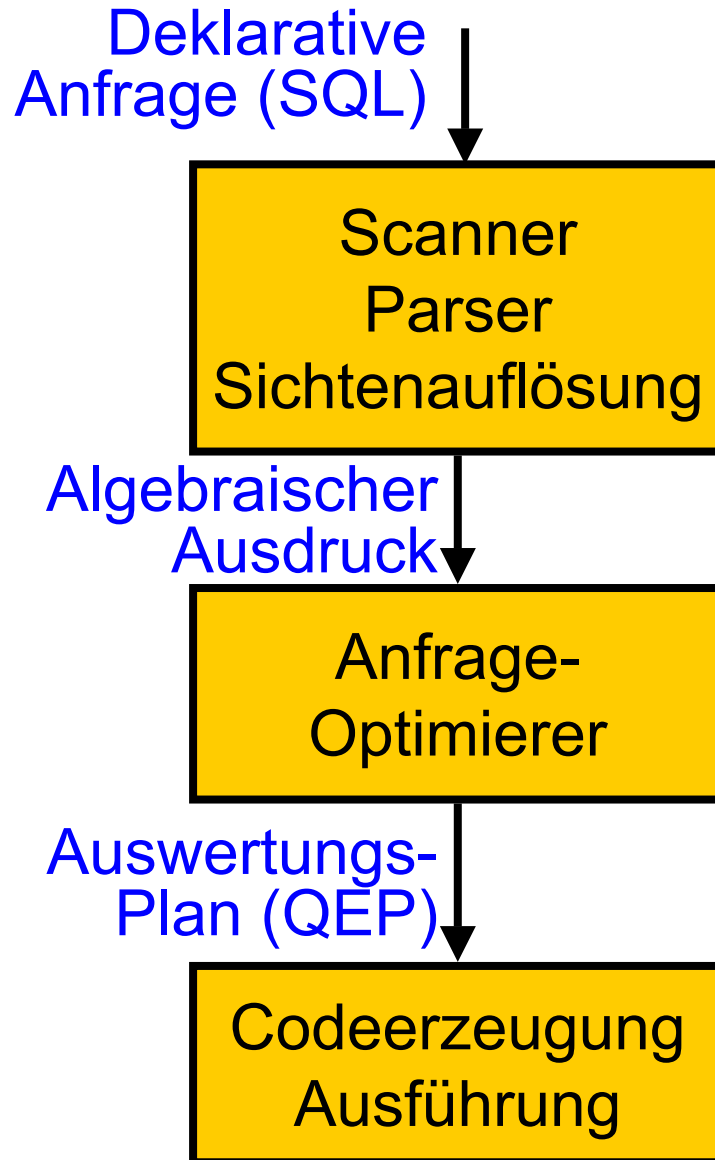


Anfragebearbeitung

- Logische Optimierung
- (Physische Optimierung
- Kostenmodelle
- „Tuning“)

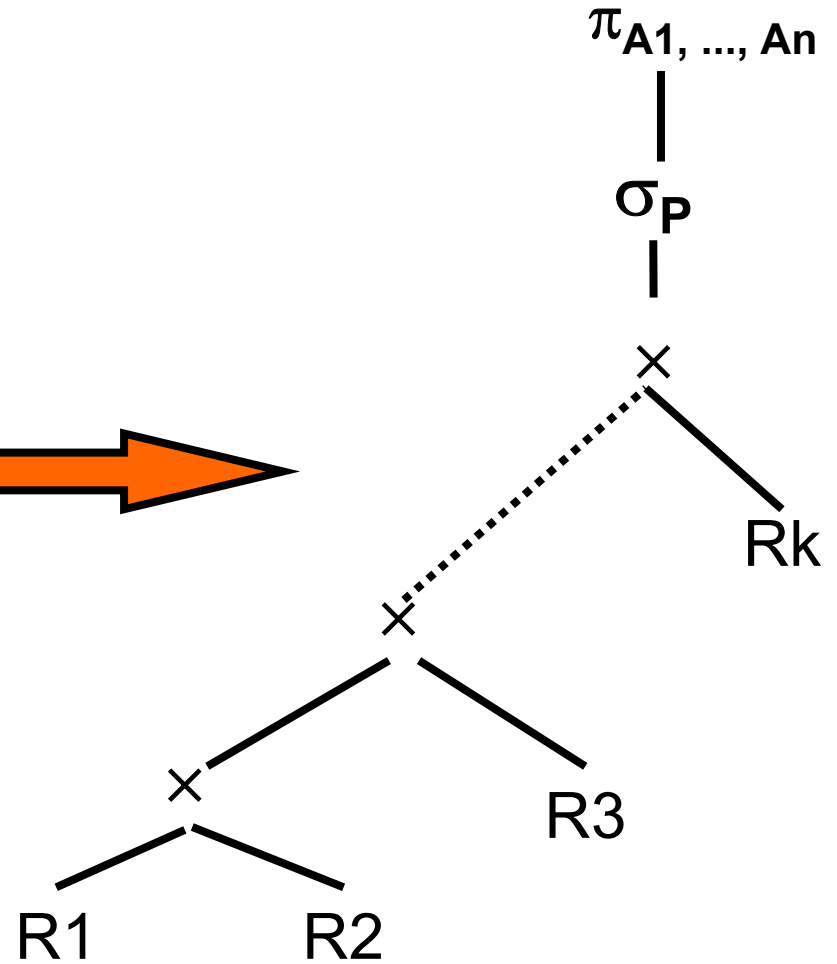


Ablauf der Anfrageoptimierung



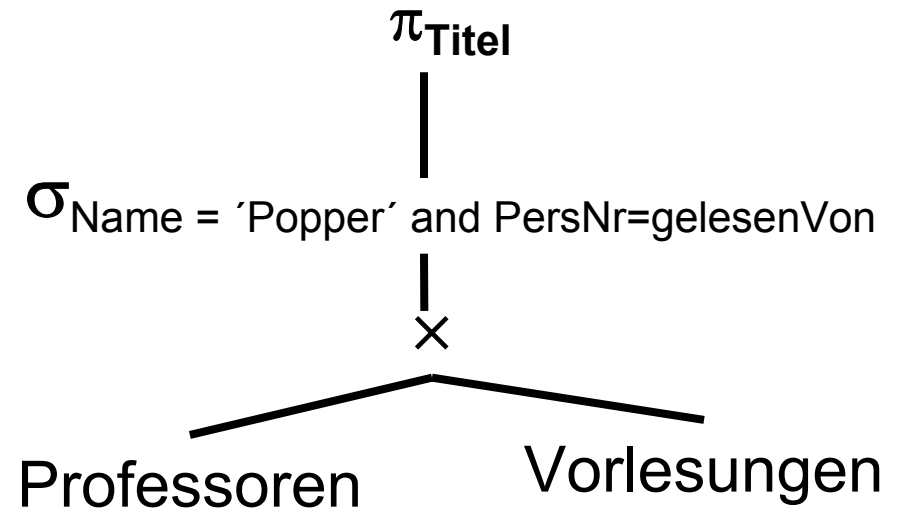
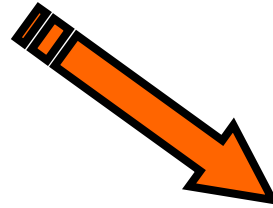
Kanonische Übersetzung

select A_1, \dots, A_n
from R_1, \dots, R_k
where P



Kanonische Übersetzung

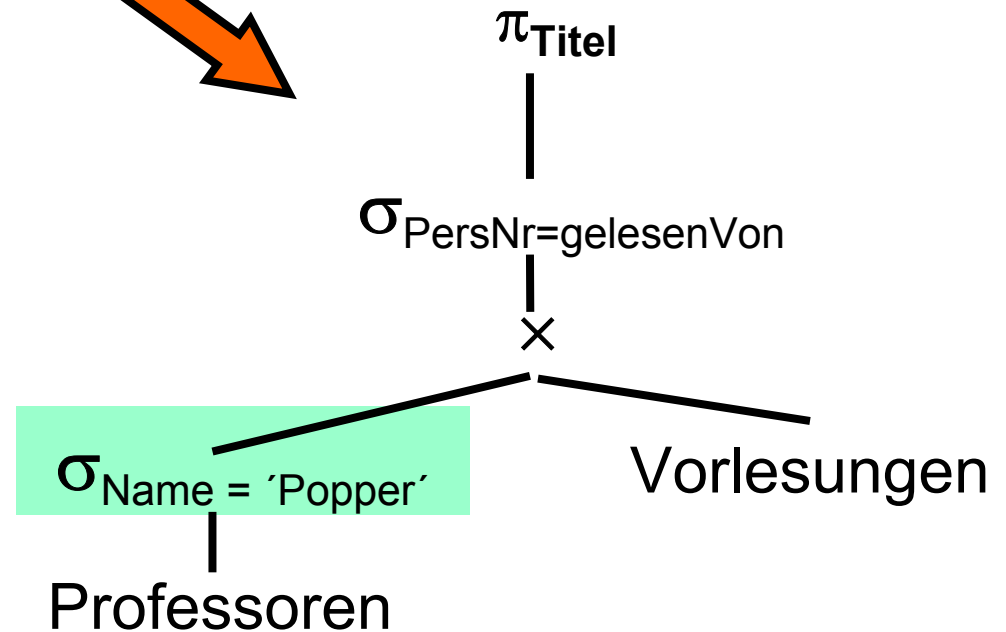
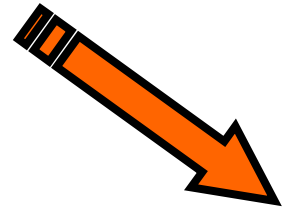
select Titel
from Professoren, Vorlesungen
where Name = 'Popper' and
PersNr = gelesenVon



$\pi_{\text{Titel}} (\sigma_{\text{Name} = \text{'Popper' and PersNr=gelesenVon}} (\text{Professoren} \times \text{Vorlesungen}))$

Erste Optimierungsidee

select Titel
from Professoren, Vorlesungen
where Name = 'Popper' and
PersNr = gelesenVon



$\pi_{\text{Titel}} (\sigma_{\text{PersNr=gelesenVon}} ((\sigma_{\text{Name='Popper'}} \text{Professoren}) \times \text{Vorlesungen}))$

Optimierung von Datenbank- Anfragen

Grundsätze:

- Sehr hohes Abstraktionsniveau der mengenorientierten Schnittstelle (SQL).
- Sie ist **deklarativ, nicht-prozedural**, d.h. es wird spezifiziert, **was** man finden möchte, aber nicht **wie**.
- Das **wie** bestimmt sich aus der Abbildung der mengenorientierten Operatoren auf Schnittstellen-Operatoren der internen Ebene (Zugriff auf Datensätze in Dateien, Einfügen/Entfernen interner Datensätze, Modifizieren interner Datensätze).
- Zu einem **was** kann es zahlreiche **wie**'s geben: effiziente Anfrageauswertung durch Anfrageoptimierung.
- i.Allg. wird aber nicht die optimale Auswertungsstrategie gesucht (bzw. gefunden) sondern eine einigermaßen effiziente Variante
 - Ziel: „avoiding the worst case“

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

1. Aufbrechen von Konjunktionen im Selektionsprädikat

$$\sigma_{c_1 \wedge c_2 \wedge \dots \wedge c_n}(R) \equiv \sigma_{c_1}(\sigma_{c_2}(\dots(\sigma_{c_n}(R))\dots))$$

2. σ ist kommutativ

$$\sigma_{c_1}(\sigma_{c_2}(R)) \equiv \sigma_{c_2}(\sigma_{c_1}(R))$$

3. π -Kaskaden: Falls $L_1 \subseteq L_2 \subseteq \dots \subseteq L_n$, dann gilt

$$\pi_{L_1}(\pi_{L_2}(\dots(\pi_{L_n}(R))\dots)) \equiv \pi_{L_1}(R)$$

4. Vertauschen von σ und π

Falls die Selektion sich nur auf die Attribute A_1, \dots, A_n der Projektionsliste bezieht, können die beiden Operationen vertauscht werden

$$\pi_{A_1, \dots, A_n}(\sigma_c(R)) \equiv \sigma_c(\pi_{A_1, \dots, A_n}(R))$$

5. \times , \cup , \cap und \bowtie sind kommutativ

$$R \bowtie_c S \equiv S \bowtie_c R$$

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

6. Vertauschen von σ mit \bowtie

Falls das Selektionsprädikat c nur auf Attribute der Relation R zugreift, kann man die beiden Operationen vertauschen:

$$\sigma_c(R \bowtie_j S) \equiv \sigma_c(R) \bowtie_j S$$

Falls das Selektionsprädikat c eine Konjunktion der Form „ $c_1 \wedge c_2$ “ ist und c_1 sich nur auf Attribute aus R und c_2 sich nur auf Attribute aus S bezieht, gilt folgende Äquivalenz:

$$\sigma_c(R \bowtie_j S) \equiv \sigma_c(R) \bowtie_j (\sigma_{c_2}(S))$$

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

7. Vertauschung von π mit \bowtie

Die Projektionsliste L sei: $L = \{A_1, \dots, A_n, B_1, \dots, B_m\}$, wobei A_i Attribute aus R und B_j Attribute aus S seien. Falls sich das Joinprädikat c nur auf Attribute aus L bezieht, gilt folgende Umformung:

$$\pi_L (R \bowtie_c S) \equiv (\pi_{A_1, \dots, A_n} (R)) \bowtie_c (\pi_{B_1, \dots, B_m} (S))$$

Falls das Joinprädikat sich auf weitere Attribute, sagen wir A_1', \dots, A_p' aus R und B_1', \dots, B_q' aus S bezieht, müssen diese für die Join-Operation erhalten bleiben und können erst danach herausprojiziert werden:

$$\pi_L (R \bowtie_c S) \equiv \pi_L (\pi_{A_1, \dots, A_n, A_1', \dots, A_p'} (R) \bowtie_c \pi_{B_1, \dots, B_m, B_1', \dots, B_q'} (S))$$

Für die \times -Operation gibt es kein Prädikat, so dass die Einschränkung entfällt.

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

8. Die Operationen \bowtie , \times , \cup , \cap sind jeweils (einzeln betrachtet) assoziativ. Wenn also Φ eine dieser Operationen bezeichnet, so gilt:

$$(R \Phi S) \Phi T \equiv R \Phi (S \Phi T)$$

9. Die Operation σ ist distributiv mit \cup , \cap , $-$. Falls Φ eine dieser Operationen bezeichnet, gilt:

$$\sigma_c(R \Phi S) \equiv (\sigma_c(R)) \Phi (\sigma_c(S))$$

10. Die Operation π ist distributiv mit \cup .

$$\pi_c(R \cup S) \equiv (\pi_c(R)) \cup (\pi_c(S))$$

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

11. Die Join- und/oder Selektionsprädikate können mittels der Regeln von De Morgan umgeformt werden:

$$\neg (c_1 \wedge c_2) \equiv (\neg c_1) \vee (\neg c_2)$$

$$\neg (c_1 \vee c_2) \equiv (\neg c_1) \wedge (\neg c_2)$$

12. Ein kartesisches Produkt, das von einer Selektions-Operation gefolgt wird, deren Selektionsprädikat Attribute aus beiden Operanden des kartesischen Produktes enthält, kann in eine Joinoperation umgeformt werden.

Sei c eine Bedingung der Form $A \theta B$, mit A ein Attribut von R und B ein Attribut aus S .

$$\sigma_c(R \times S) \equiv R \bowtie_c S$$

Heuristische Anwendung der Transformationsregeln

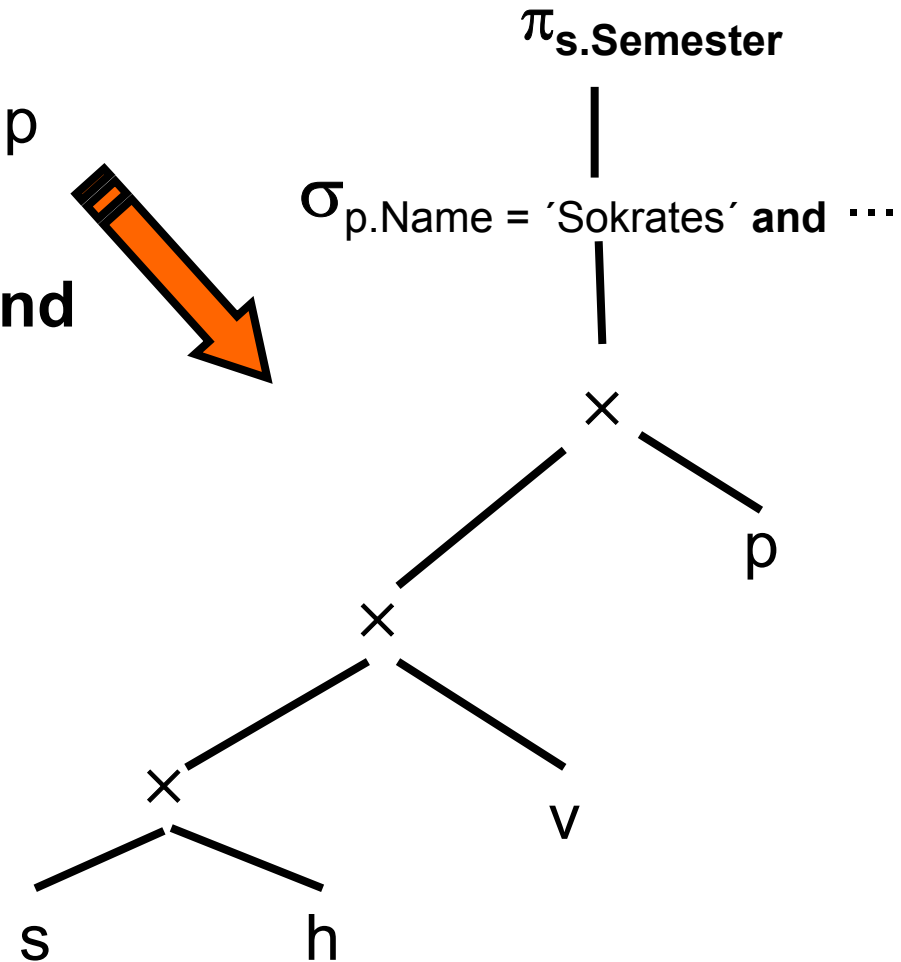
1. Mittels Regel 1 werden konjunktive Selektionsprädikate in Kaskaden von σ -Operationen zerlegt.
2. Mittels Regeln 2, 4, 6, und 9 werden Selektionsoperationen soweit „nach unten“ propagiert wie möglich.
3. Mittels Regel 8 werden die Blattknoten so vertauscht, dass derjenige, der das kleinste Zwischenergebnis liefert, zuerst ausgewertet wird.
4. Forme eine \times -Operation, die von einer σ -Operation gefolgt wird, wenn möglich in eine \otimes -Operation um
5. Mittels Regeln 3, 4, 7, und 10 werden Projektionen soweit wie möglich nach unten propagiert.
6. Versuche Operationsfolgen zusammenzufassen, wenn sie in einem „Durchlauf“ ausführbar sind (z.B. Anwendung von Regel 1, Regel 3, aber auch Zusammenfassung aufeinanderfolgender Selektionen und Projektionen zu einer „Filter“-Operation).

Anwendung der Transformationsregeln

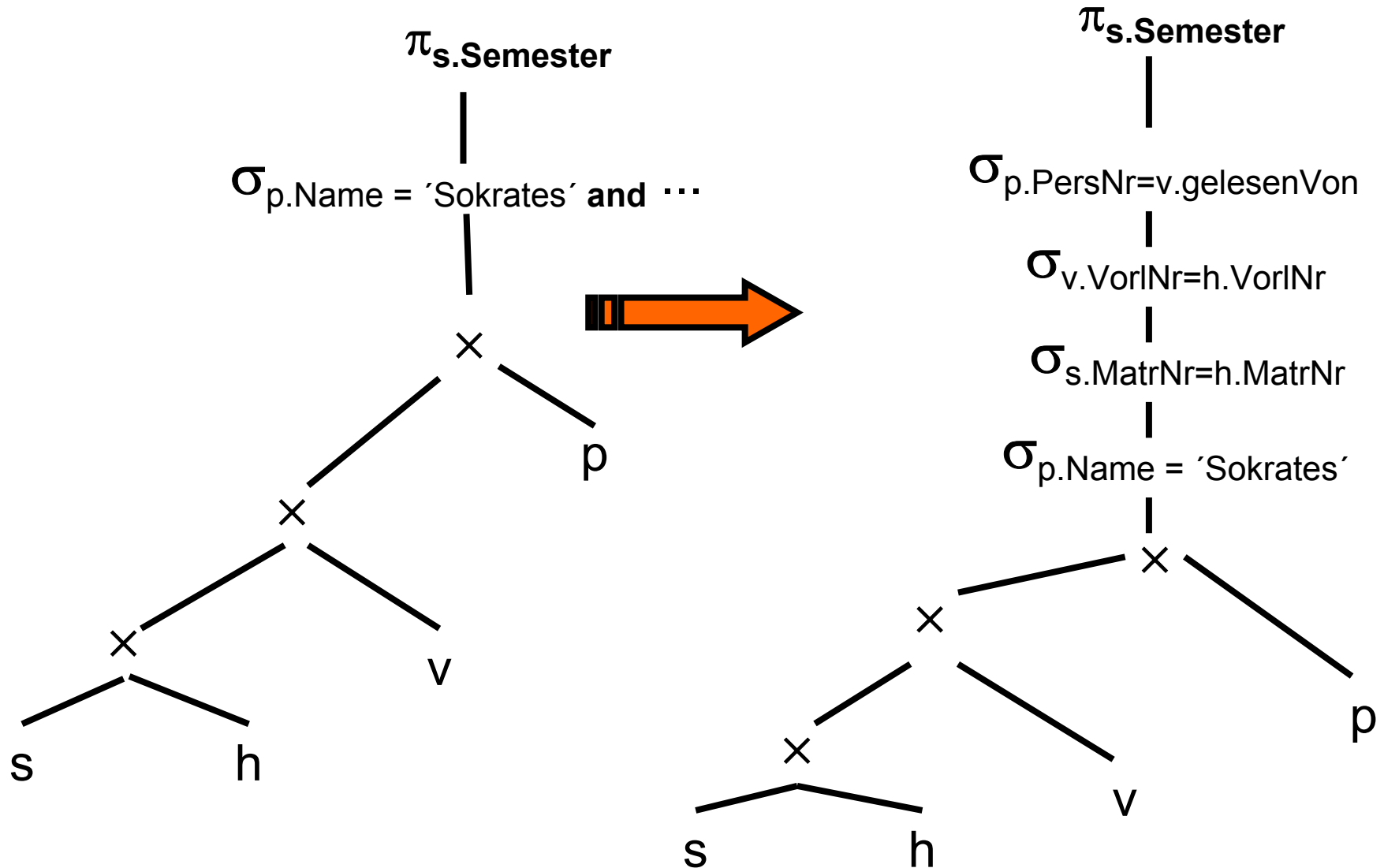
select distinct s.Semester
from Studenten s, hören h

Vorlesungen v, Professoren p

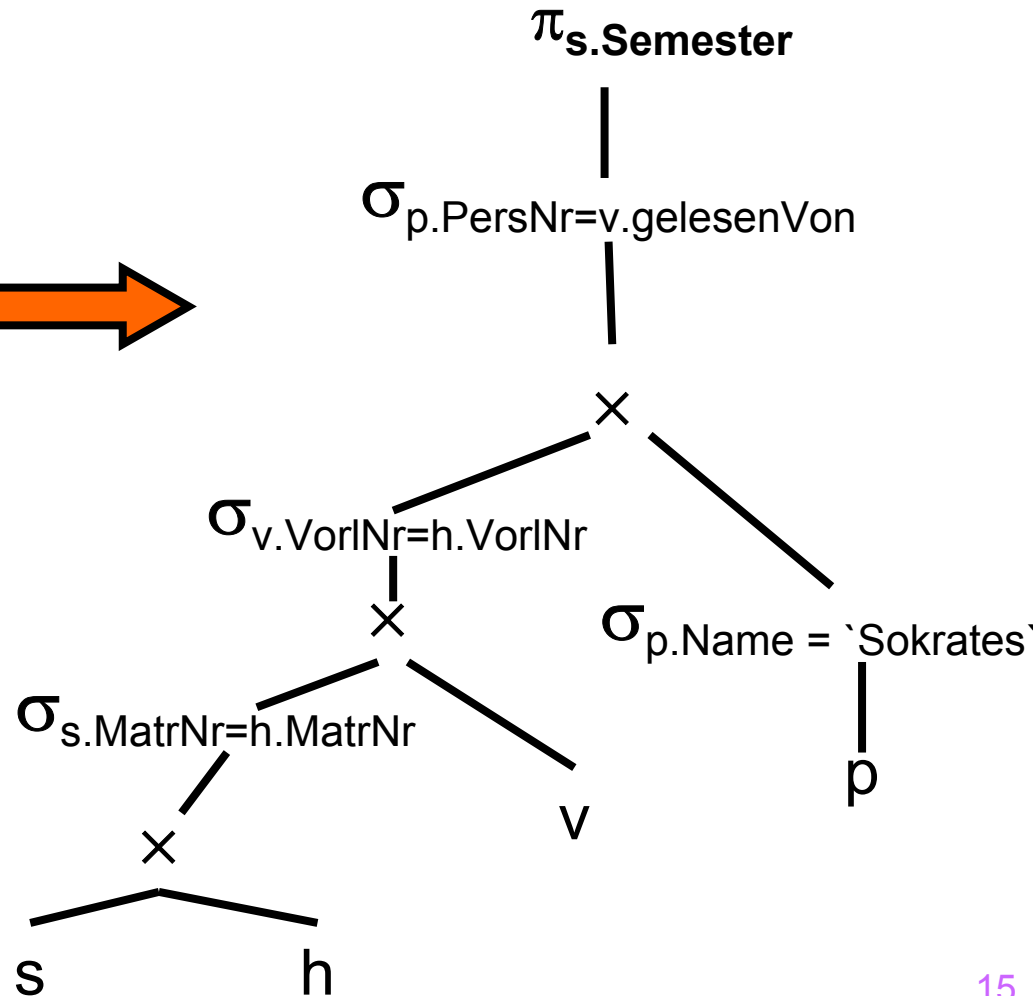
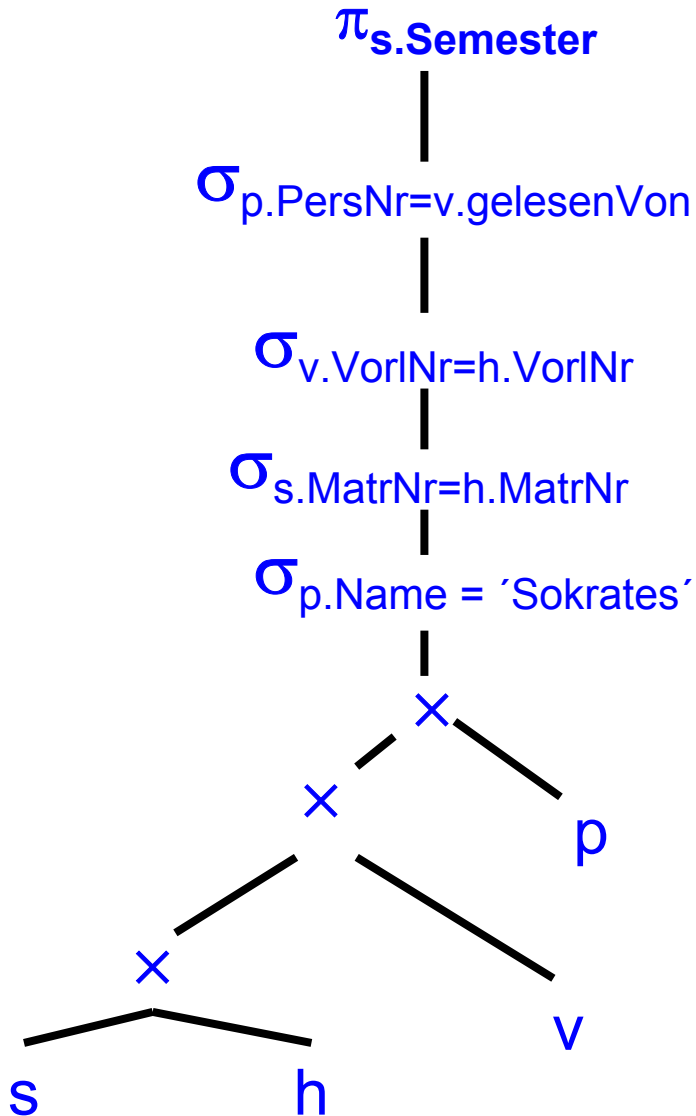
where p.Name = 'Sokrates' **and**
v.gelesenVon = p.PersNr **and**
v.VorlNr = h.VorlNr **and**
h.MatrNr = s.MatrNr



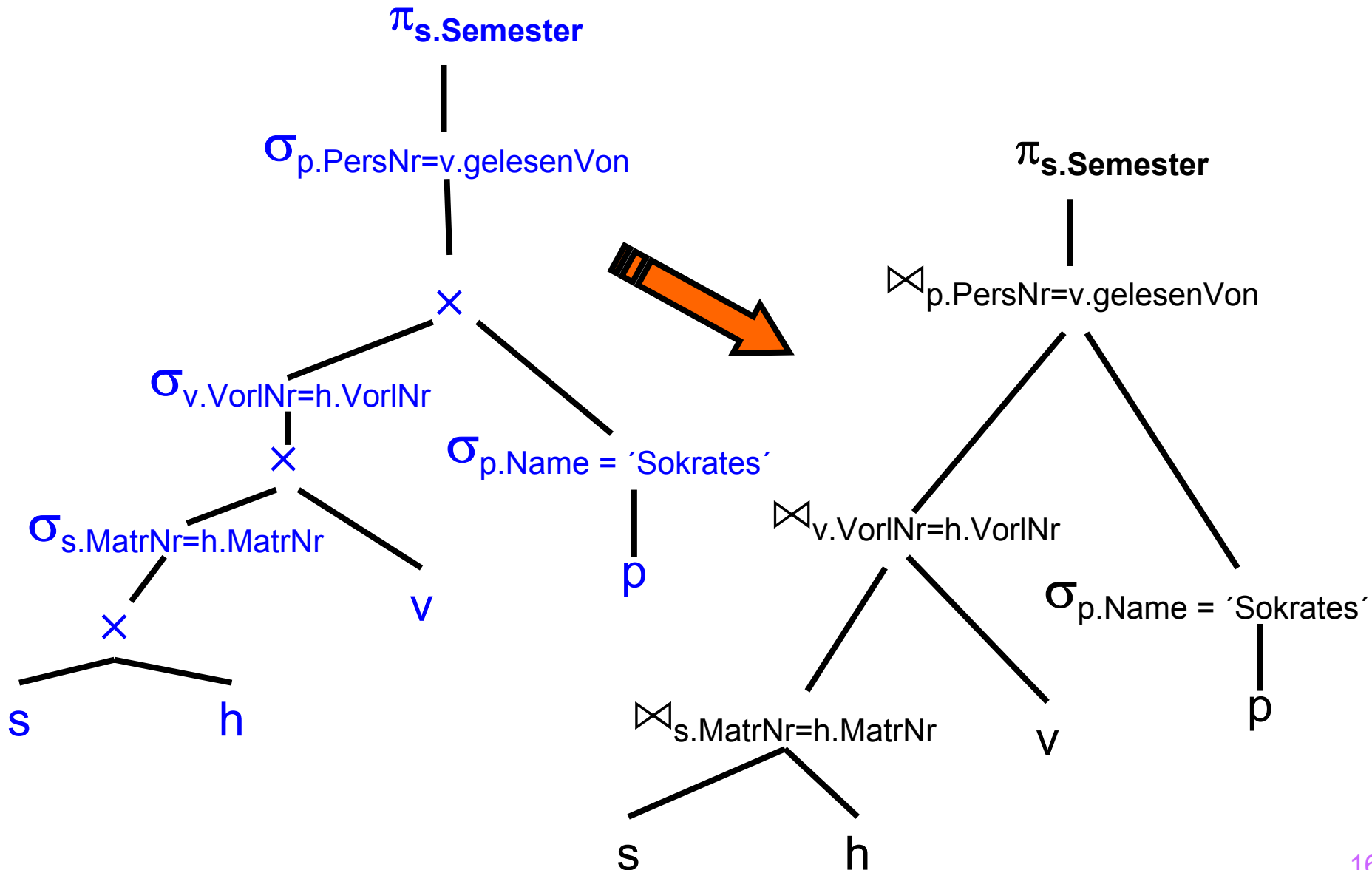
Aufspalten der Selektionsprädikate



Verschieben der Selektionsprädikate „Pushing Selections“

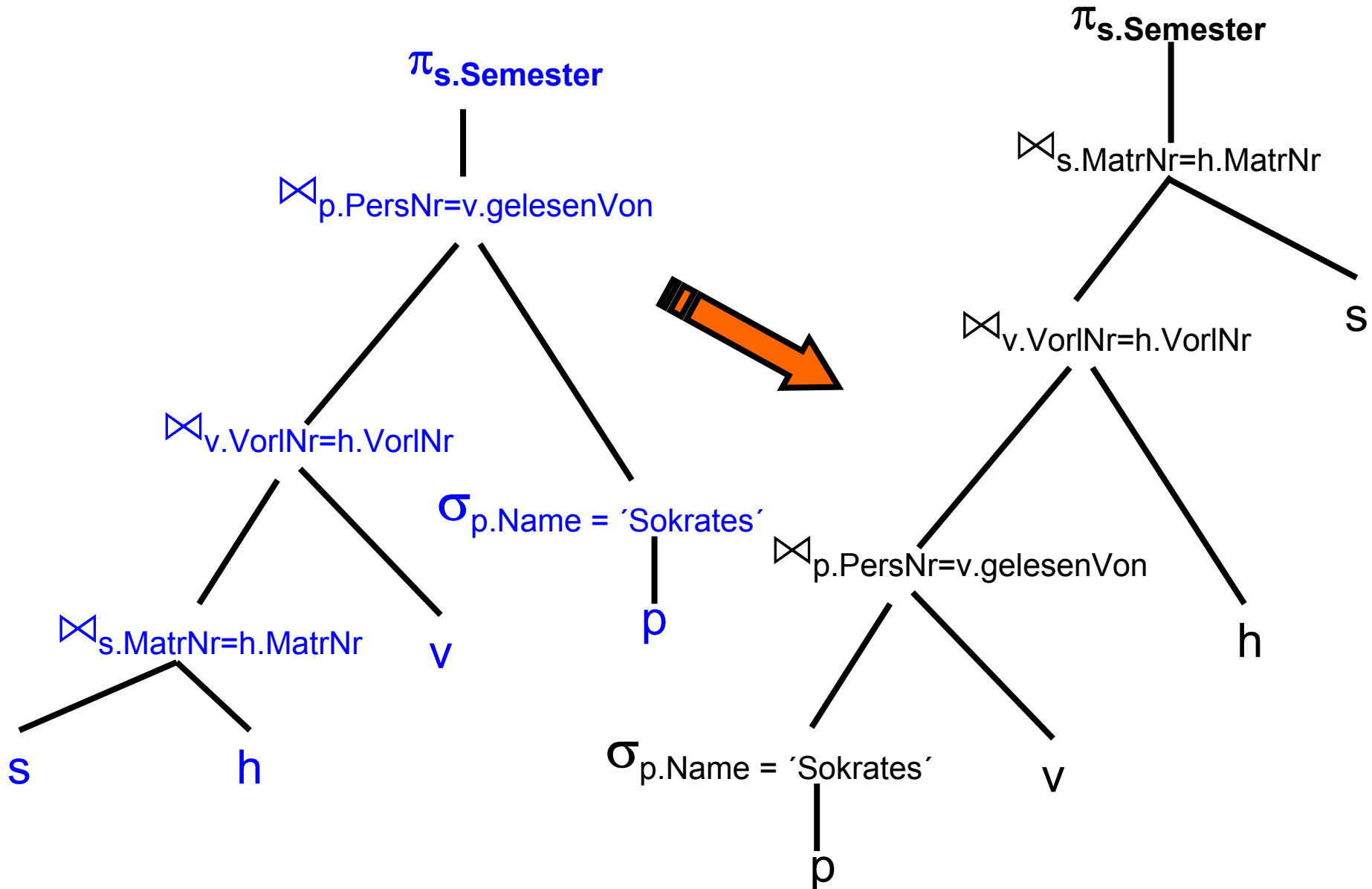


Zusammenfassung von Selektionen und Kreuzprodukten zu Joins

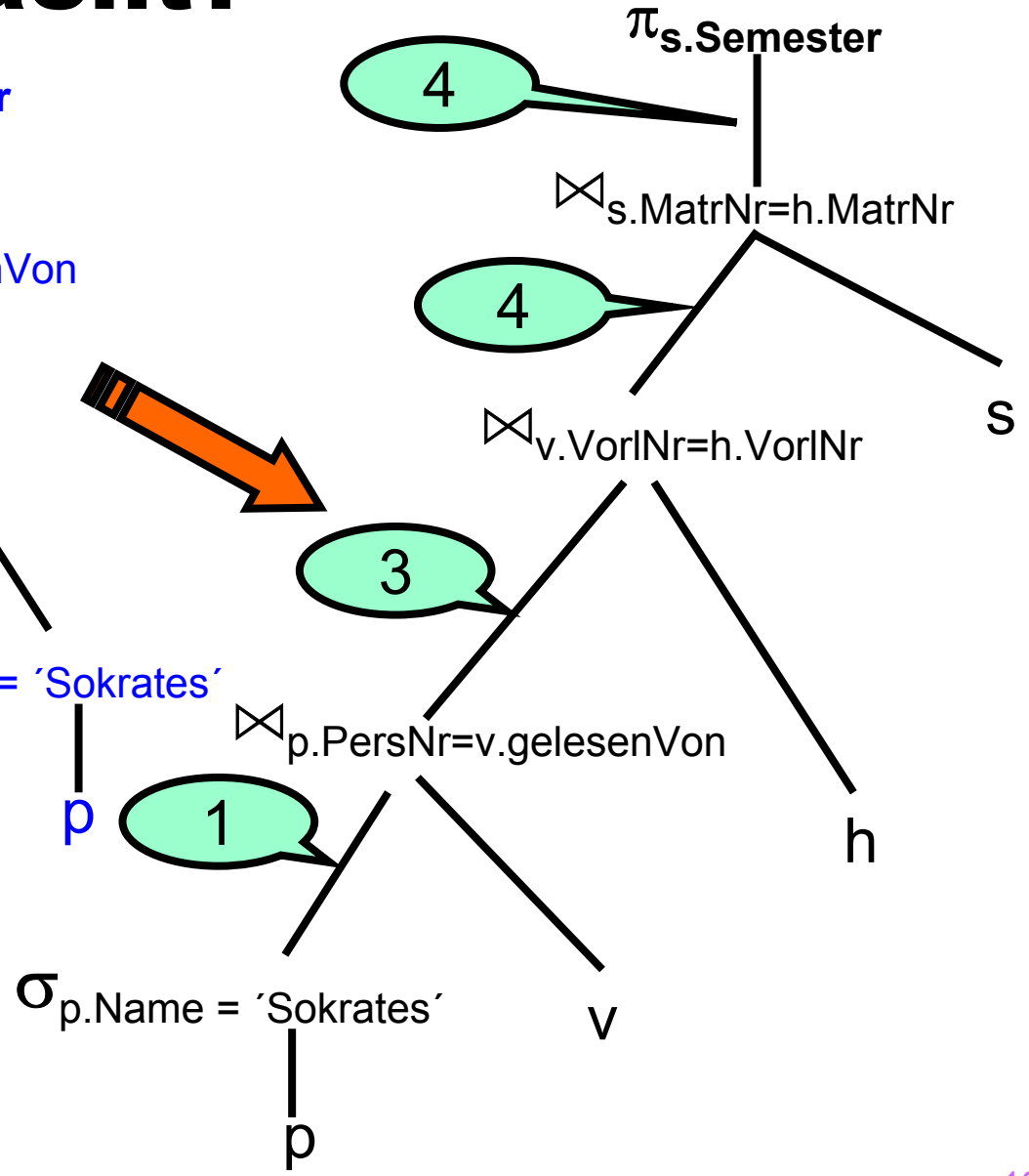
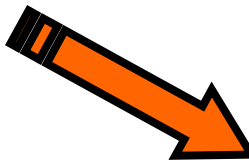
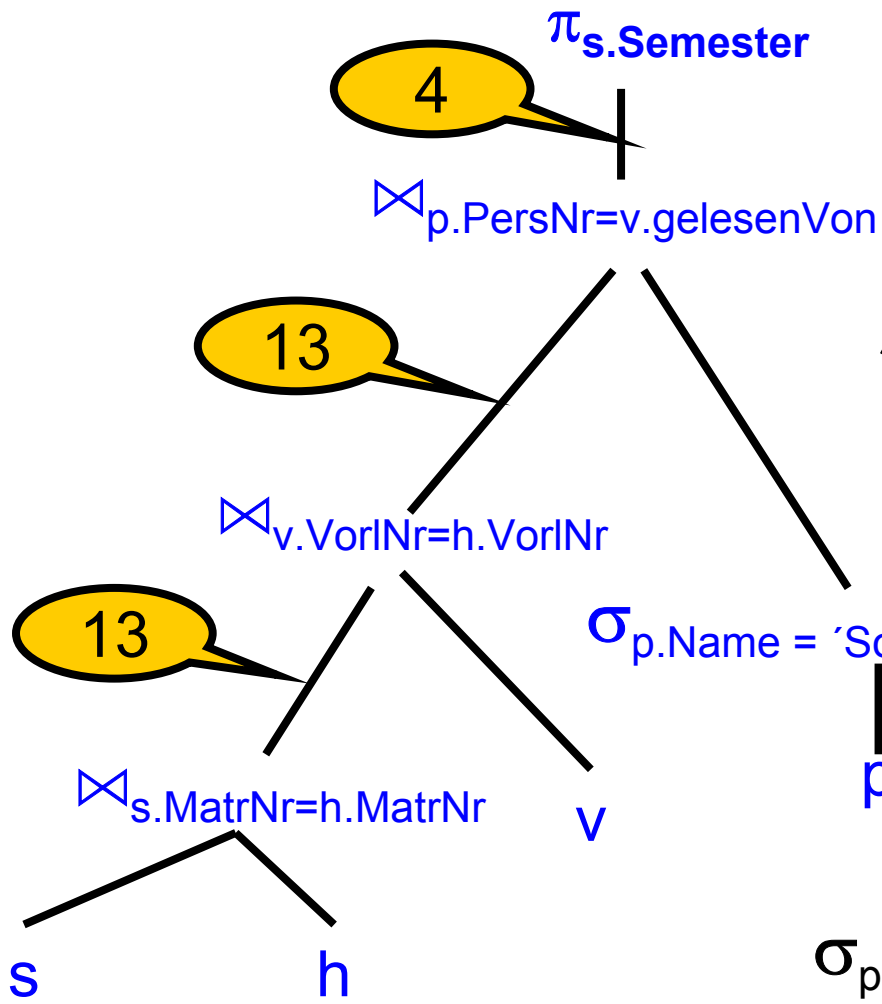


Optimierung der Joinreihenfolge

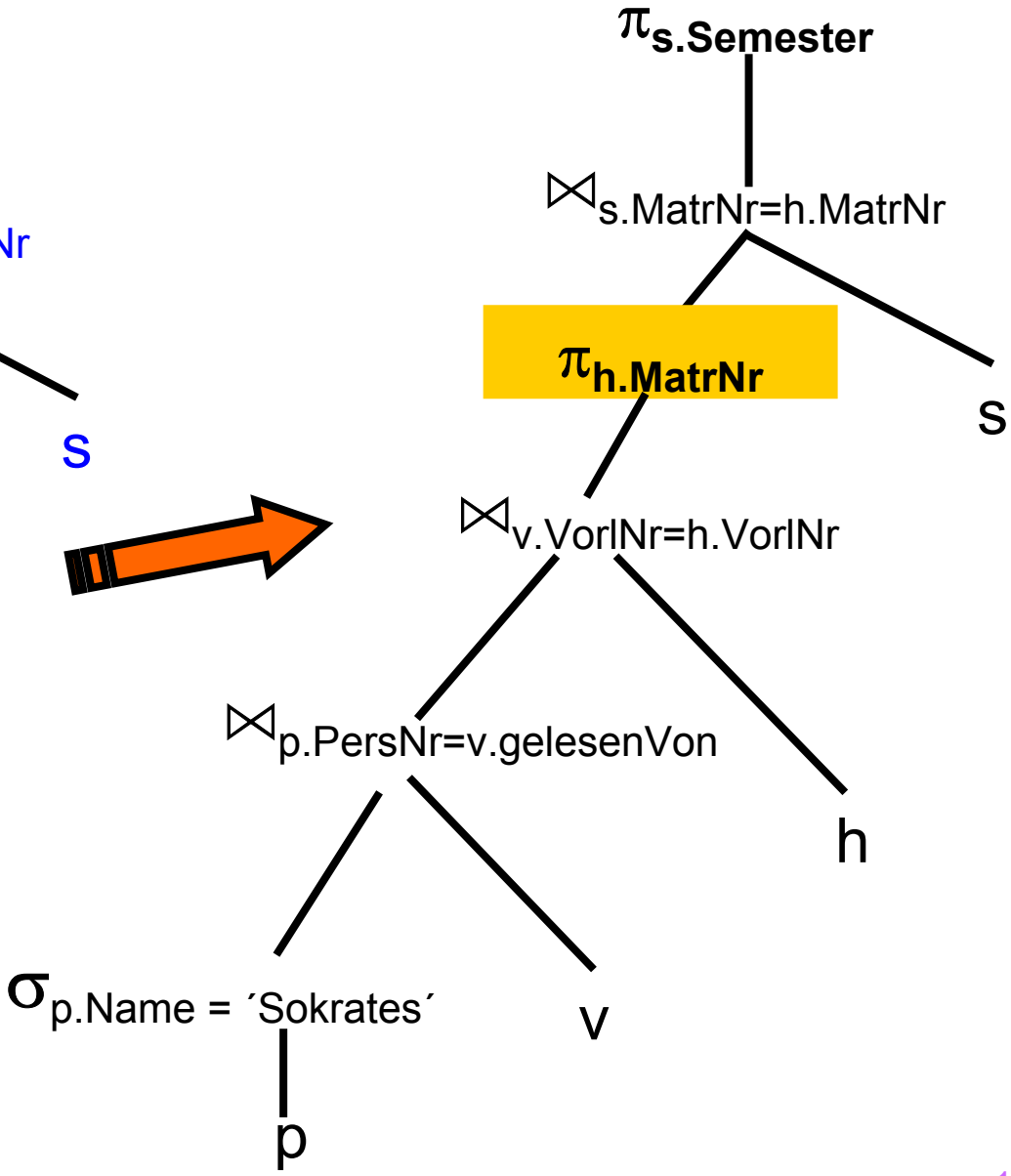
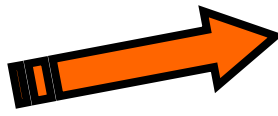
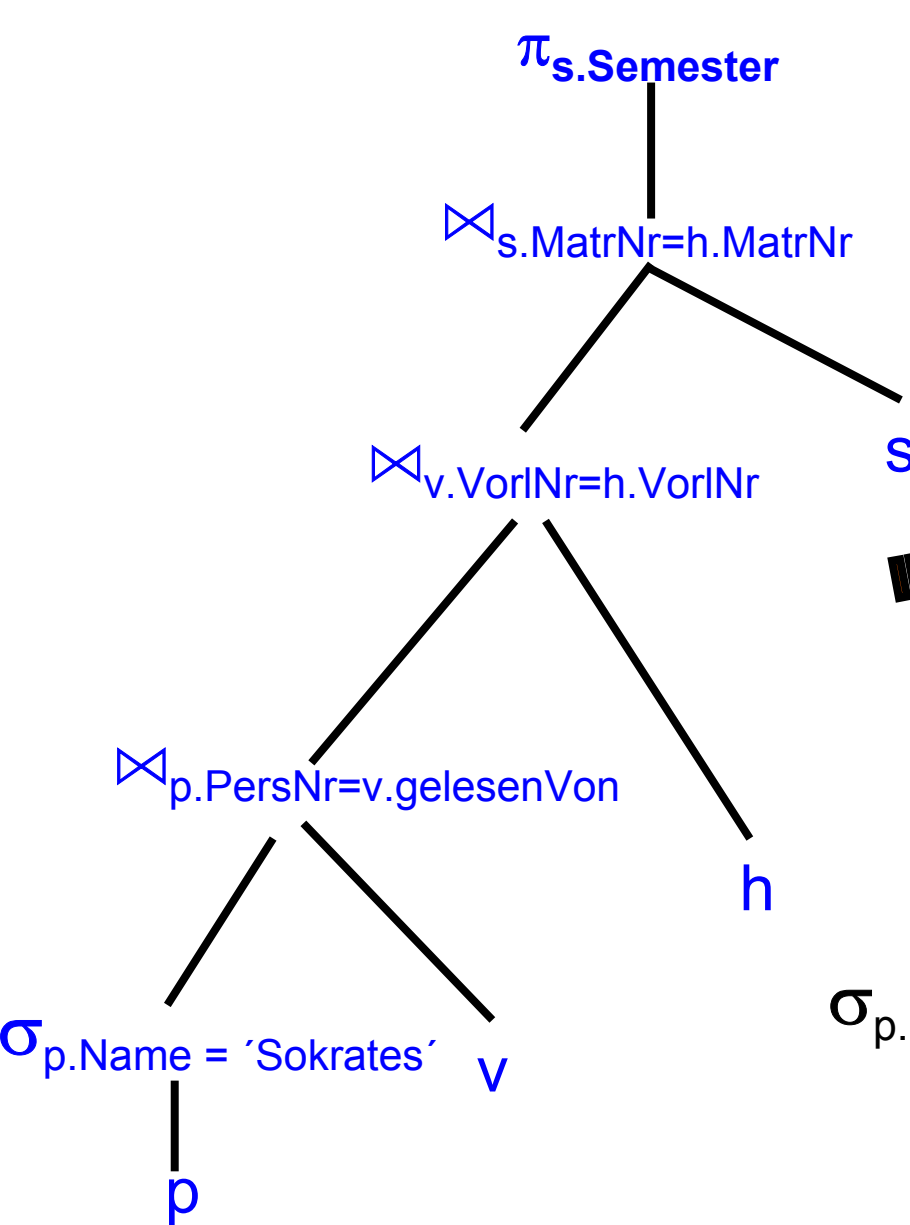
Kommutativität und Assoziativität ausnutzen



Was hat's gebracht?



Einfügen von Projektionen



Der natürliche Verbund zweier Relationen R und S

R			S			$R \bowtie S$				
A	B	C	C	D	E	A	B	C	D	E
a_1	b_1	c_1	c_1	d_1	e_1	a_1	b_1	c_1	d_1	e_1
a_2	b_2	c_2	c_3	d_2	e_2					
a_3	b_3	c_1	c_4	d_3	e_3	a_3	b_3	c_1	d_1	e_1
a_4	b_4	c_2	c_5	d_4	e_4					
a_5	b_5	c_3	c_7	d_5	e_5	a_5	b_5	c_3	d_2	e_2
a_6	b_6	c_2	c_8	d_6	e_6					
a_7	b_7	c_6	c_5	d_7	e_7					

Implementierung der Verbindung: Strategien

J1 nested (inner-outer) loop

- „brute force“-Algorithmus

```
foreach  $r \in R$   
  foreach  $s \in S$   
    if  $s.B = r.A$  then  $Res := Res \cup (r \circ s)$ 
```

iterator NestedLoop_p

open

- Öffne die linke Eingabe

next

- Rechte Eingabe geschlossen?
 - Öffne sie
- Fordere rechts solange Tupel an, bis Bedingung p erfüllt ist
- Sollte zwischendurch rechte Eingabe erschöpft sein
 - Schließe rechte Eingabe
 - Fordere nächstes Tupel der linken Eingabe an
 - Starte **next** neu
- Gib den Verbund von aktuellem linken und aktuellem rechten Tupel zurück

close

- Schließe beide Eingabequellen

Implementierung der Verbindung: Strategien

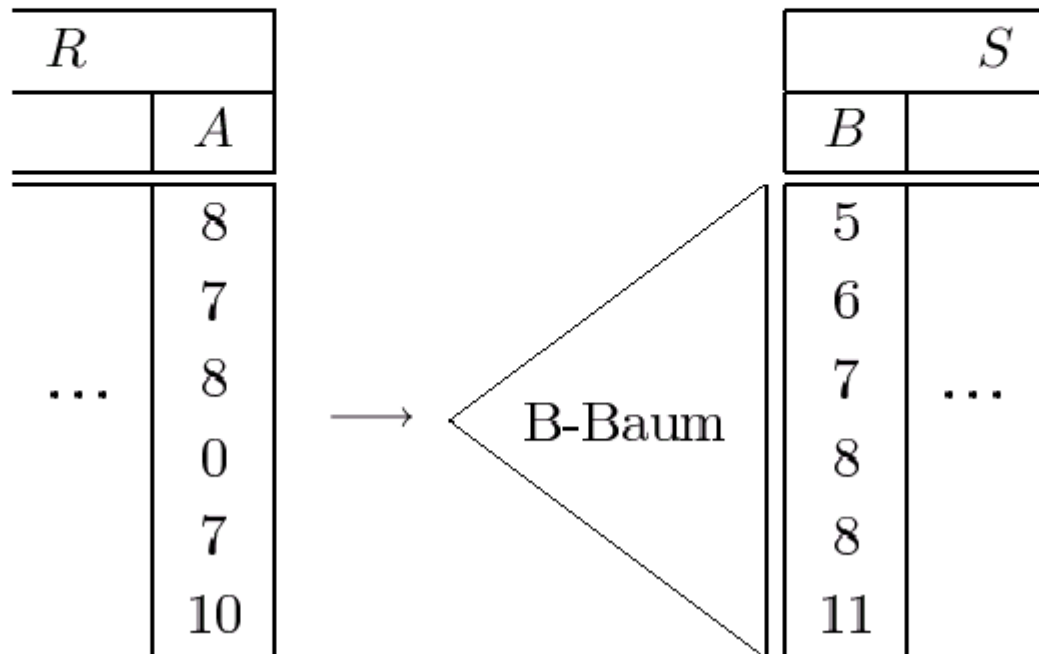
J2 Zugriffsstruktur auf S *Index Nested Loop Join*

- in jedem Durchlauf von R werden nur die in S qualifizierenden Tupel gelesen
- dazu ist ein Index auf B erforderlich

```
foreach  $r \in R$   
  foreach  $s \in S[B=r.A]$   
     $Res := Res \cup (r \circ s)$ 
```

Index-Join

Beispiel:



Implementierung der Verbindung: Strategien

J3 Sort-Merge Join

- erfordert zwei Sortierungen
 1. R muss nach A und
 2. S nach B sortiert sein
- sehr effizient
- falls A oder B Schlüsselattribut ist, wird jedes Tupel in R und S nur genau einmal gelesen

R

...	A
...	5
...	5
...	5
...	5
...	6
...	6
...	6
...	7
...	7
...	7
...	7

S

B	...
4	...
4	...
4	...
5	...
5	...
6	...
7	...
7	...
7	...
8	...

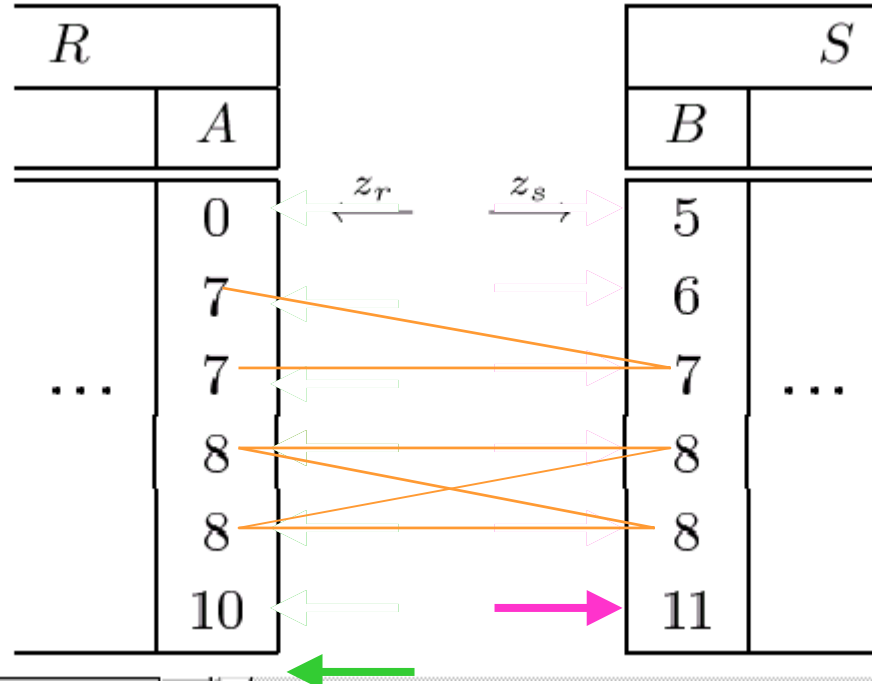
Ergebnis:

...A	B...
...5	5...
...5	5...
...5	5...
...5	5...
...5	5...
...5	5...
...6	6...
...6	6...
...6	6...
...7	7...

Der Merge-Join

- Voraussetzung: R und S sind sortiert (notfalls vorher sortieren)

Beispiel:



Implementierung der Verbindung: Strategien

J4 Hash-Join

- R und S werden mittels der gleichen Hashfunktion h – angewendet auf $R.A$ und $S.B$ – auf (dieselben) Hash-Buckets abgebildet
- Hash-Buckets sind i.Allg. auf Hintergrundspeicher (abhängig von der Größe der Relationen)
- Zu verbindende Tupel befinden sich dann im selben Bucket
- Wird (nach praktischen Tests) nur von J3 „geschlagen“, wenn die Relationen schon vorsortiert sind

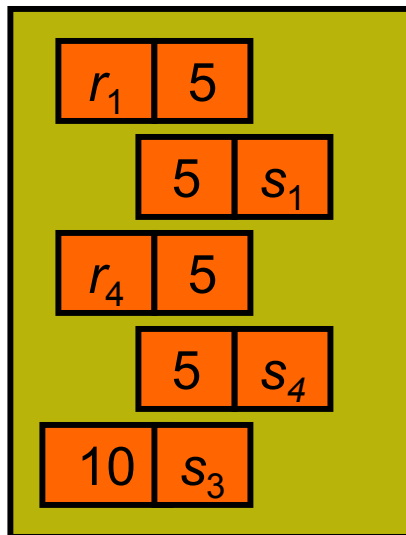
Implementierung der Verbindung: Strategien

R	A
...	
r_1	5
r_2	7
r_3	8
r_4	5

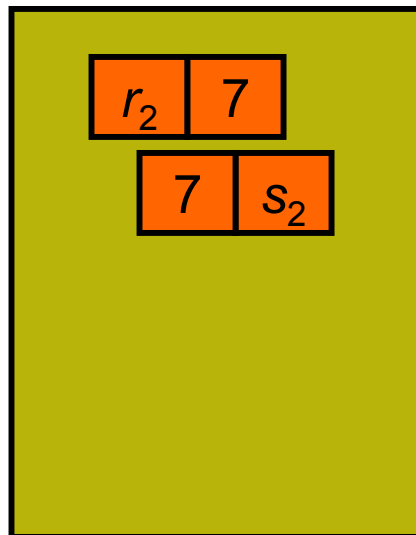
S	B
	...
5	s_1
7	s_2
10	s_3
5	s_4

$h(A)$ ↓

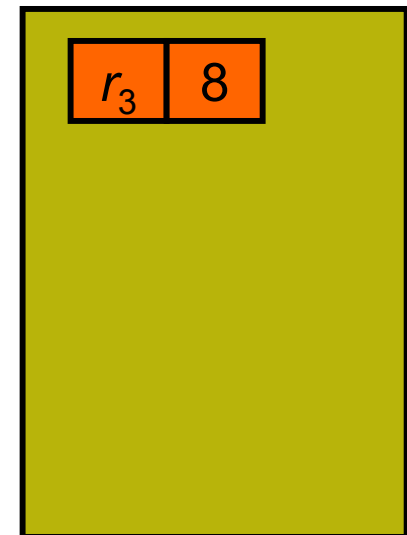
↓ $h(B)$



Bucket 1



Bucket 2



Bucket 3