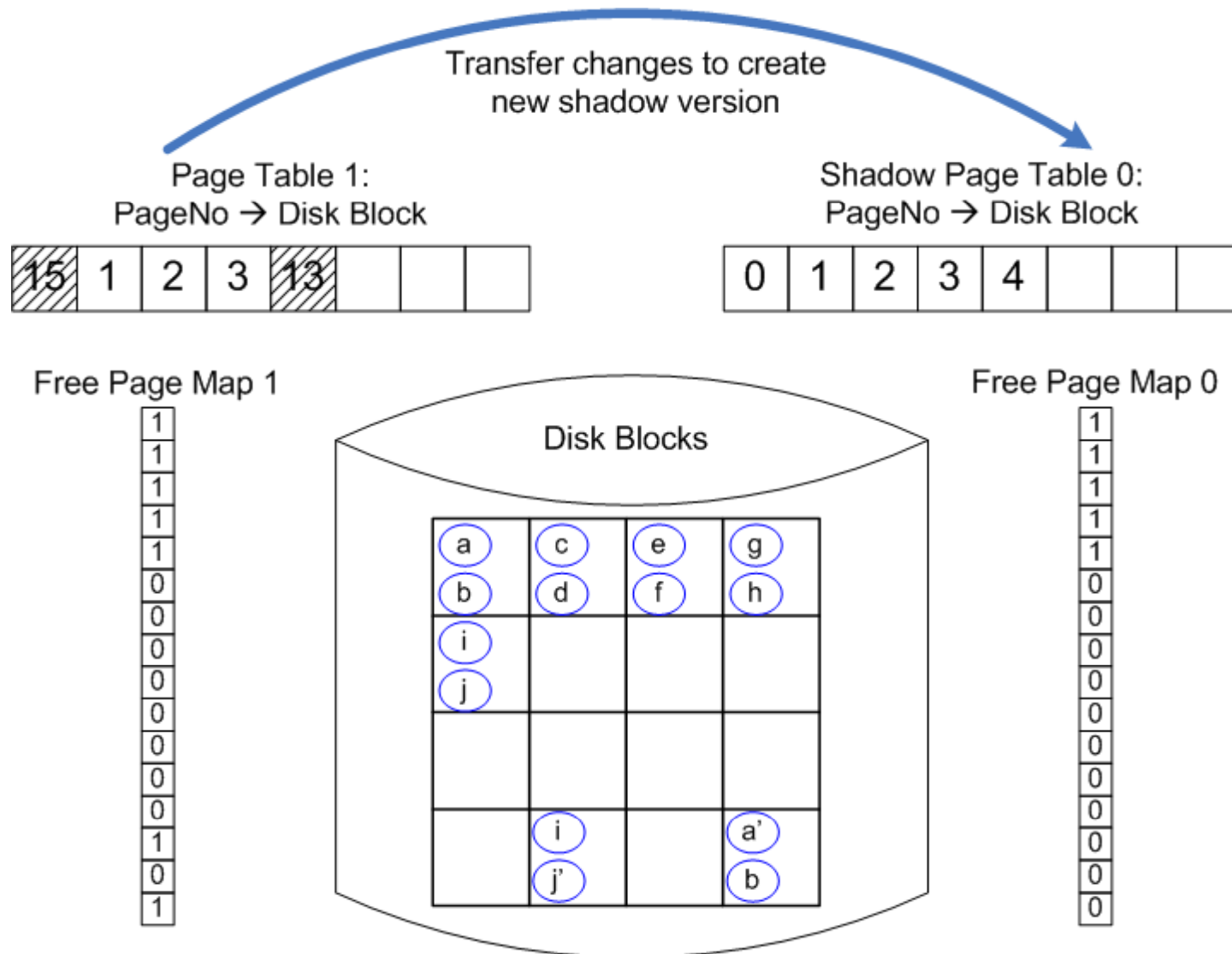


Scan-only Datenbanken: ISAO von IBM oder Crescando von der ETHZ

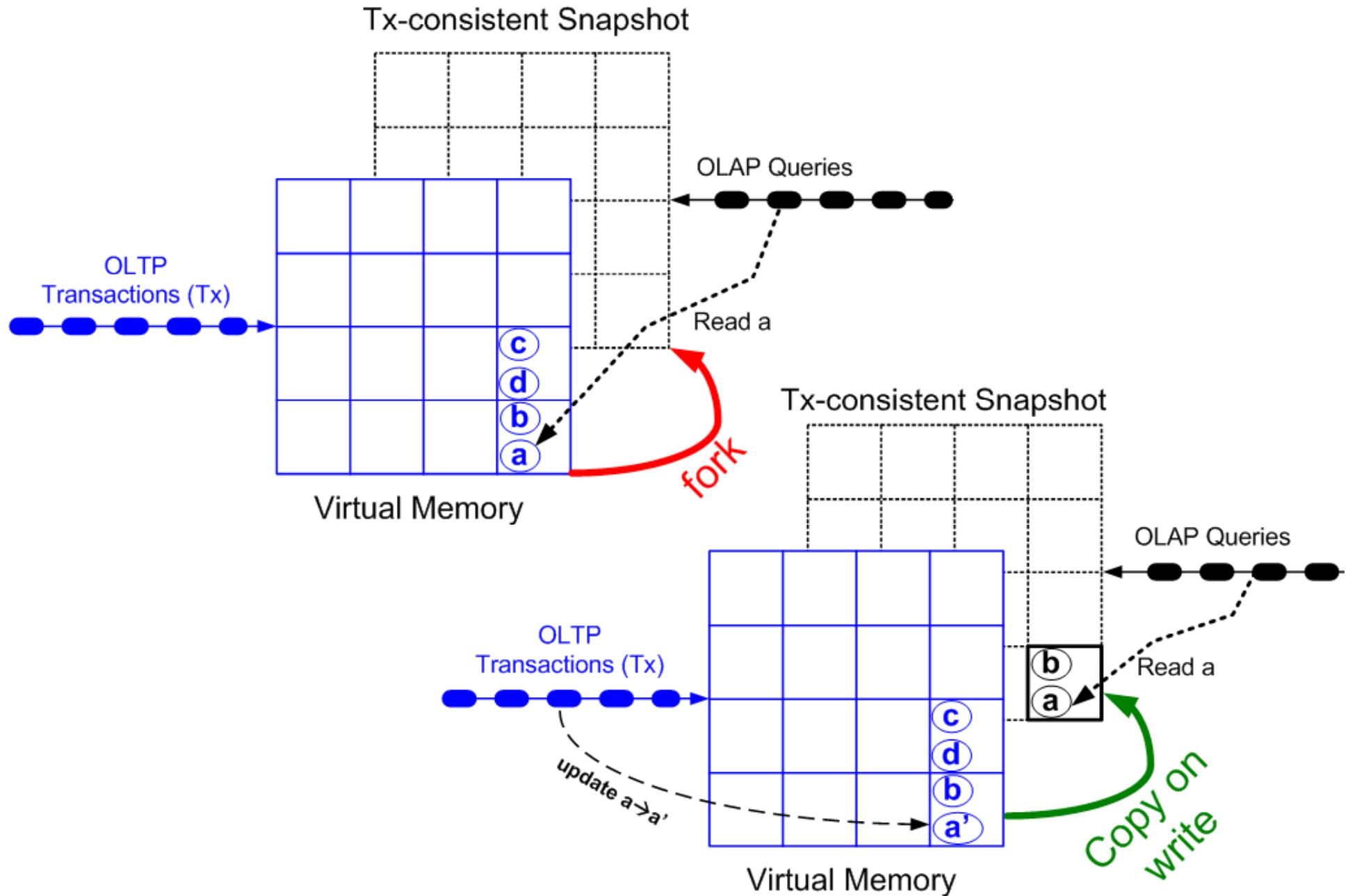
Datensatz 0



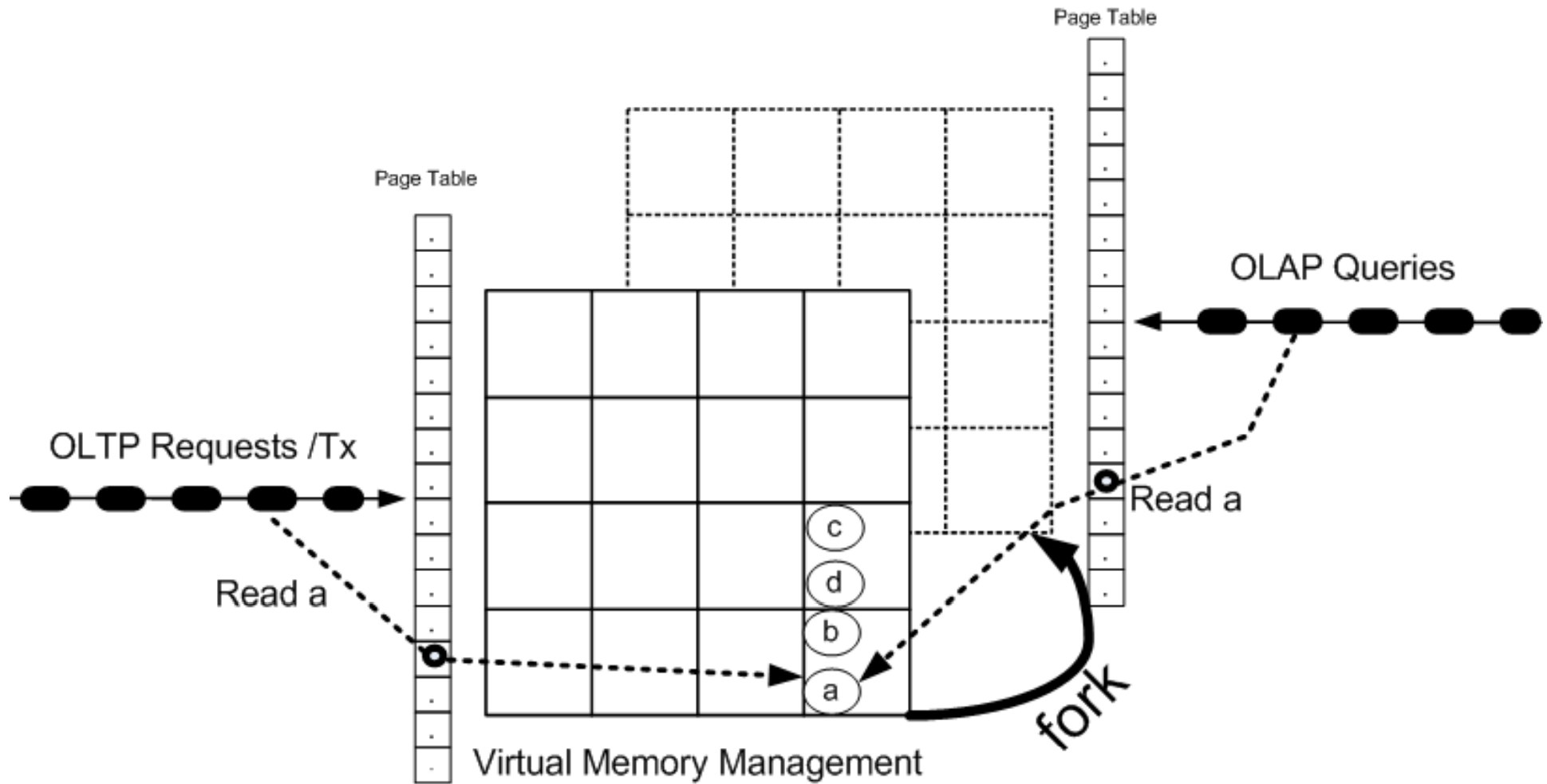
Ursprüngliches Schattenspeicher-Verfahren: Lorie77 für IBM System R



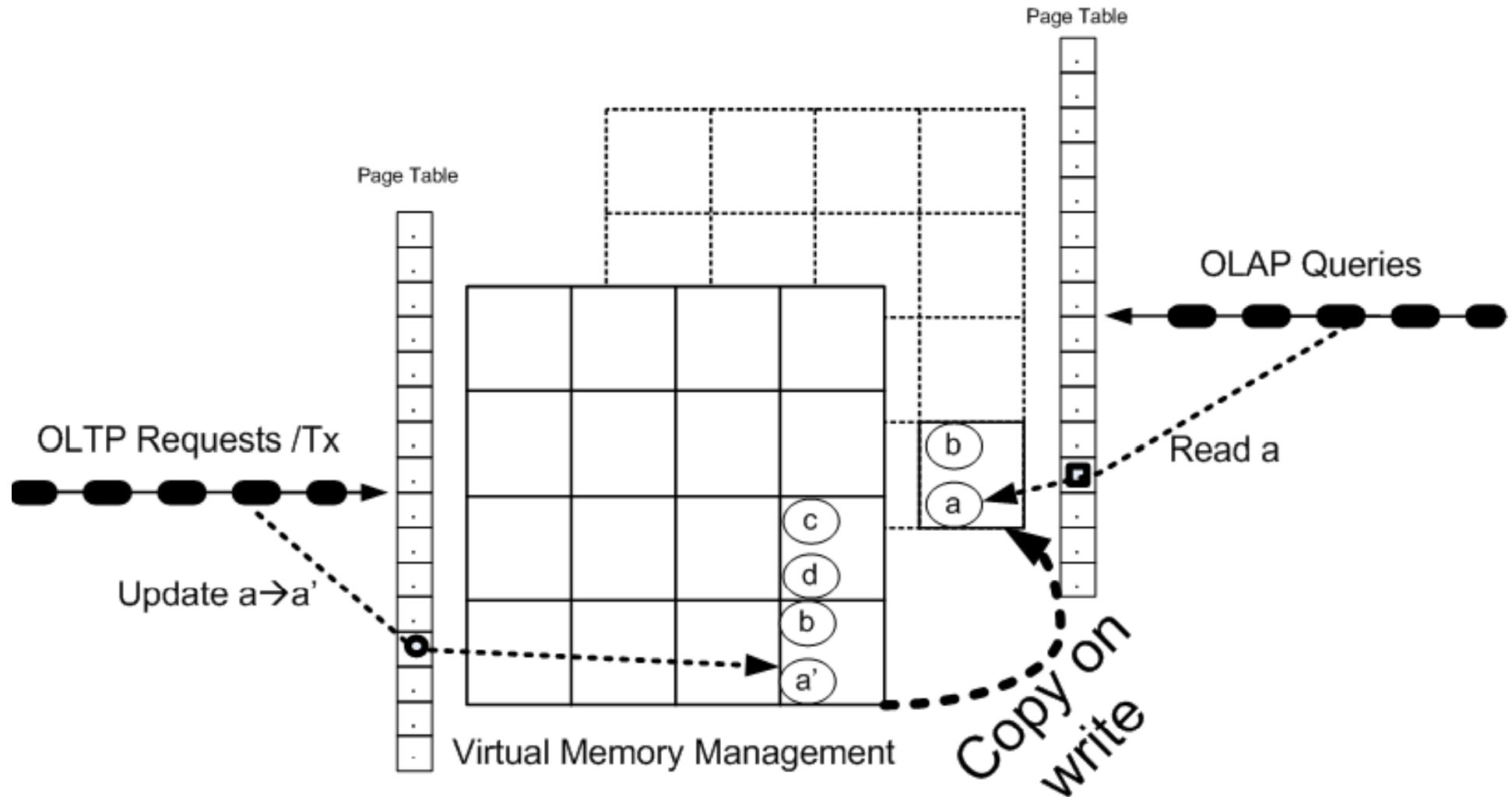
Snapshotting Virtual Memory: fork



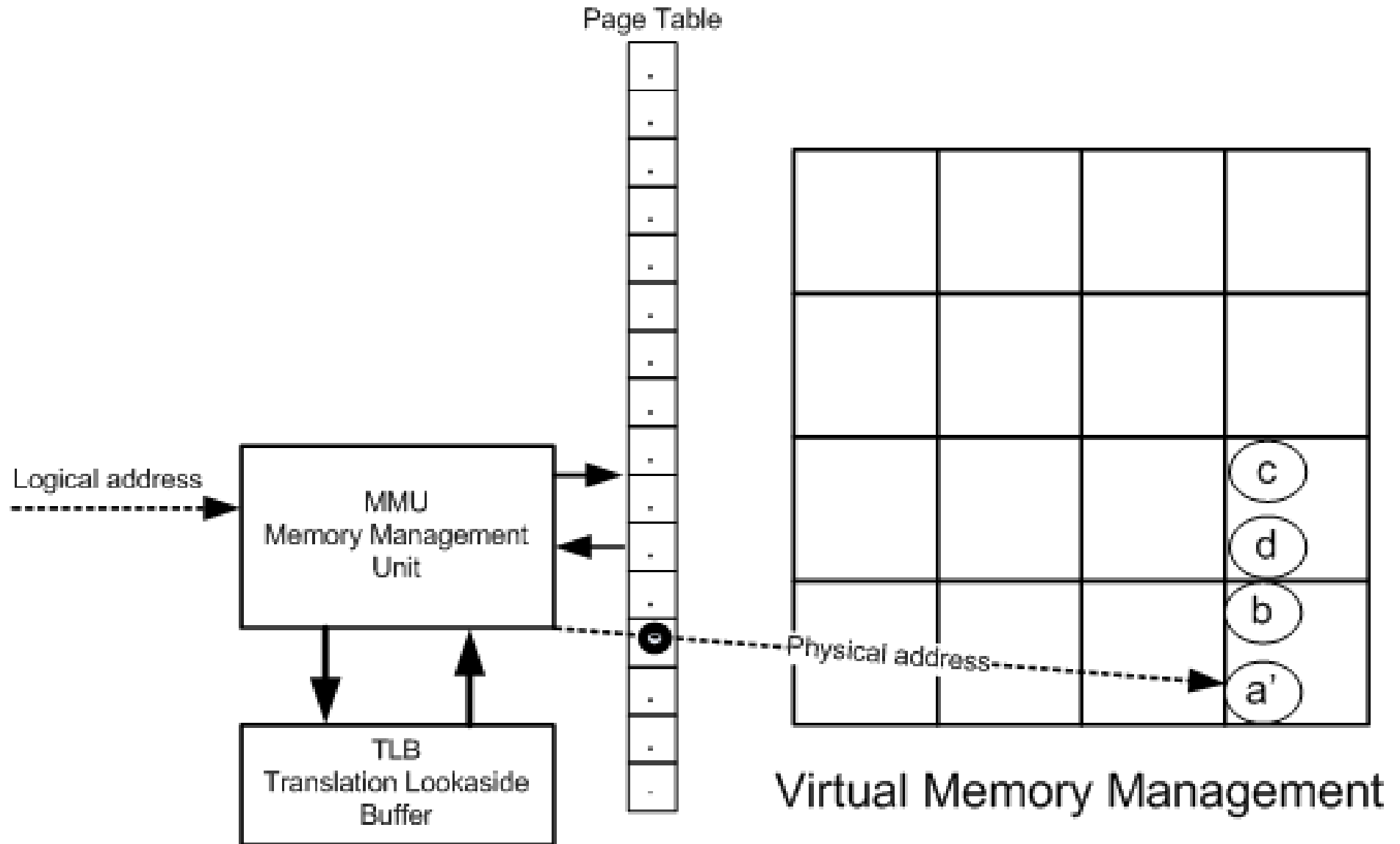
Snapshotting via fork-ing: Details



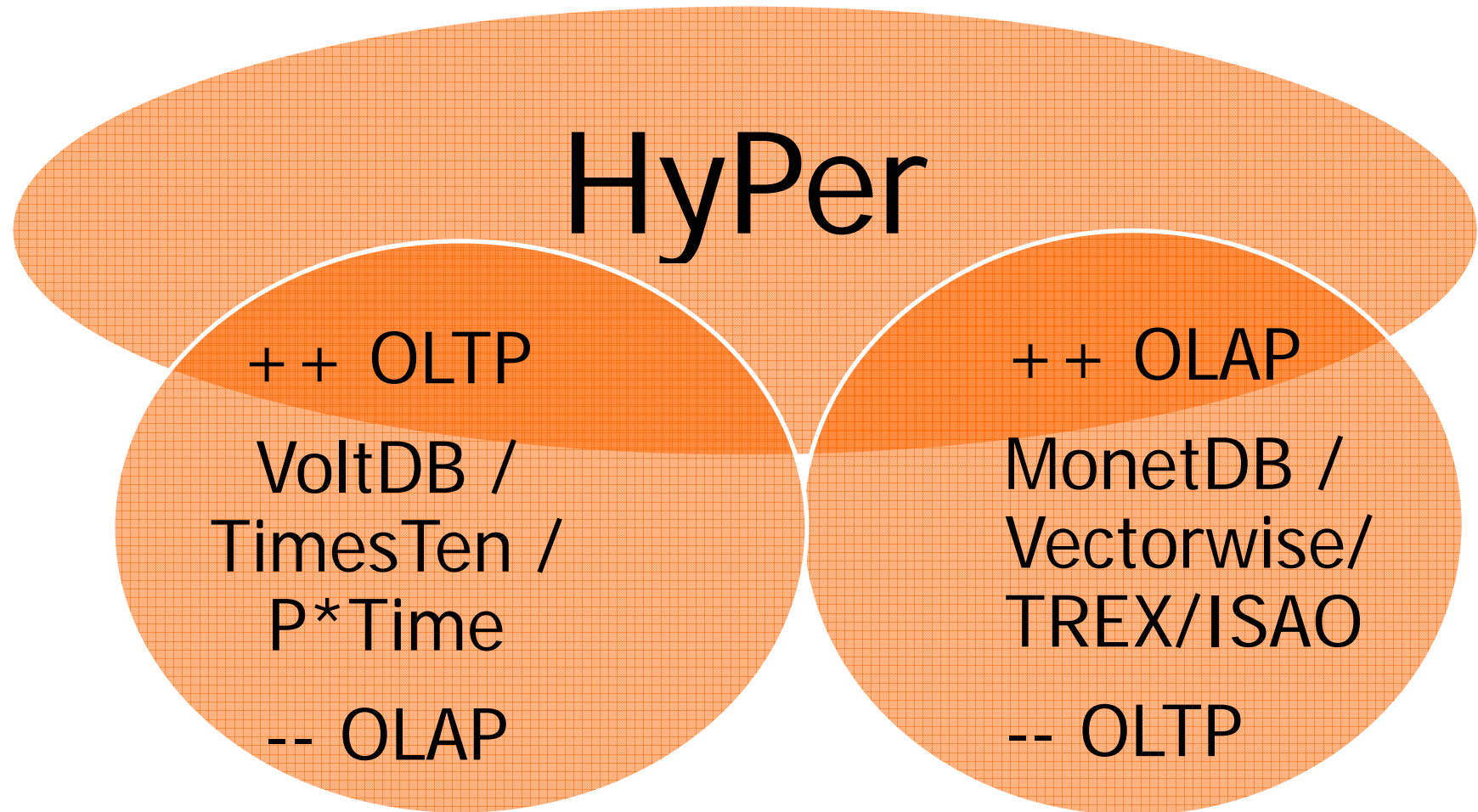
Snapshot Maintenance: copy on write

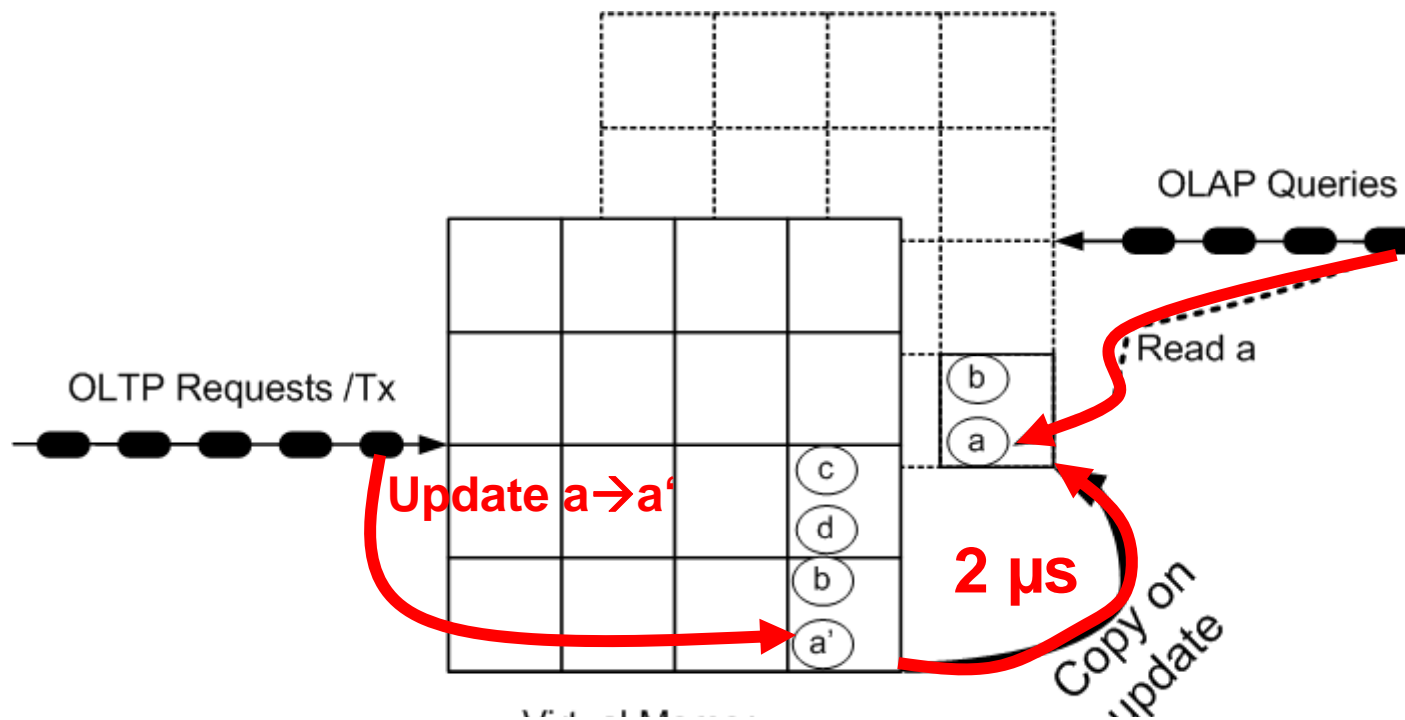
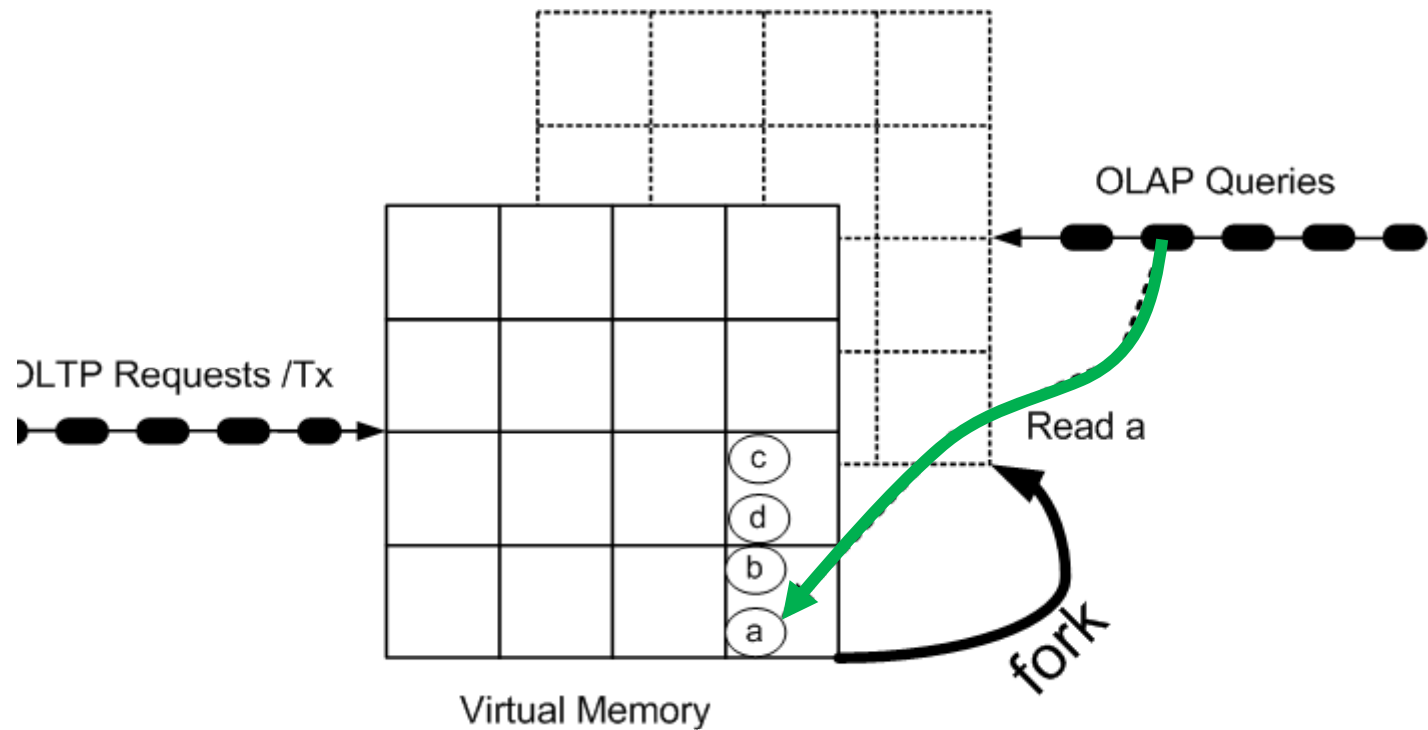


Fast because of Hardware-Support: MMU

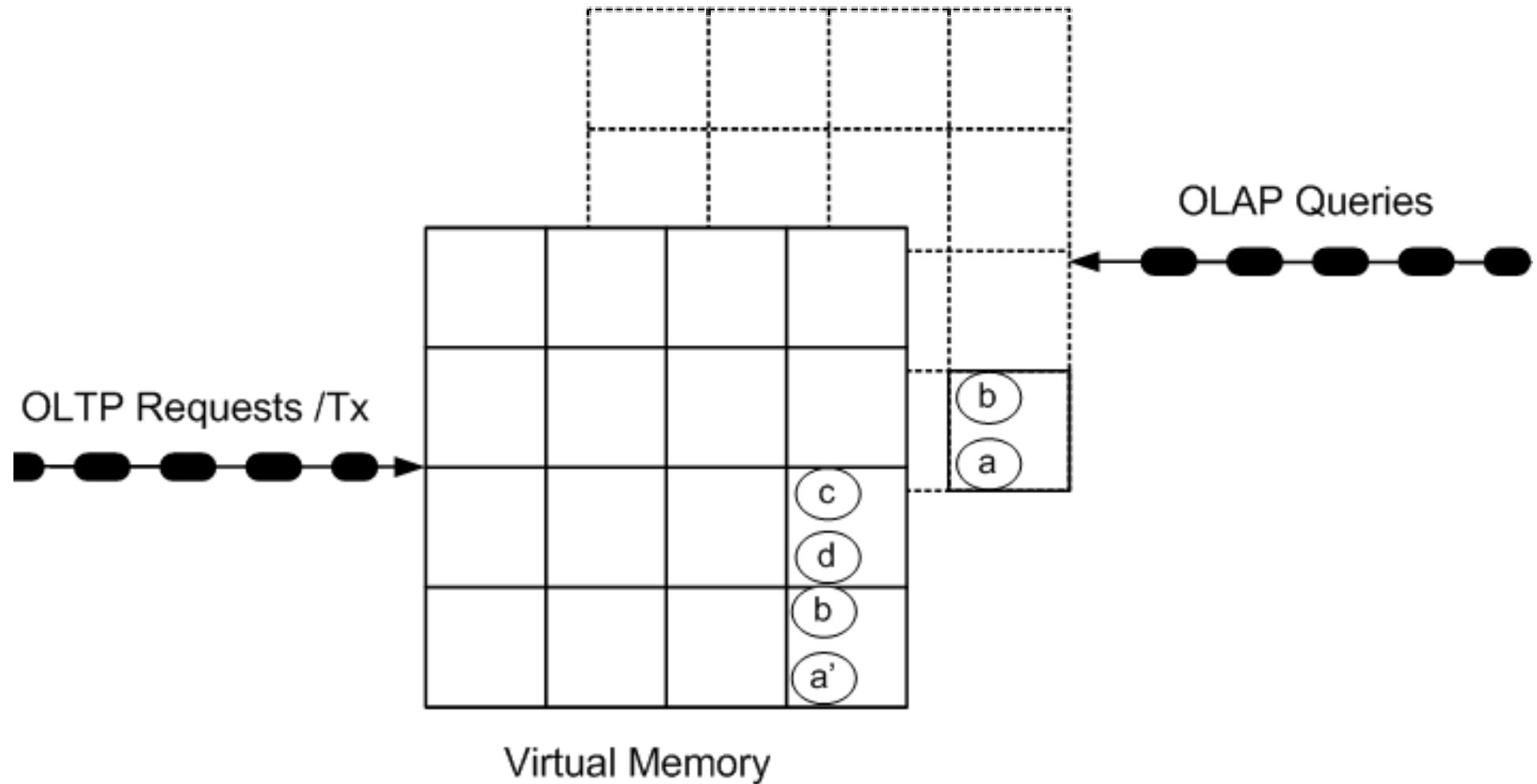


The Best of Both Worlds ...

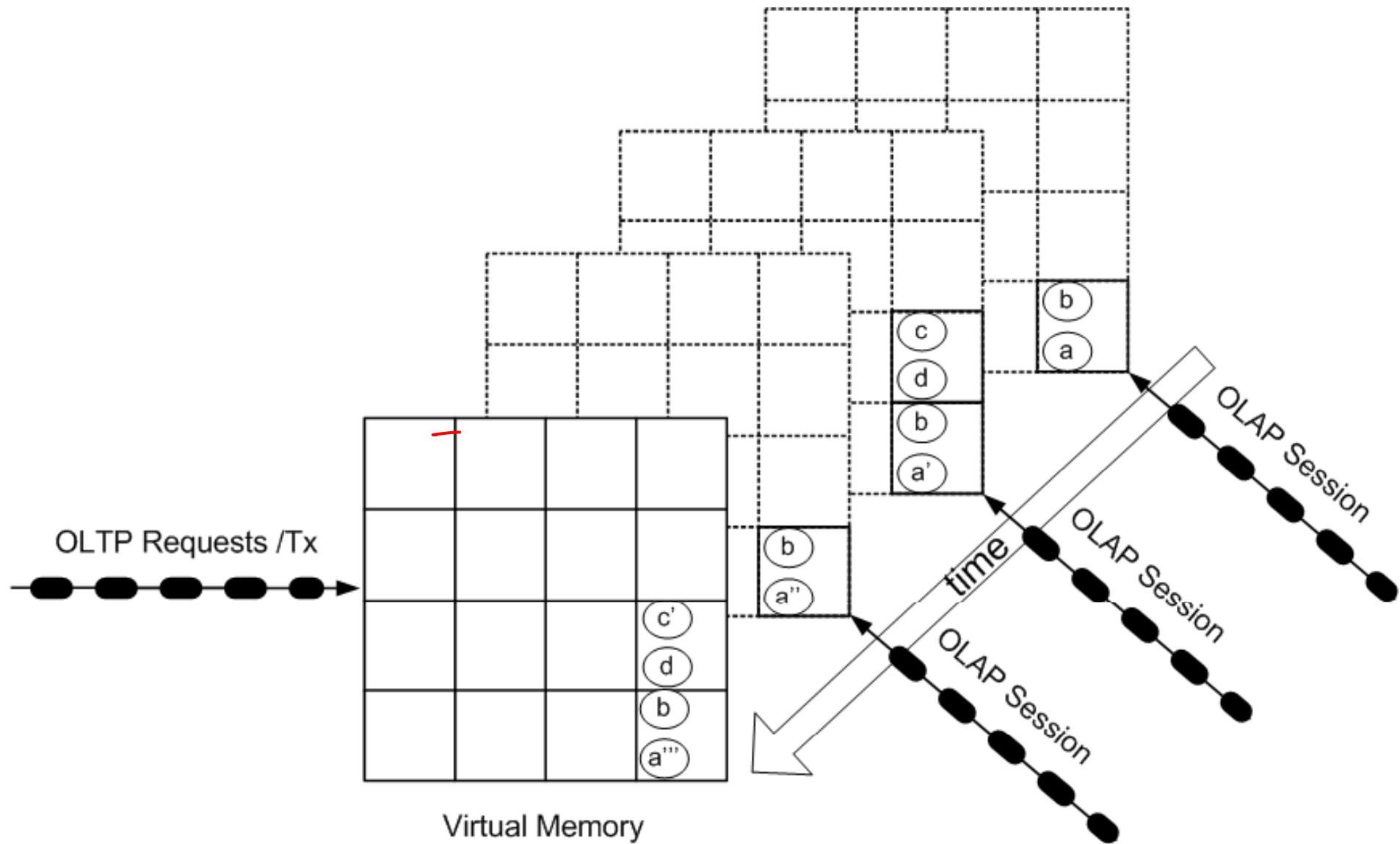




OLAP Queries on Tx-Consistent Snapshots



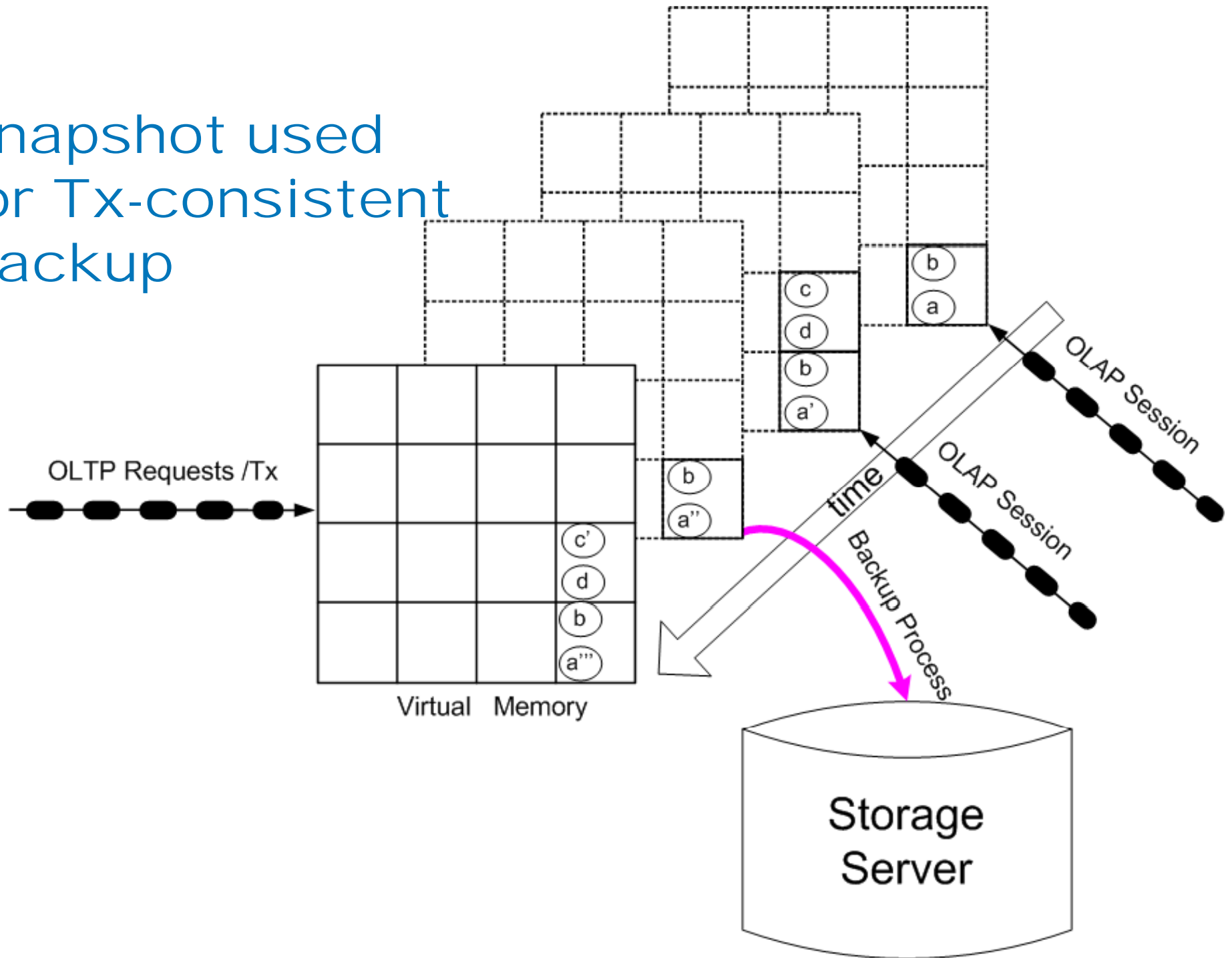
Multiple Query Sessions



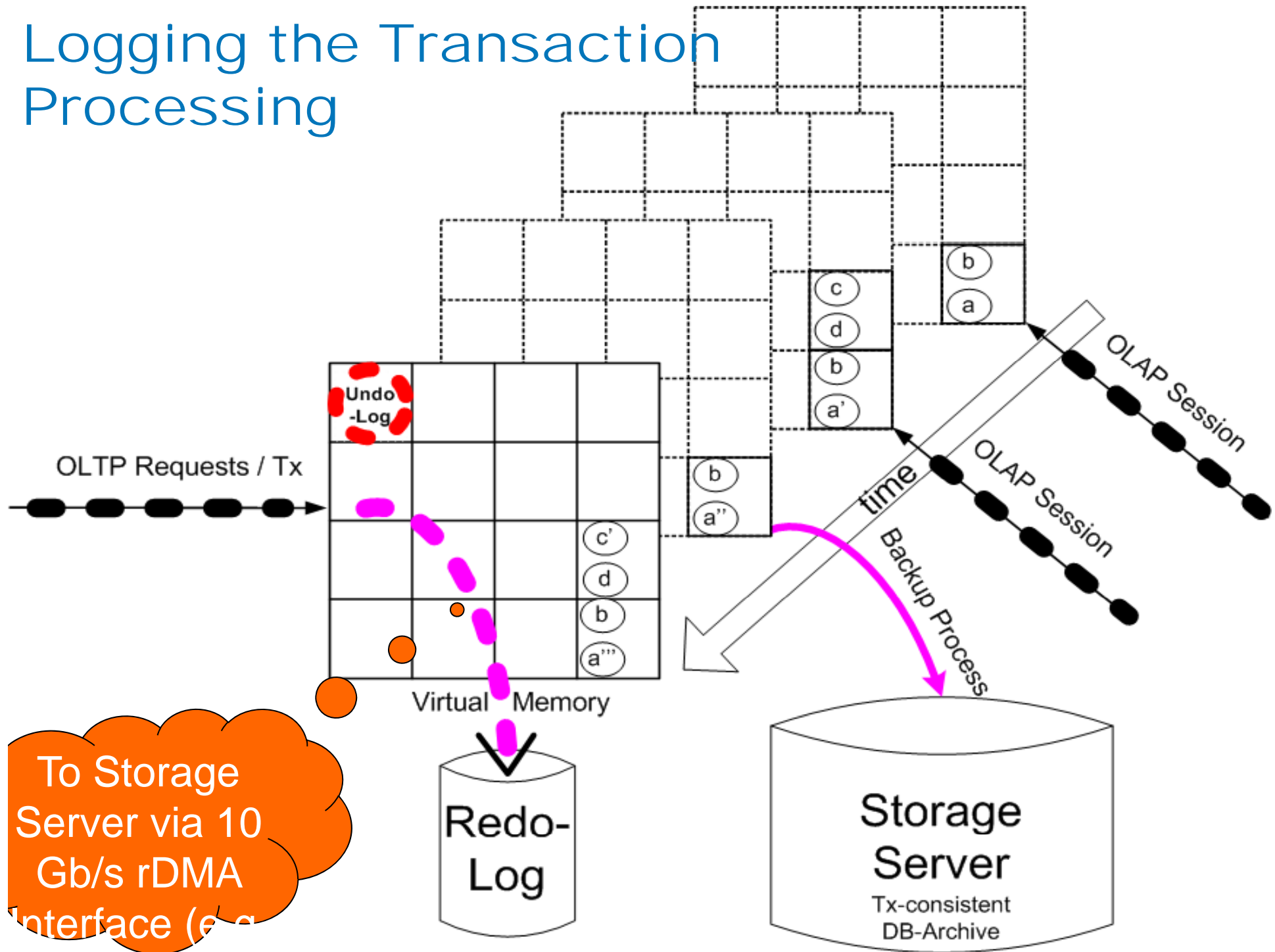
Synchronization-Assertions

- Serializability of the OLTP Transactions
 - What else if executed serially
 - We support full ACID → see coming slides
- Snapshot isolation of the OLAP queries
 - Multi-version mixed synchronization method
 - Several OLAP queries form one Tx = OLAP Session
 - Bernstein, Hadzilacos, Goodman: Chapter 5.5

Snapshot used for Tx-consistent Backup

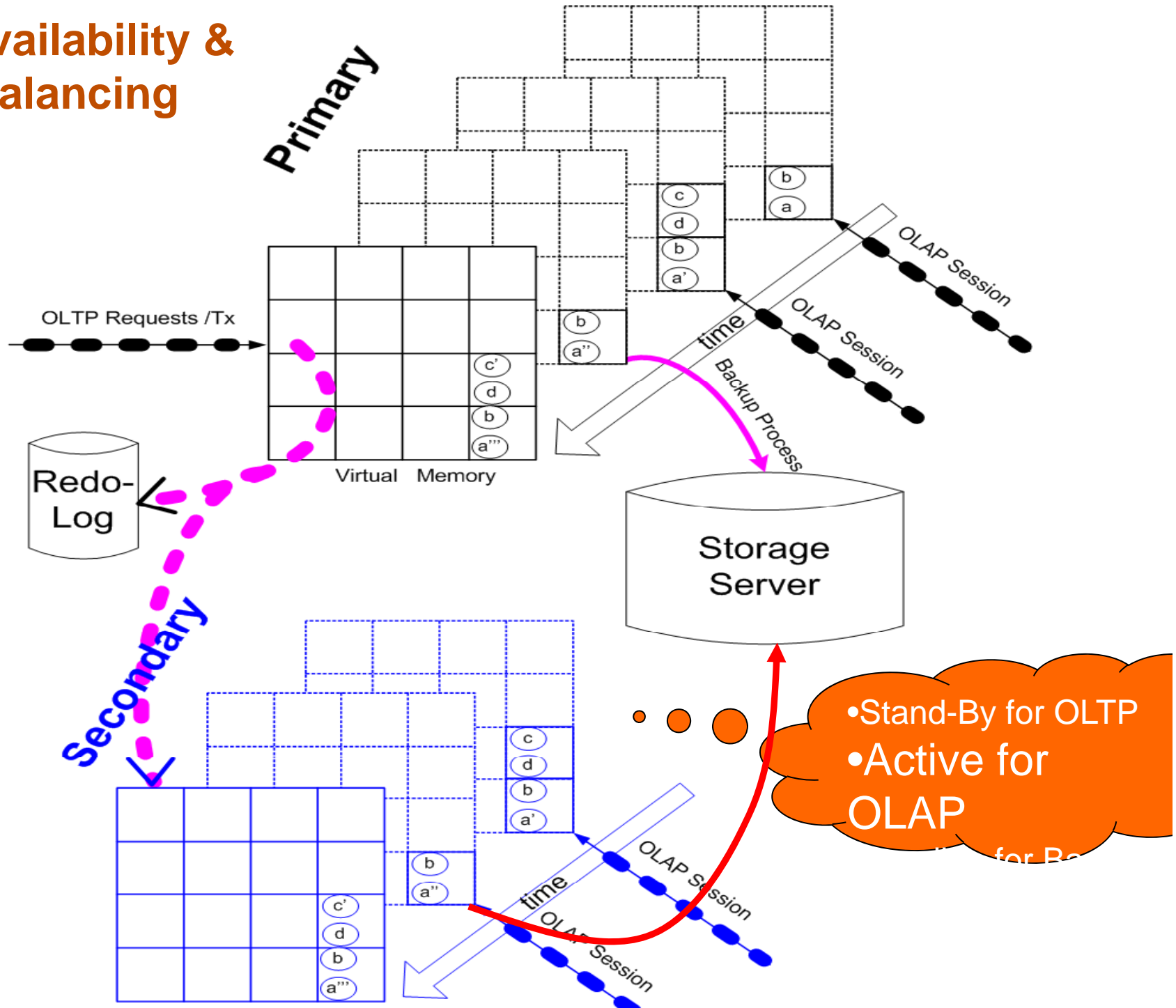


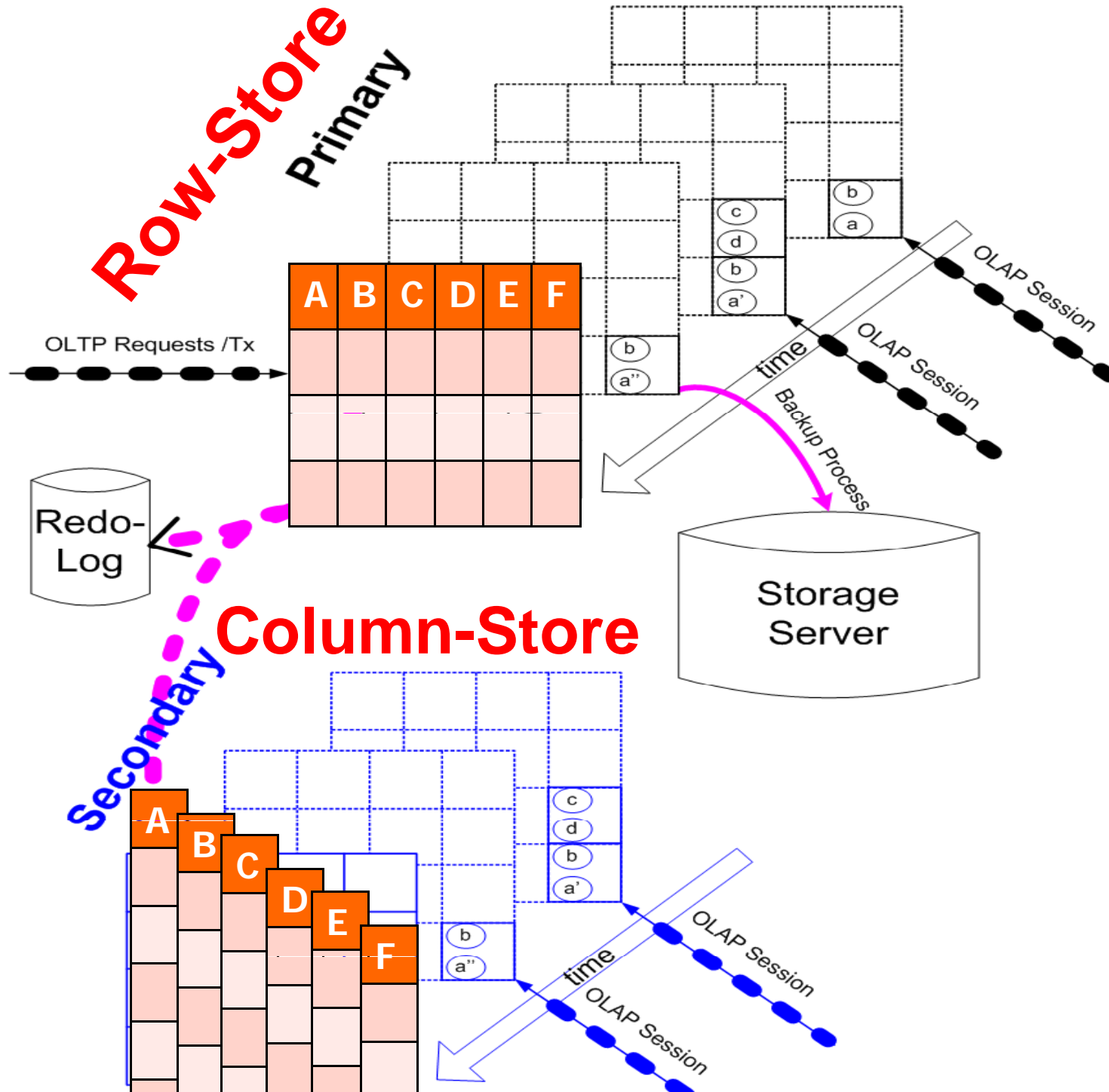
Logging the Transaction Processing



To Storage Server via 10 Gb/s rDMA Interface (e.g.)

High Availability & Load Balancing

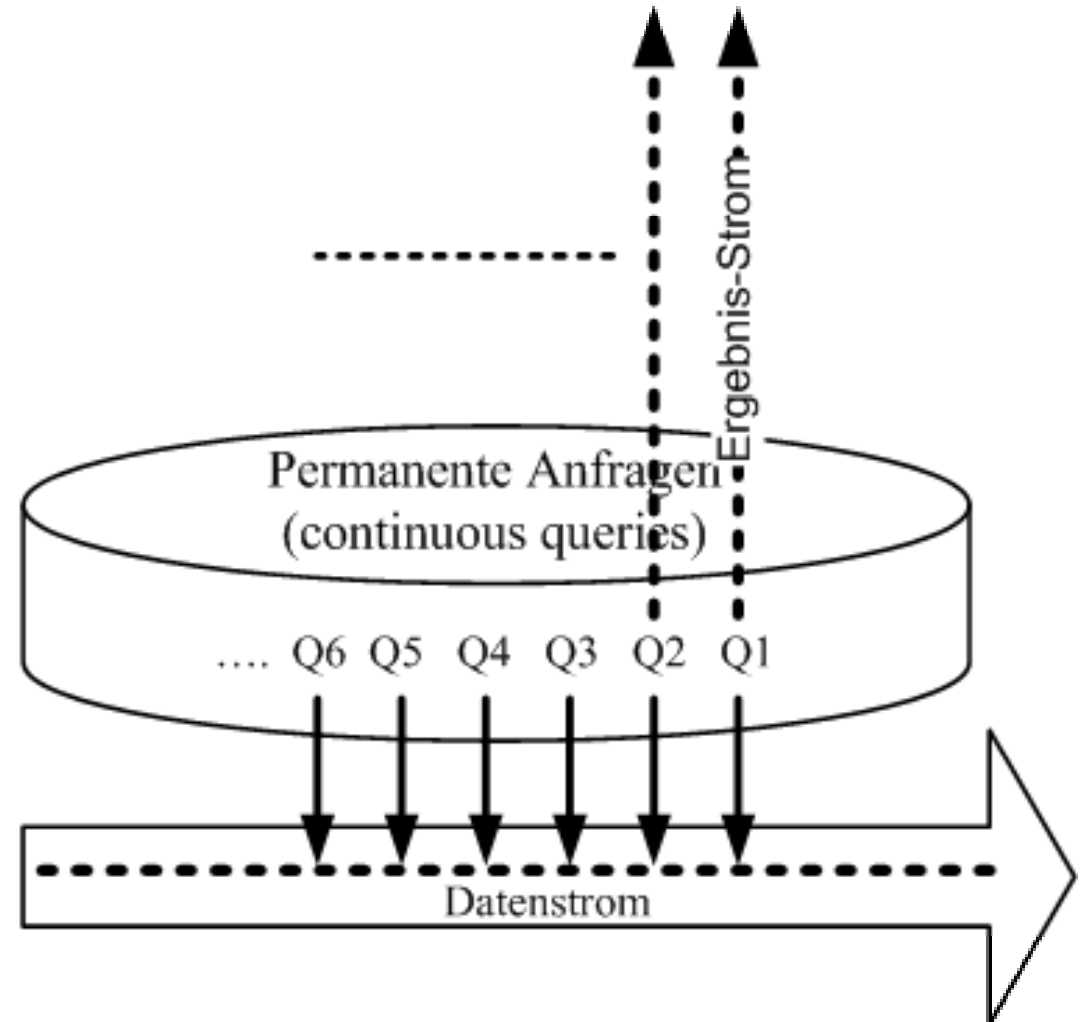
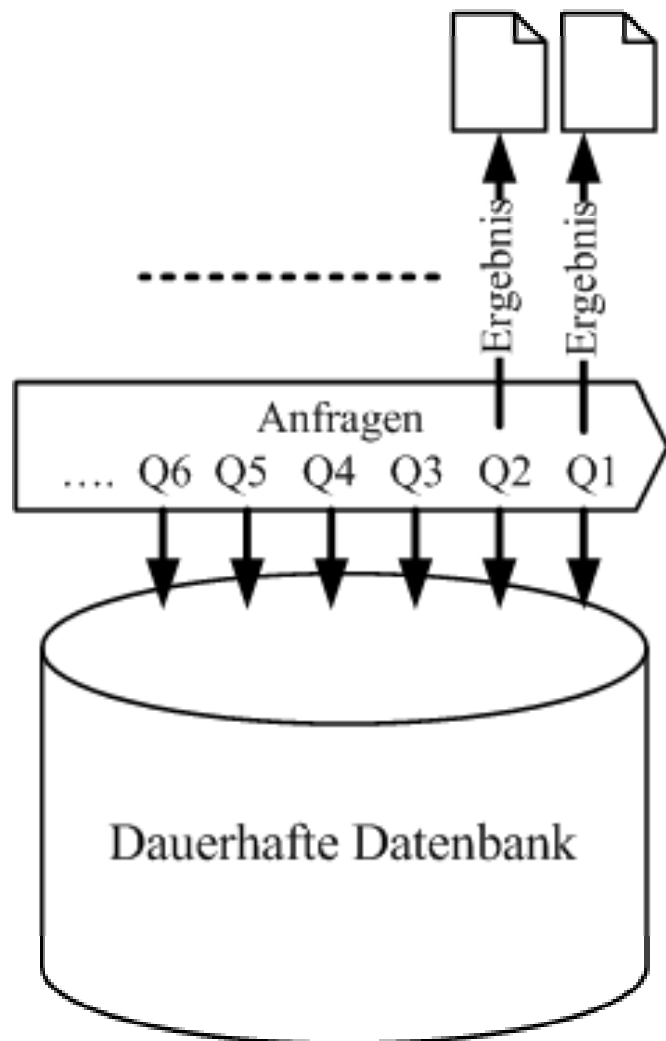




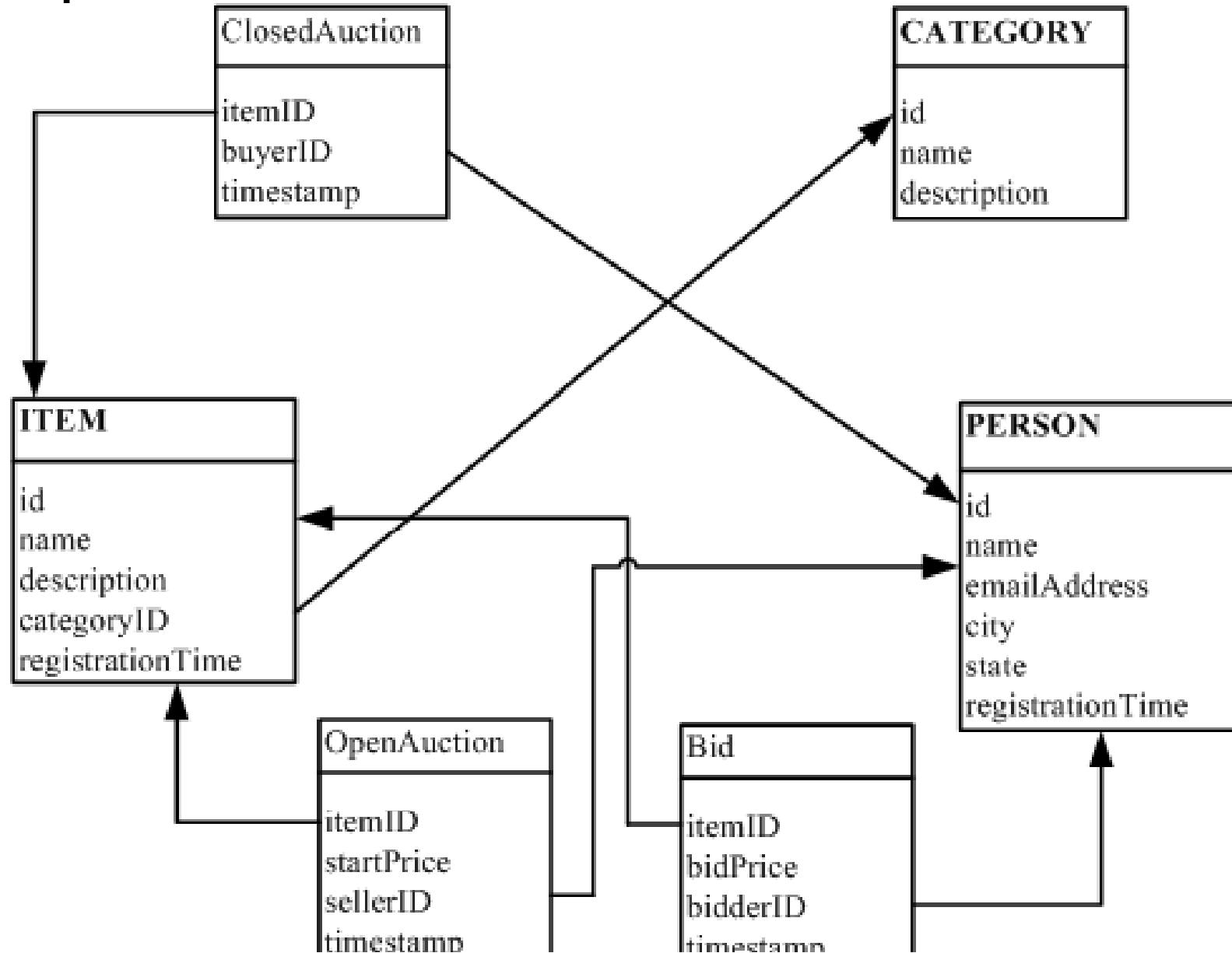
Datenströme

- RFID-Leser, die in der Nähe befindliche („vorbeikommende“) RFID-Tags (Radio Frequency IDentifiers) lesen. Diese Sensoren emittieren Tripel der Art (ReaderID, EPC-Code, TimeStamp), wobei der EPC-Code (electronic product code) eine eindeutige Warenkennzeichnung darstellt.
- Umweltsensoren, um Klimadaten zu ermitteln.
- Börsenticker emittieren die jüngsten Aktienkurse basierend auf den letzten Handelstransaktionen.
- Kameras und andere Sensoren liefern kontinuierliche Informationen über bewegliche Objekte wie z.B. Autos, Menschen, etc.
- Fast alle Menschen liefern über ihr Handy kontinuierlich Daten über ihr Bewegungsmuster. Manche Personen machen es den interessierten Unternehmen noch einfacher, ein präzises Bewegungsmuster via GPS-Daten zu erstellen.

Datenbank versus Datenstrom



Beispiel-Datenstrom



Datenstrom-Definition und einfache Anfrage

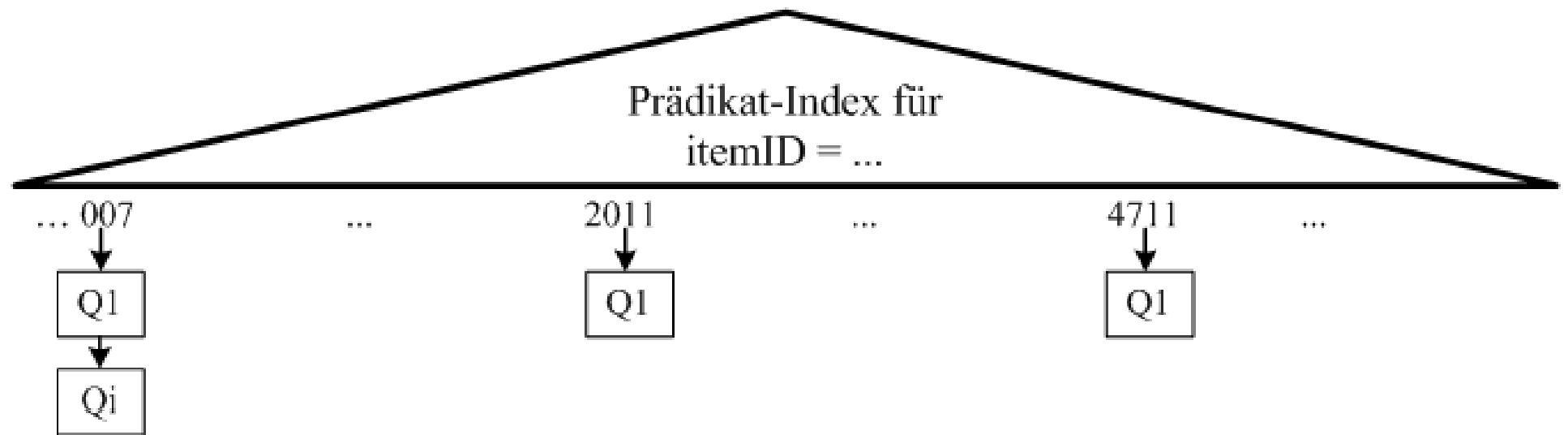
```
create stream OpenAuction(itemID int, sellerID int,  
                           startPrice real, time timestamp)  
source establishConnection('port4711' , 'converter')  
ordered by time;
```

```
select itemID, DollarToEuro(bidPrice), bidderID  
from Bid
```

Subskriptions-Anfrage

```
Q1: select *  
      from Bid  
      where itemID = 4711 or itemID = 007 or itemID = 2011 or ...
```

Prädikat-Index

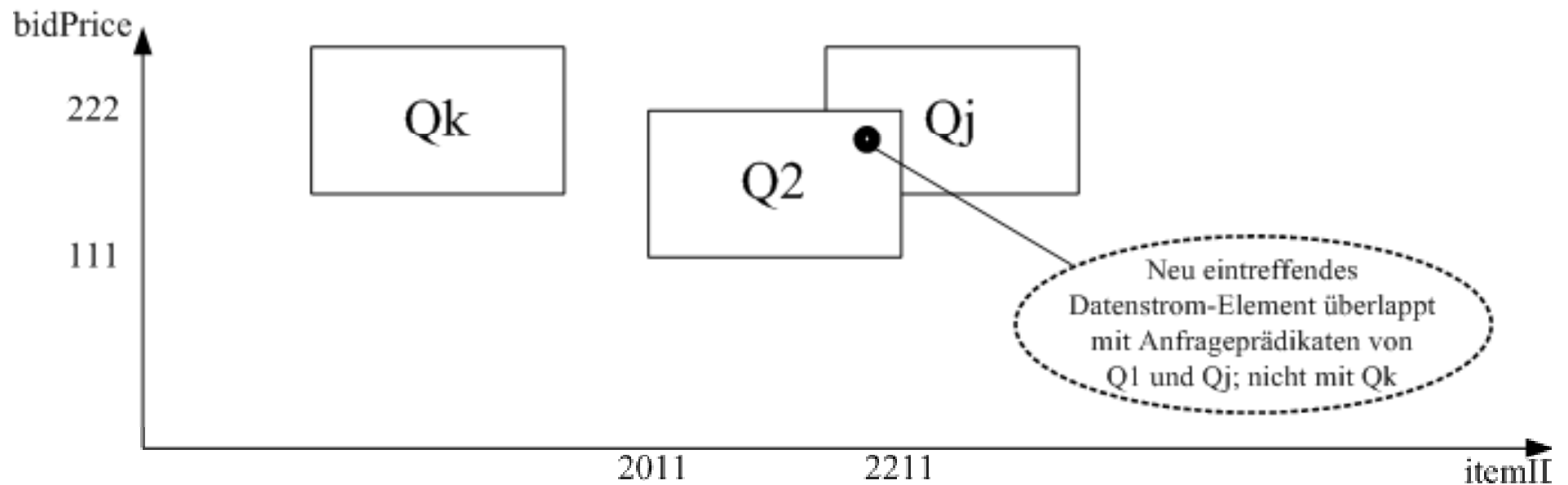


Bereichsanfrage

— 0

```
Q2: select *  
      from Bid  
      where itemID between 2011 and 2211 and  
             bidPrice between 111 and 222
```

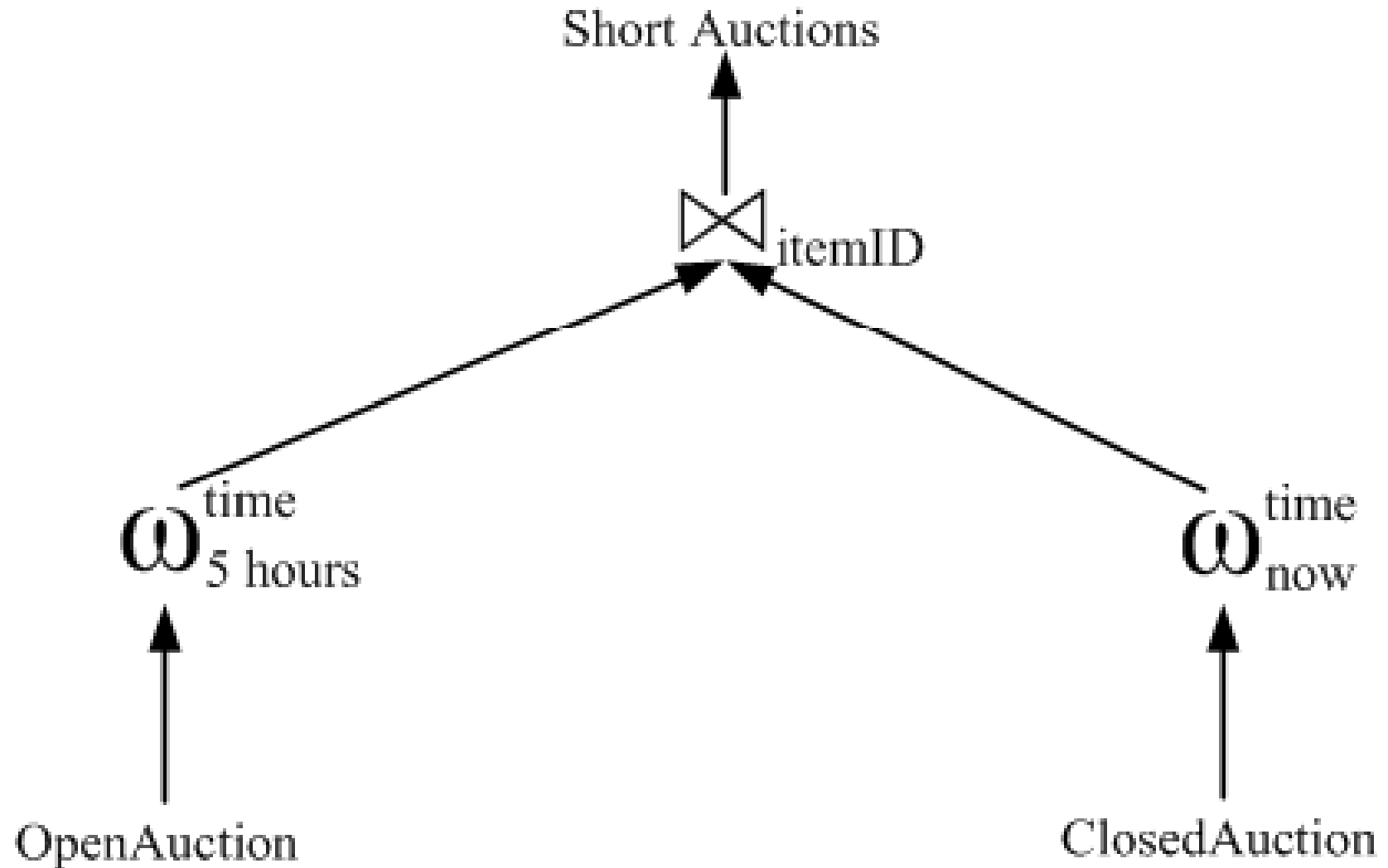
R-Baum-Index



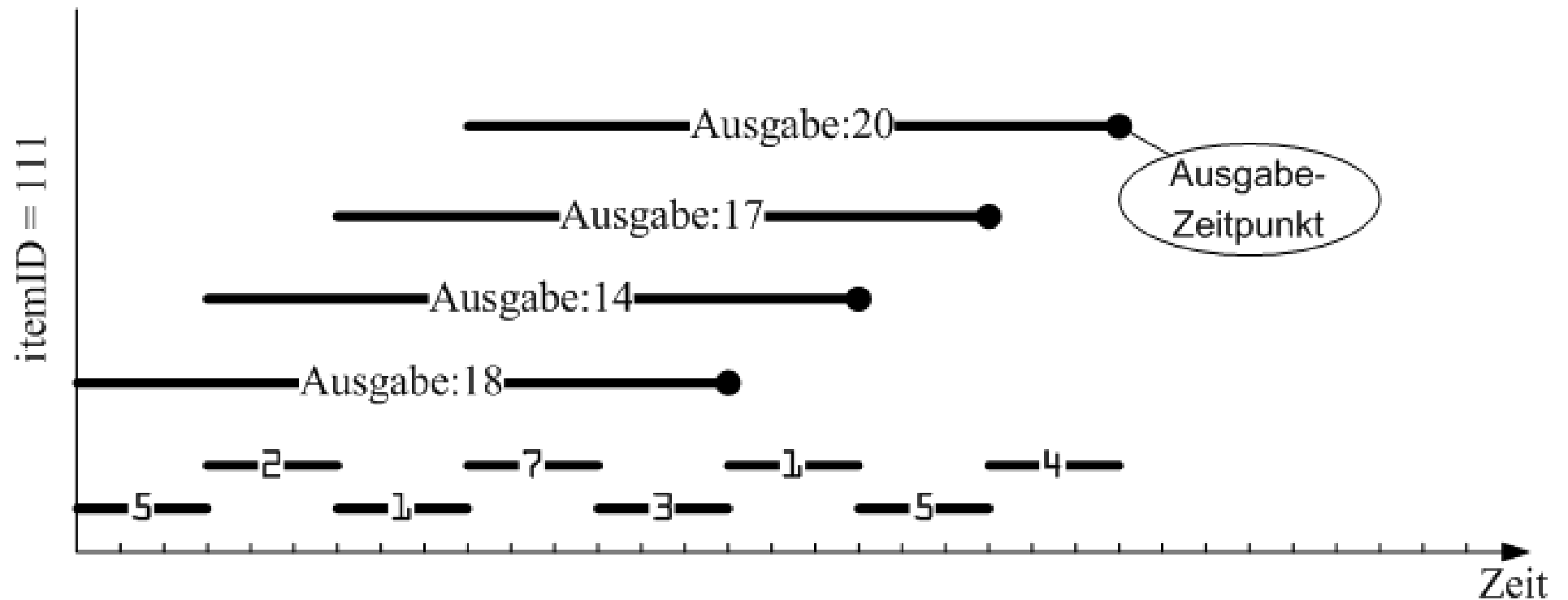
Fenster-Anfrage

```
select O.*  
from OpenAuction O window(range 5 hours),  
     ClosedAuction c  
where o.itemID = c.itemID
```

Auswertung: Short Auctions



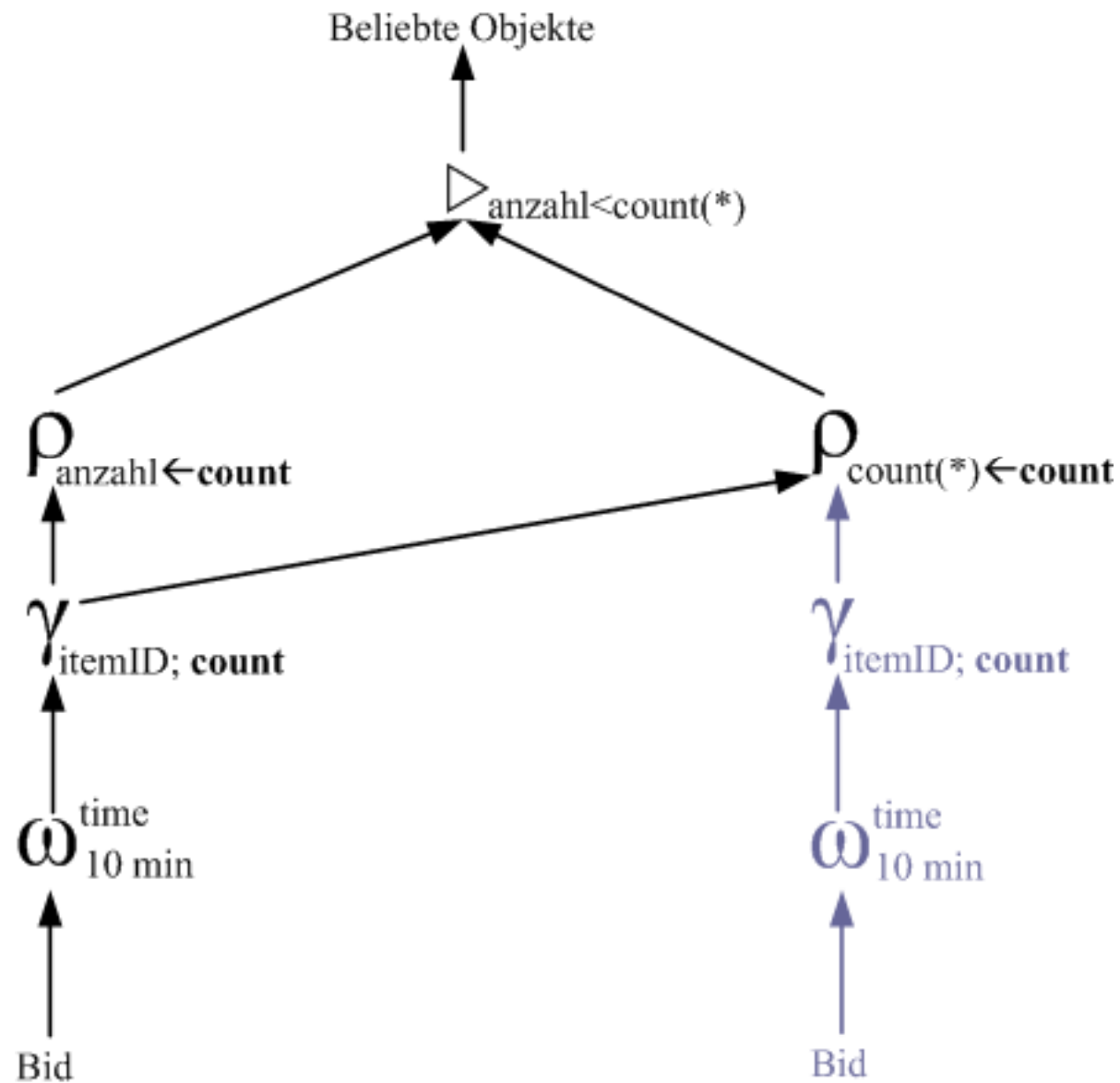
Überlappende Fenster



Hot Items-Anfrage

```
select itemID
from (select b1.itemID as itemID, count(*) as anzahl
      from Bid b1 window(range 10 minutes)
      group by b1.itemID)
where anzahl >= all (select count(*)
                    from Bid b2 window(range 10 minutes)
                    group by b2.itemID)
```

Auswertung: Hot Item



Information Retrieval

- Informationsexplosion im Internet
- Ranking von Dokumenten um relevante Information zu finden
- Ähnlichkeit von Dokumenten (Dissertationen) zu erkennen

TF-IDF: Term Frequency – Inverse Document Frequency

$$TF_{ij} = f_{ij} / \sum_{i=1 \dots |V|} f_{ij}$$

$$IDF_i = \log(N/n_i)$$

$$rel(D_j, Q) = \sum_{i \in Q} TF_{ij} * IDF_i$$

Relevanz-Ranking am Beispiel

D_1	D_2	D_3
Nach dem Spiel ist vor dem Spiel.	Was wir ersinnen ist des Zufalls Spiel.	Der Ball ist rund und ein Spiel dauert neunzig Minuten.

TF_{ij}

Wort i	D_1	D_2	D_3
1: Ball	0	0	1/3
2: Minute	0	0	1/3
3: Spiel	2/2	1/2	1/3
4: Zufall	0	1/2	0

IDF_i

Wort i	N	n_i	N/n_i	$\log(N/n_i)$
1: Ball	3	1	3	0,477121255
2: Minute	3	1	3	0,477121255
3: Spiel	3	3	1	0
4: Zufall	3	1	3	0,477121255

Anfrage $Q \equiv \text{Ball} \wedge \text{Spiel}$ ermittelt man für das Dokument D_3

$$rel(D_3, Q) = 1/3 * 0,477121255 + 1/3 * 0 = 0,1590404182$$

Relevanz-Ranking am Beispiel

D_1	D_2	D_3
Nach dem Spiel ist vor dem Spiel.	Was wir ersinnen ist des Zufalls Spiel.	Der Ball ist rund und ein Spiel dauert neunzig Minuten.

TF_{ij}

Wort i	D_1	D_2	D_3
1: Ball	0	0	1/3
2: Minute	0	0	1/3
3: Spiel	2/2	1/2	1/3
4: Zufall	0	1/2	0

IDF_i

Wort i	N	n_i	N/n_i	$\log(N/n_i)$
1: Ball	3	1	3	0,477121255
2: Minute	3	1	3	0,477121255
3: Spiel	3	3	1	0
4: Zufall	3	1	3	0,477121255

Für die Anfrage $Q' \equiv \text{Ball} \wedge \text{Spiel} \wedge \text{Zufall}$ hat D_2 den höchsten Relevanzwert

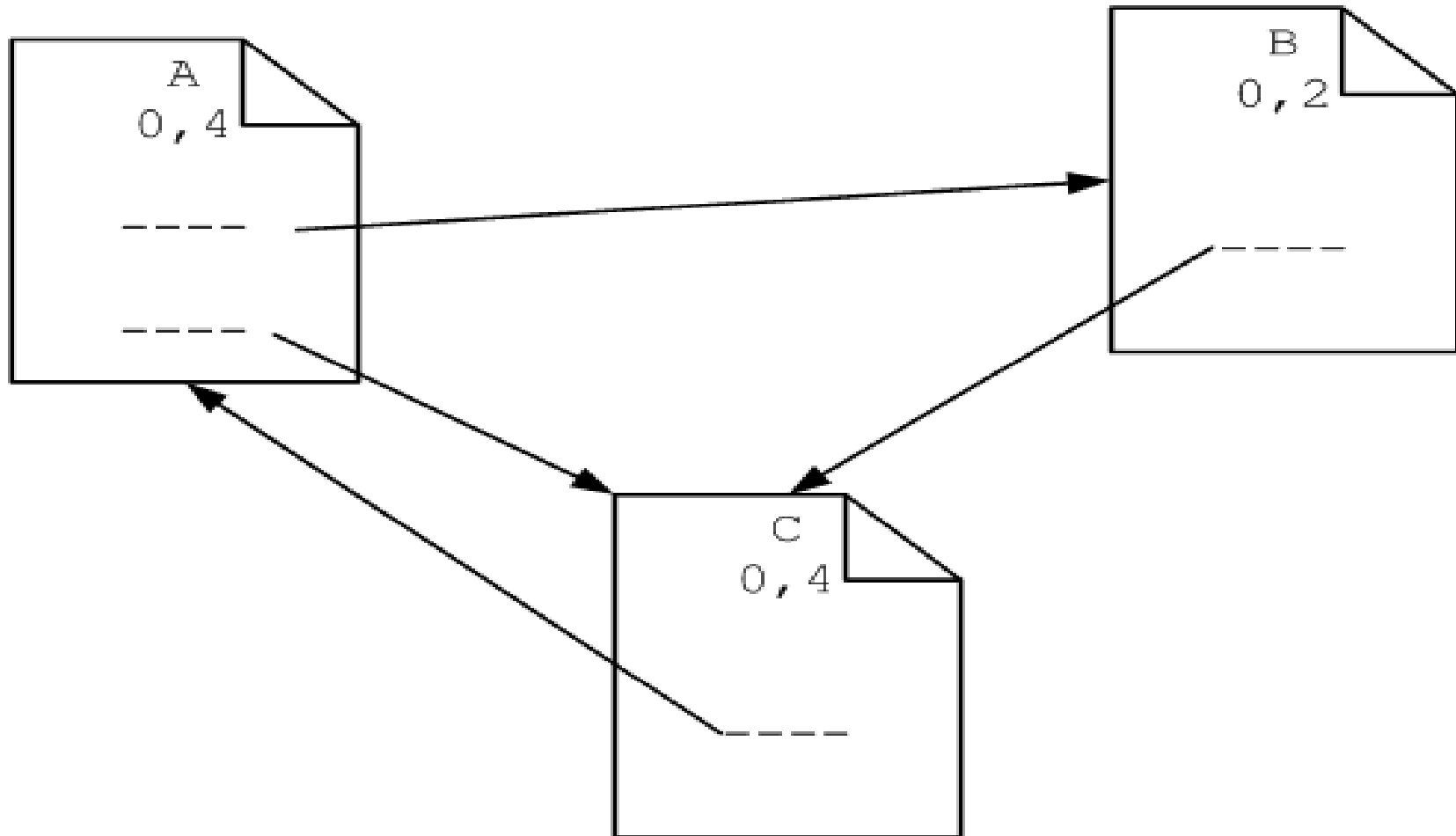
$$rel(D_2, Q') = 0 * 0,477121255 + 1/2 * 0 + 1/2 * 0,477121255 = 0,2385606275$$

Invertierte Indexierung

Begriff	→	Dokumente
Ball	→	$(D_3, 1)$
Minute	→	$(D_3, 1)$
Spiel	→	$(D_1, 2)$ $(D_2, 1)$ $(D_3, 1)$
Zufall	→	$(D_2, 1)$

Page Rank: Grundidee

$$r(A) = \frac{\alpha}{N} + (1 - \alpha) \left(\frac{r(B_1)}{|B_1|} + \dots + \frac{r(B_n)}{|B_n|} \right)$$

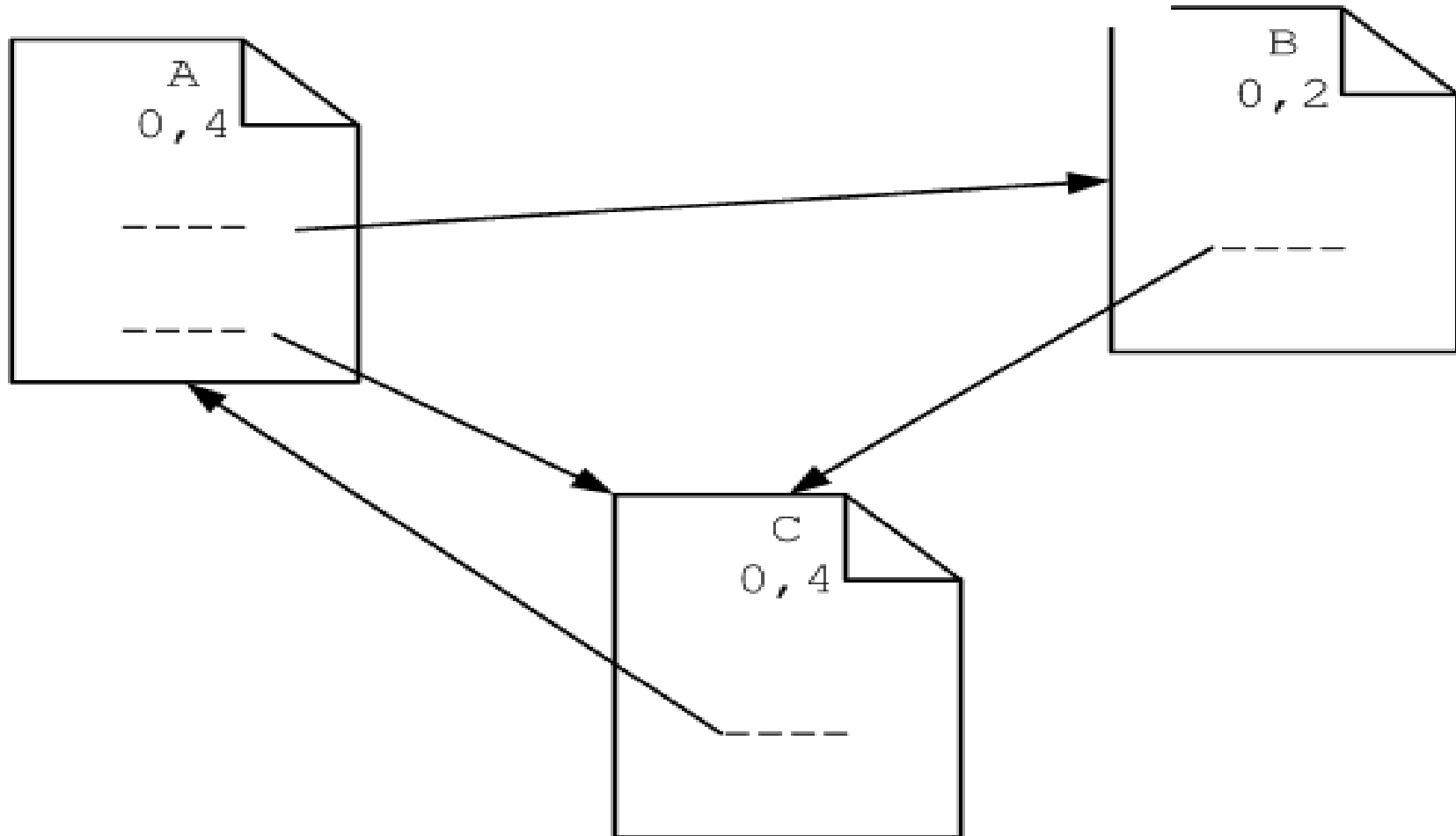


Page Rank: Grundidee

$$r(A) = r(C)/1$$

$$r(B) = r(A)/2$$

$$r(C) = r(A)/2 + r(B)$$



Mathematisches Modell des PageRank

$$M_{ij} = \begin{cases} 1/|P_j| & \text{falls } P_j \text{ auf } P_i \text{ verweist} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1/2 & 0 & 0 \\ 1/2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad p_0 = \begin{pmatrix} 1/3 \\ 1/3 \\ 1/3 \end{pmatrix}$$

Man berechnet dann iterativ die Vektoren

$$p_1 = M * p_0, \quad p_2 = M * p_1 = M * (M * p_0) = M^2 * p_0, \dots, p_i = M^i * p_0$$

Mathematisches Modell des PageRank: unser Beispiel

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1/2 & 0 & 0 \\ 1/2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad p_0 = \begin{pmatrix} 1/3 \\ 1/3 \\ 1/3 \end{pmatrix}$$

$$p_1 = Mp_0 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1/2 & 0 & 0 \\ 1/2 & 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1/3 \\ 1/3 \\ 1/3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/3 \\ 1/6 \\ 1/2 \end{pmatrix}$$

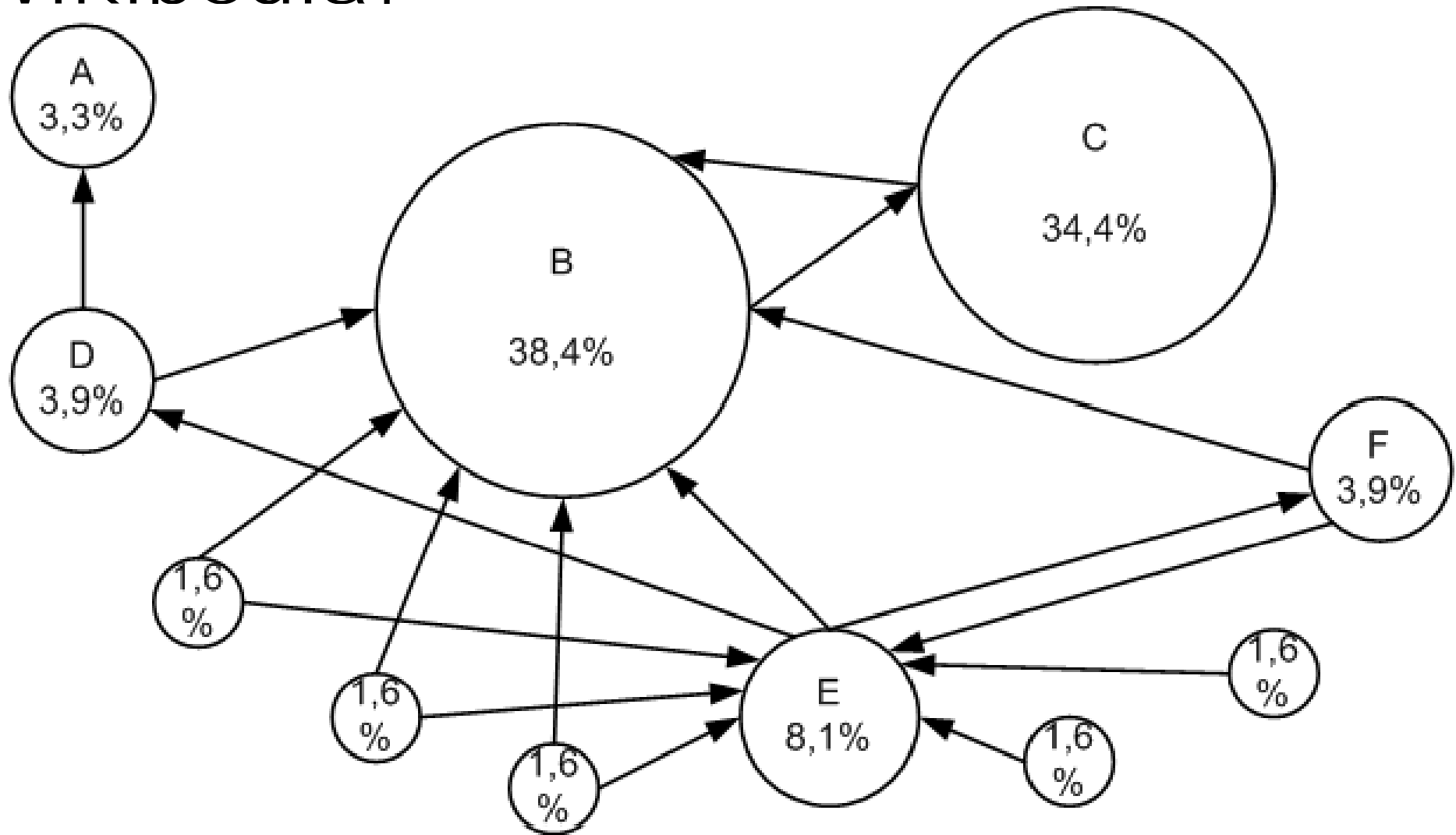
$$p_2 = M * Mp_0 = M * p_1 = \begin{pmatrix} 1/2 \\ 1/6 \\ 1/3 \end{pmatrix}$$
$$p_7 = M^7 * p_0 = \begin{pmatrix} 20/48 \\ 9/48 \\ 19/48 \end{pmatrix}$$

Konvergenz und Dämpfung

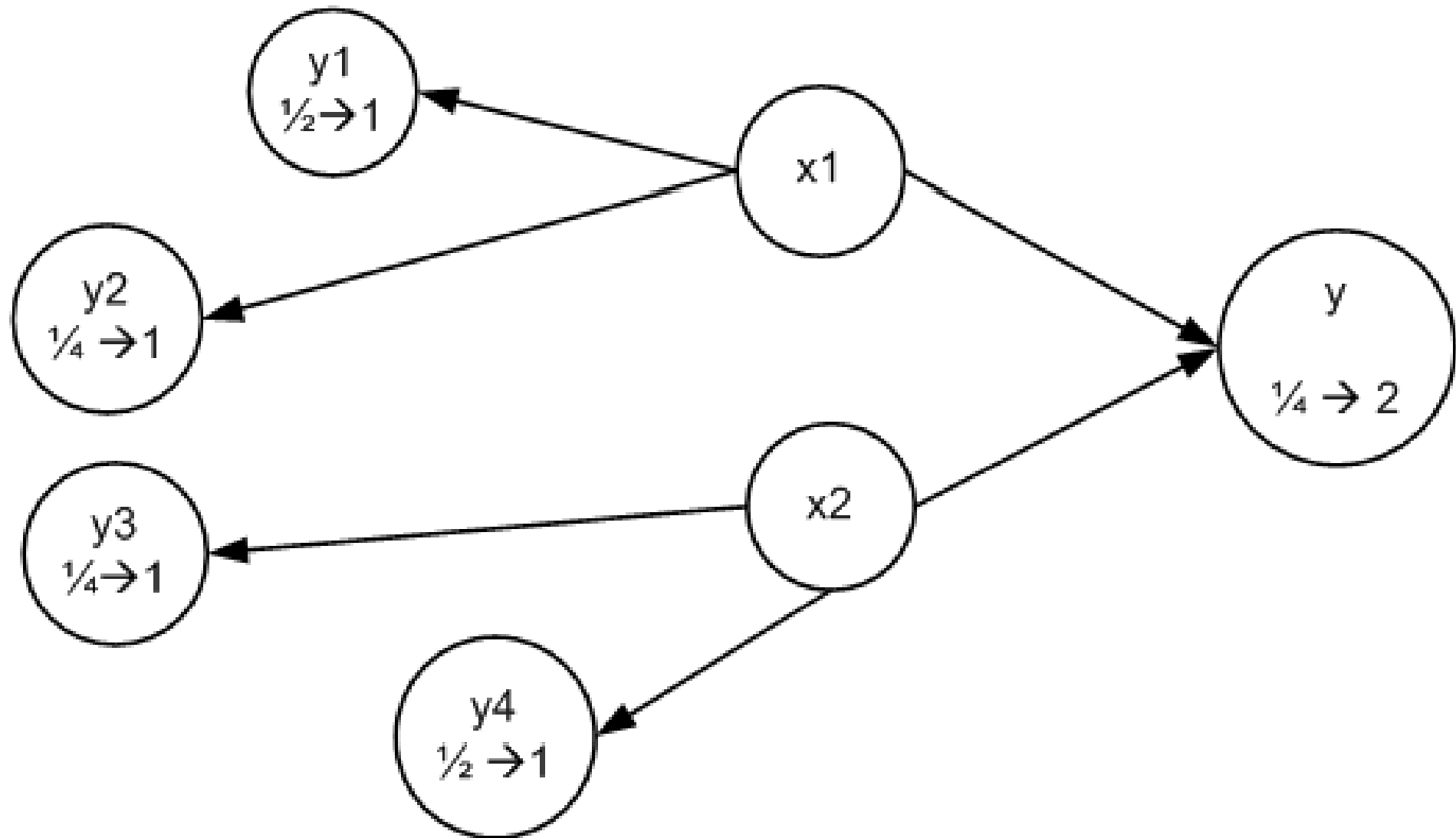
$$p_\infty = \lim_{n \rightarrow \infty} M^n p_0$$

$$p_i = (((1 - \alpha) * M) * p_{i-1}) + \begin{pmatrix} \frac{\alpha}{N} \\ \vdots \\ \frac{\alpha}{N} \end{pmatrix}$$

PageRank für größeren Graph [aus Wikipedia]



HITS-Algorithmus: Hubs und Autoritäten



HITS-Algorithmus: Hubs und Autoritäten

Dann wird der Hub-Wert einer Seite i wie folgt definiert:

$$h_i = \delta \sum_{j=1 \dots N} A_{ij} a_j$$

Analog wird die Gewichtung der Autorität einer Seite i wie folgt errechnet:

$$a_i = \lambda \sum_{k=1 \dots N} A_{ik}^T h_k$$

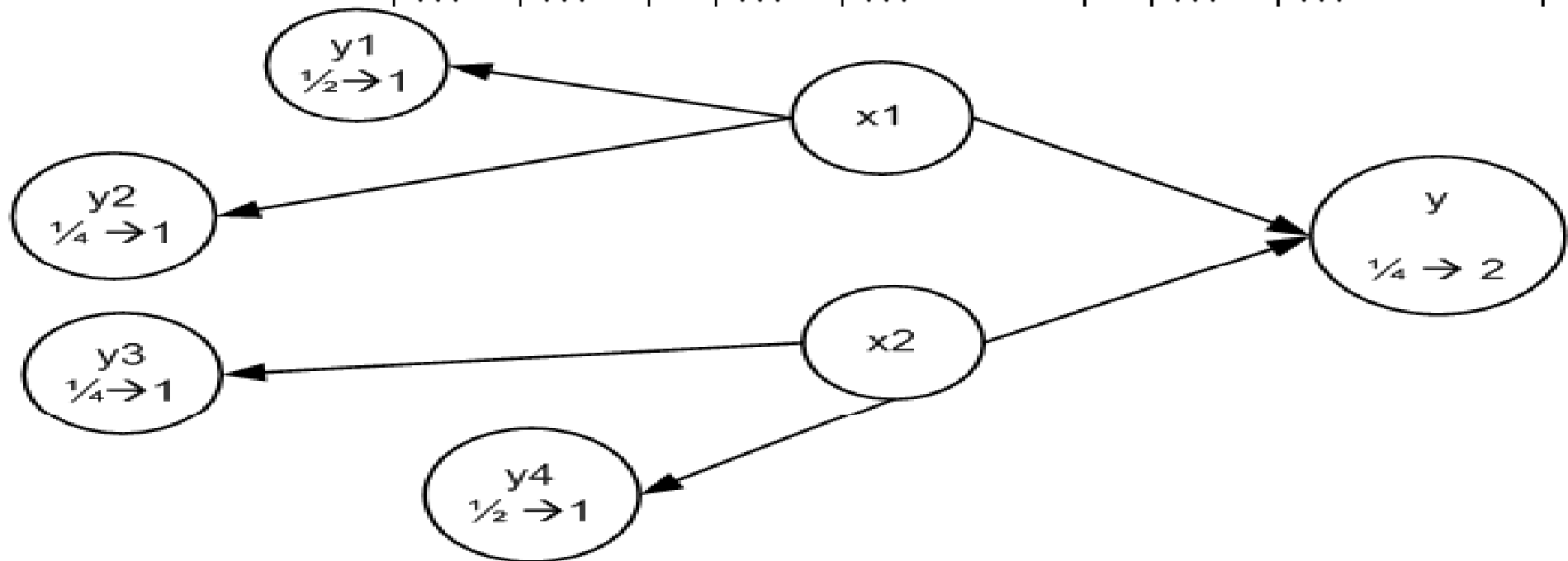
Eigenvektoren der Matrizen AA^T bzw. $A^T A$

$$h = \delta \lambda AA^T h$$

$$a = \delta \lambda A^T A a$$

Relationale HITS-Modellierung

A		Aut		Aut2 (nach insert)		Aut2 (nach update)	
von	nach	Seite	Wert	Seite	Wert	Seite	Wert
x1	y1	x1	...	x1	...	x1	...
x1	y2	x2	...	x2	...	x2	...
x2	y3	y1	1/2	y1	1	y1	1/2
x2	y4	y2	1/4	y2	1	y2	1/2
x1	y	y3	1/4	y3	1	y3	1/2
x2	y	y4	1/2	y4	1	y4	1/2
...	...	y	1/4	y	2	y	1
...



Algorithmus

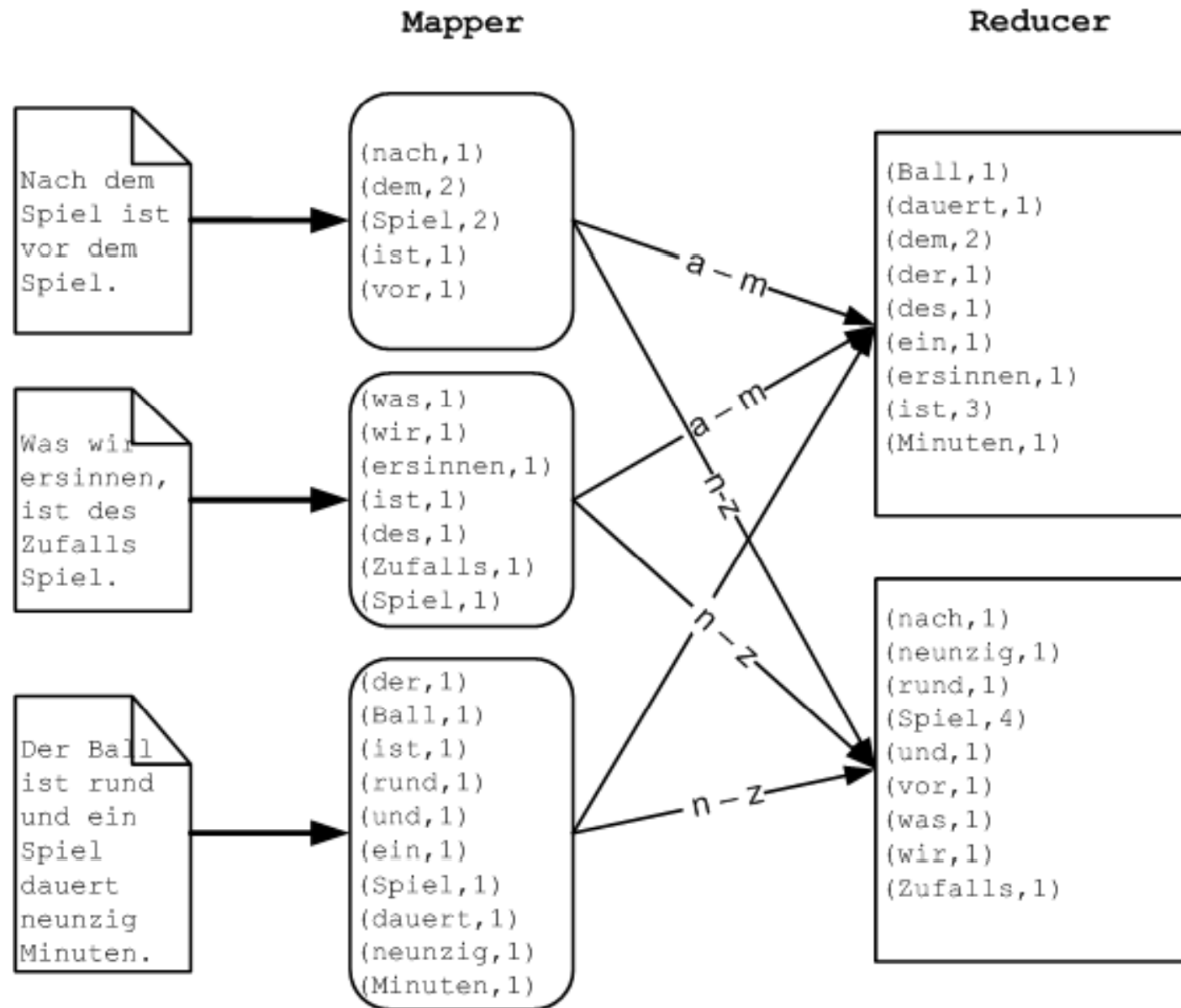
1. Berechne die Hub-Werte jeder Seite q indem man die Summe der Autoritätswerte aller Seiten r ermittelt, auf die q verweist.
2. Berechne die Autorität der Seite p durch Summierung der Hub-Werte der Seiten q , die auf p verweisen
3. Normalisiere die so erhaltenen Autoritätswerte indem man sie mit $\lambda = 1/\max$ multipliziert, wobei \max den Maximalwert aller gerade neu berechneten Autoritätswerte darstellt. Diese Normalisierung ist nötig, um die Werte nicht ins Unermessliche steigen zu lassen.

Algorithmus ... in SQL

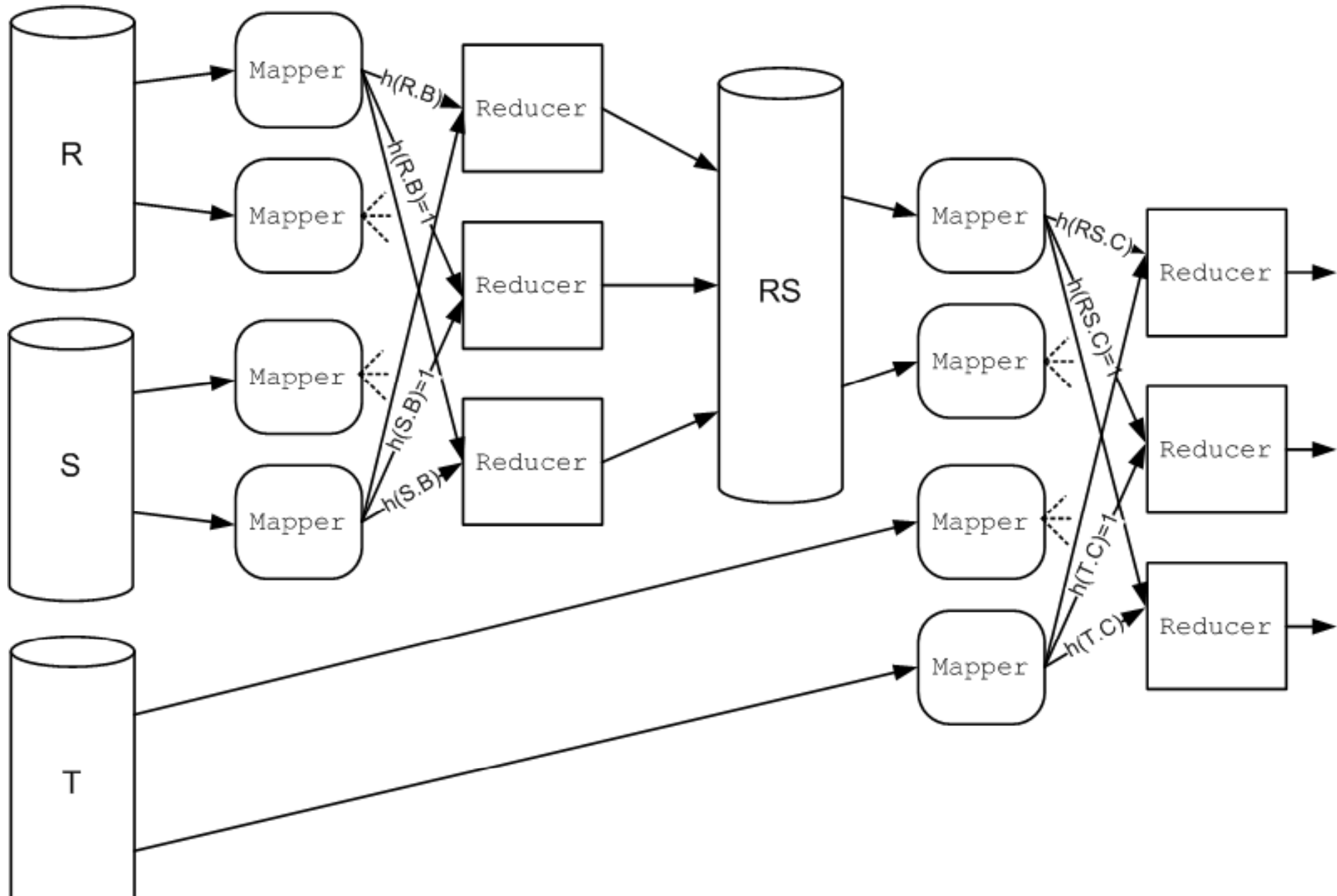
```
insert into Aut2 (  
    select a1.nach, sum(Aut.Wert)  
    from Aut, A a1, A a2  
    where Aut.Seite = a2.nach and a1.von = a2.von  
    group by a1.nach )
```

```
update Aut2  
    set Wert = Wert / (select max(Wert) from Aut2)
```

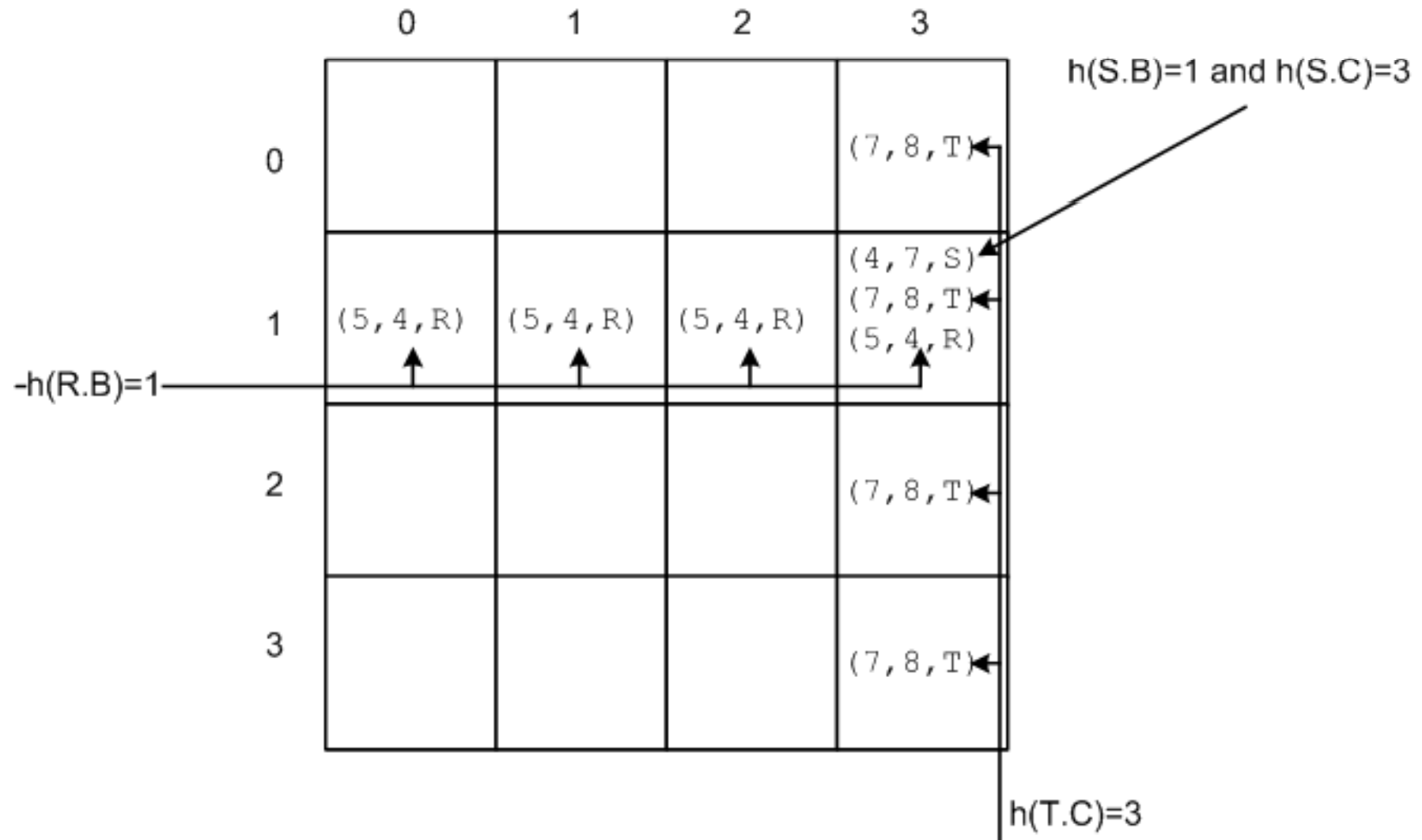
Map Reduce



Join mit Map Reduce



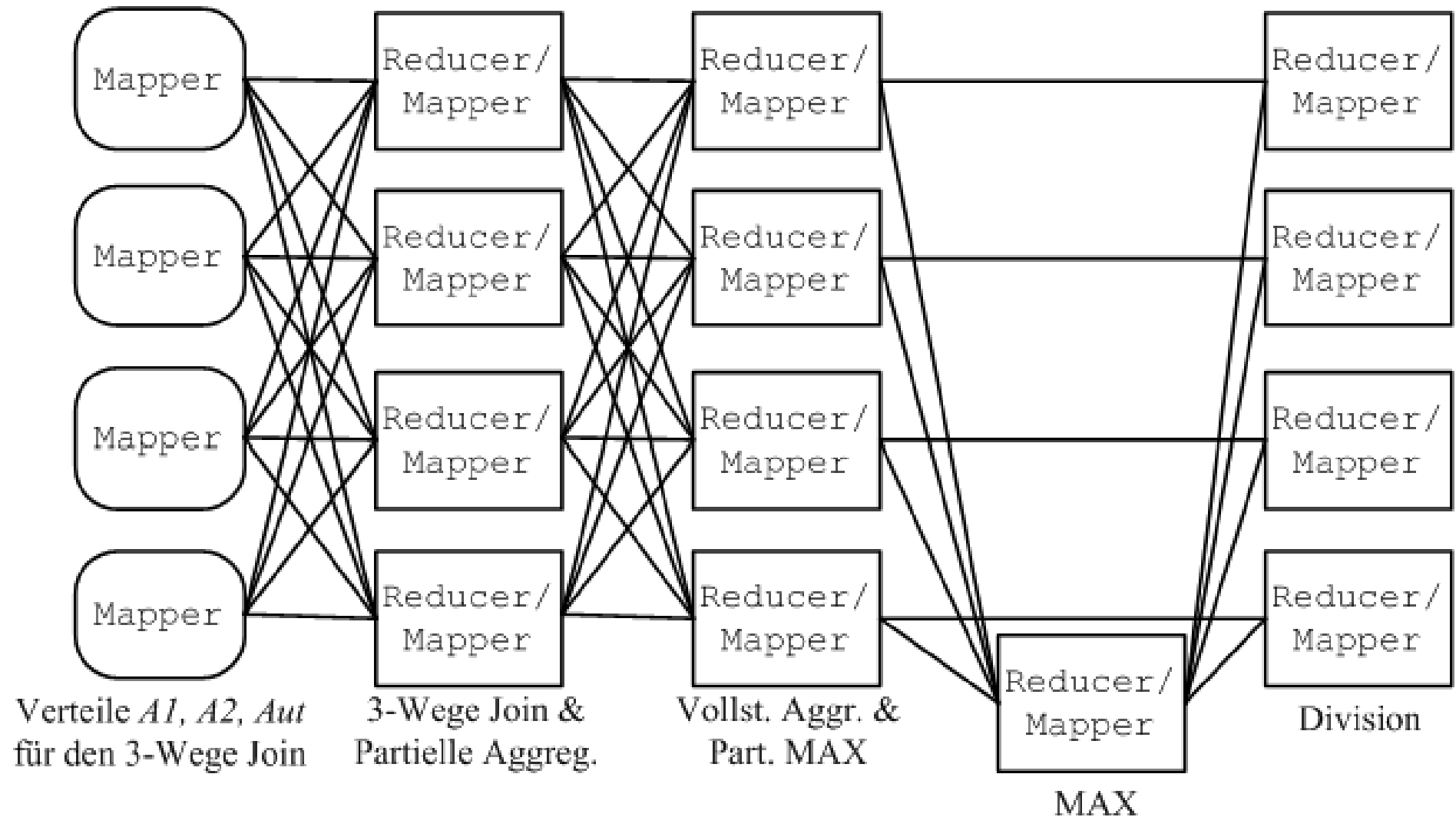
Verbesserung nach Ullman



Map Reduce Skriptsprache: PigLatin

```
a1 = LOAD 'A' AS (a1von, a1nach);
a2 = LOAD 'A' AS (a2von, a2nach);
aut = LOAD 'Aut' AS (seite, wert);
j1 = JOIN a2 BY a2nach, aut BY seite;
j2 = JOIN a1 BY a1von, j1 BY a2von;
g1 = GROUP j2 BY a1nach;
aut2 = FOREACH g1 GENERATE group AS seite, SUM(j2.wert) AS wert;
g2 = GROUP aut2 ALL;
max = FOREACH g2 GENERATE MAX(aut2.wert) AS max;
c = CROSS aut2, max;
aut2Up = FOREACH c GENERATE seite, wert / max;
STORE aut2Up INTO 'Aut2';
```

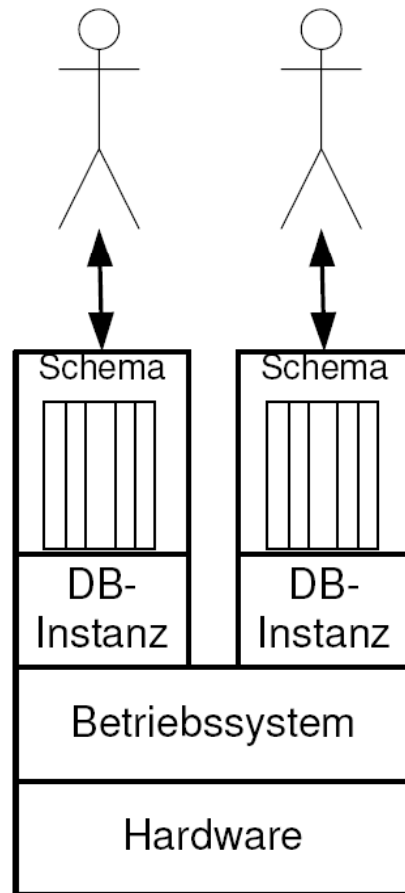
Auswertung des HITS Algorithmus



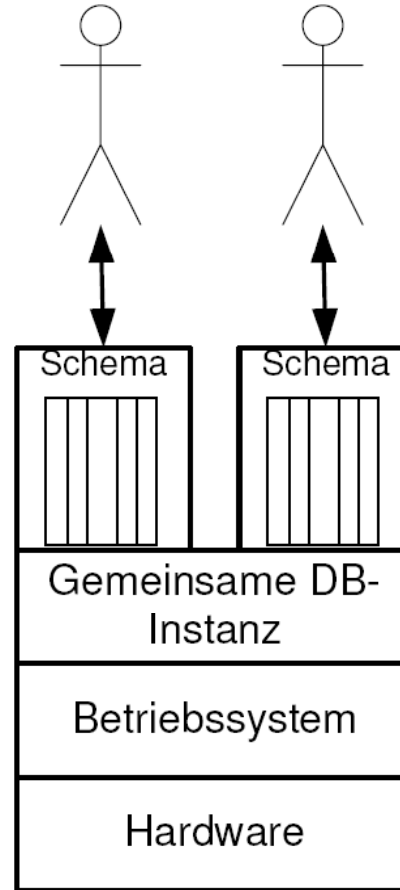
Multi-Tenancy / Cloud-Datenbanken

- **Infrastructure as a Service (IaaS):** Hierbei werden den Kunden de facto virtuelle Maschinen zur Verfügung gestellt, auf denen dann beliebige Software installiert werden könnte. Kunden könnten also auch existierende Anwendungen auf eine derartige virtuelle Maschine portieren. Insbesondere kann man natürlich „normale“ Datenbanksysteme installieren. Amazon Web Services ist ein typisches Beispiel einer IaaS, die aber zusätzlich auch nicht-relationale (also No-SQL) Datenbankfunktionalität durch die Systeme SimpleDB und S3 anbietet.
- **Platform as a Service (PaaS):** Hierzu zählen die Systeme Google AppEngine und Microsoft Azure, die reichhaltige Schnittstellen für die Neuentwicklung von Web-Applikationen bereitstellen. Hierzu dienen insbesondere die Datenspeicher, also Google's App Engine Datastore oder Microsoft's Azure Table Storage.
- **Software as a Service (SaaS):** Diese Systeme stellen komplexe, anwendungsspezifische Funktionalität zur Verfügung. Bekannteste Beispiele im betrieblichen Umfeld sind das Customer-Relationship-Management-System von Salesforce oder das umfassende betriebliche Anwendungssystem Business-By-Design von SAP. Diese Software wird nicht mehr bei den Nutzern installiert sondern von den Betreibern als „Hosting-Modell“ angeboten und von den Nutzern via Web-Schnittstellen zugegriffen.

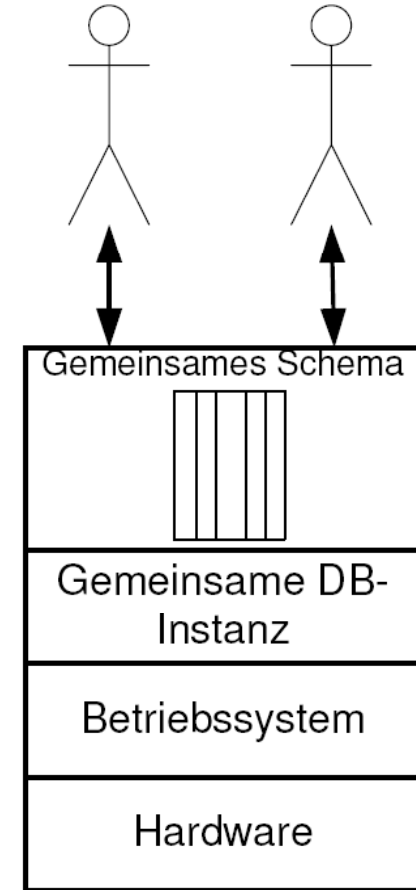
Multi-Tenancy Datenbankarchitekturen



(a)
gemeinsame
Maschine
(shared machine)



(b)
gemeinsames
Datenbanksystem
(shared process)



(c)
Gemeinsame
Relationen
(shared tables)

Private Relationen

Account17			
Aid	Name	Hospital	Beds
1	Acme	St. Mary	135
2	Gump	State	1042

Account35	
Aid	Name
1	Ball

Account42		
Aid	Name	Dealers
1	Big	65

Erweiterungs-Relationen

Account_Ext			
Tenant	Row	Aid	Name
17	0	1	<i>Acme</i>
17	1	2	<i>Gump</i>
35	0	1	<i>Ball</i>
42	0	1	<i>Big</i>

Healthcare_Account			
Tenant	Row	Hospital	Beds
17	0	<i>St. Mary</i>	135
17	1	<i>State</i>	1042

Automotive_Account		
Tenant	Row	Dealers
42	0	65

Universal Relation

Universal							
Tenant	Table	Col1	Col2	Col3	Col4	Col5	eCol6
17	0	1	<i>Acme</i>	<i>St. Mary</i>	135	-	-
17	0	2	<i>Gump</i>	<i>State</i>	1042	-	-
35	1	1	<i>Ball</i>	-	-	-	-
42	2	1	<i>Big</i>	65	-	-	-

Zerlegung: Pivot-Relationen

Pivot_int				
Tenant	Table	Col	Row	Int
17	0	0	0	1
17	0	3	0	135
17	0	0	1	2
17	0	3	1	1042
35	1	0	0	1
42	2	0	0	1
42	2	2	0	65

Pivot_str				
Tenant	Table	Col	Row	Str
17	0	1	0	<i>Acme</i>
17	0	2	0	<i>St. Mary</i>
17	0	1	1	<i>Gump</i>
17	0	2	1	<i>State</i>
35	1	1	0	<i>Ball</i>
42	2	1	0	<i>Big</i>

Ballung logisch verwandter Werte: Chunk Tables

Account_Row			
Tenant	Row	Aid	Name
17	0	1	<i>Acme</i>
17	1	2	<i>Gump</i>
35	0	1	<i>Ball</i>
42	0	1	<i>Big</i>

Chunk_Row					
Tenant	Table	Chunk	Row	Int1	Str1
17	0	0	0	135	<i>St. Mary</i>
17	0	0	1	1042	<i>State</i>
42	2	0	0	65	-

Key/Value-Store

HBase Key/Value-Store		
Row Key	Account	Contact
17Act1	[name: <i>Acme</i> , hospital: <i>St. Mary</i> , beds: <i>135</i>]	
17Act2	[name: <i>Gump</i> , hospital: <i>State</i> , beds: <i>1042</i>]	
17Ctc1		[...]
17Ctc2		[...]
35Act1	[name: <i>Ball</i>]	
35Ctc1		[...]
42Act1	[name: <i>Big</i> , dealers: <i>65</i>]	

XML-basiertes Schema

Account			
Tenant	Aid	Name	Ext_XML
17	1	<i>Acme</i>	<pre><ext> <hospital>St. Mary</hospital> <beds>135</beds> </ext></pre>
17	2	<i>Gump</i>	<pre><ext> <hospital>State</hospital> <beds>1042</beds> </ext></pre>
35	1	<i>Ball</i>	
42	1	<i>Big</i>	<pre><ext> <dealers>65</dealers> </ext></pre>