Vorlesung Datenbanksysteme vom 16.11.2015

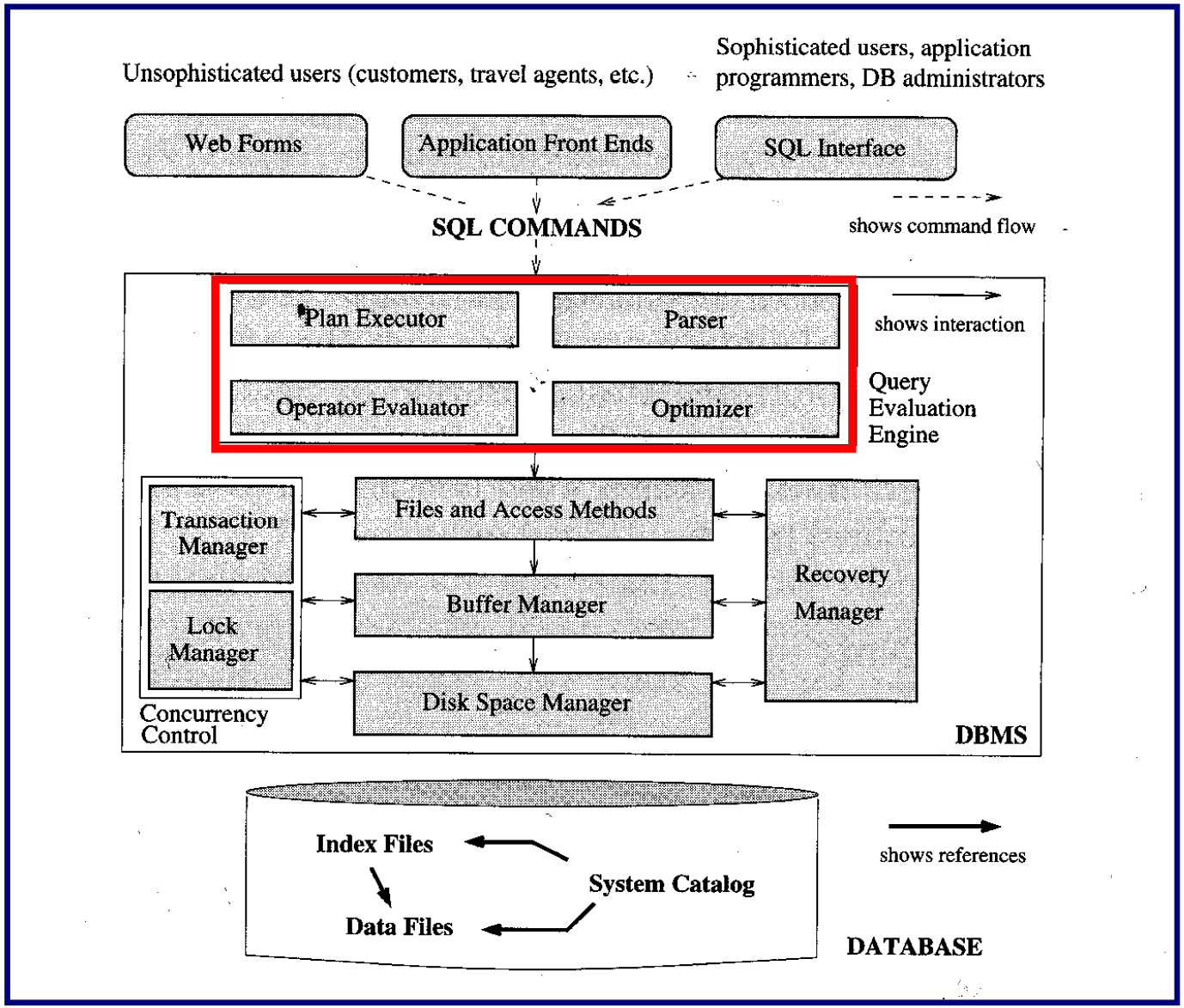
Anfragebearbeitung 1

- Architektur eines DBMS
- Logische Optimierung
- Physische Optimierung
- Kostenmodelle + „Tuning“

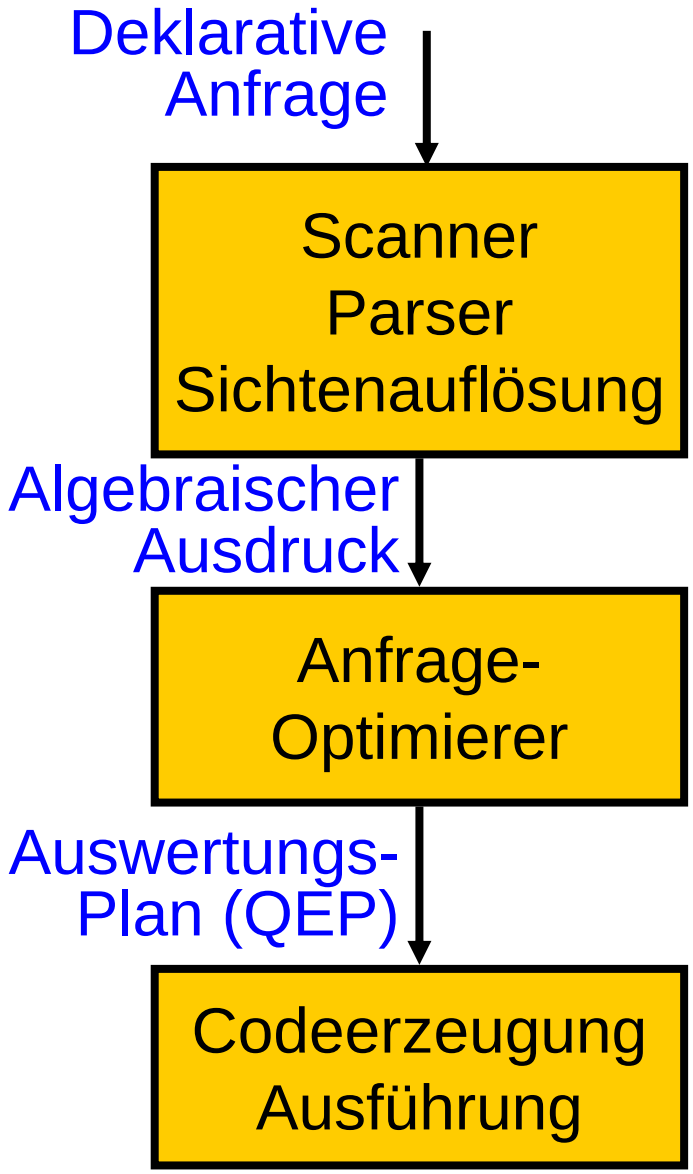
Architektur eines DBMS

- SW-Komponenten der Anfragebearbeitung

Architektur eines DBMS



Ablauf der Anfragebearbeitung

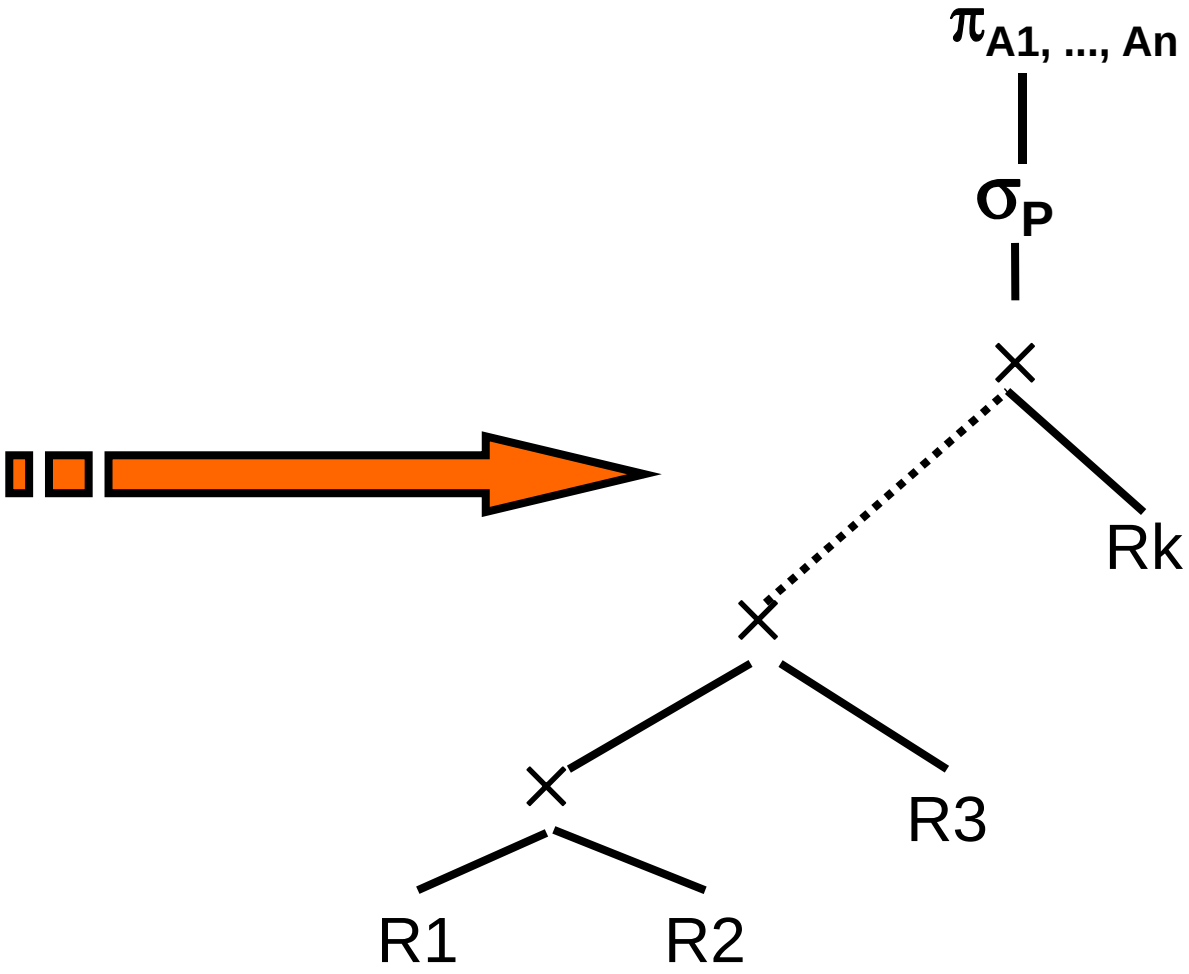


Parser (+ Scanner, Sichtauflösung)

- DBMS erhält SQL-Kommandos von den unterschiedlichen Benutzer-Schnittstellen. SQL-Kommandos können auch in Anwendungsprogramme eingebettet sein.
- Parser übersetzt SQL-Anfrage in einen Ausdruck der relationalen Algebra (üblicherweise: Baumdarstellung)
- Sichtenauflösung: An den Blättern des Baumes stehen nur konstante Ausdrücke oder Tabellen der DB (keine "Views")
- "kanonische" Übersetzung: select ... from ... where:
  - Tabellen in from-Klausel: mit $\times$ verknüpft
  - Prädikat P in where-Klausel: Selektion σ_P
  - Attribute A_1, ..., A_n in select-Klausel: Projektion $\pi_{A1, ..., An}$

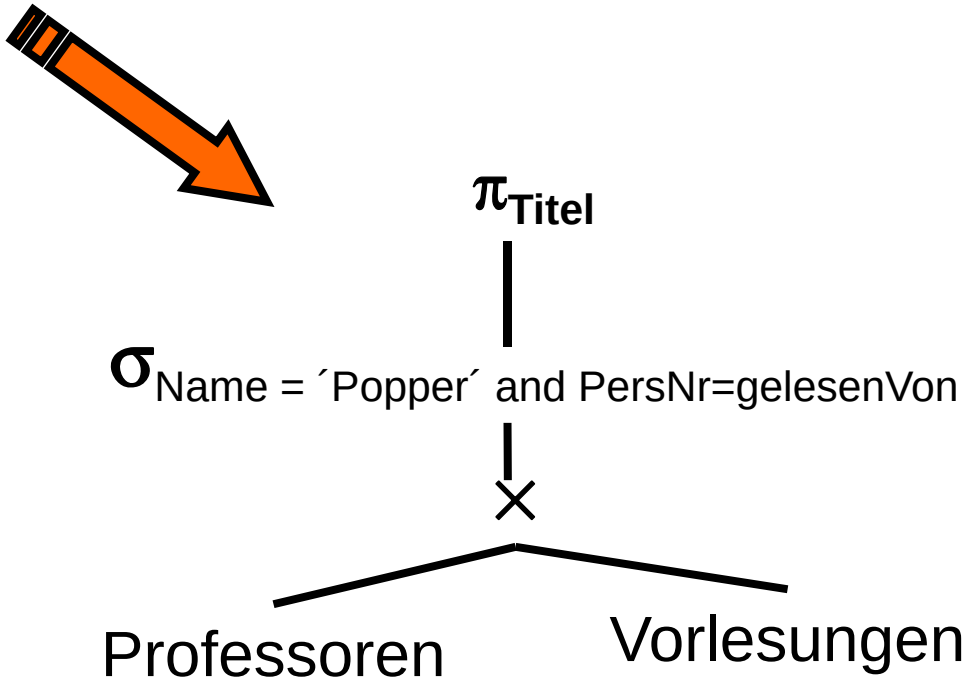
Kanonische Übersetzung

select A1, ..., An
from R1, ..., Rk
where P



Kanonische Übersetzung

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



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

Anfrage-Optimierer

- Anfrage-Optimierer: erstellt einen Auswertungsplan
  (QEP: Query evaluation/execution plan)
  - Welche relationalen Operatoren werden wie und in welcher Reihenfolge ausgeführt?
  - Wie werden die Daten aus den einzelnen Tabellen geholt?
- "Optimierung":
  - Setzt ein Kostenmodell voraus: in erster Linie I/O-Kosten; daneben aber auch CPU-Zeit.
  - Ideale Vorstellung: suche QEP mit minimalen Kosten.
  - Realistisch:
    - Anfrageoptimierer untersucht einen Teil der möglichen QEPs
    - Bewertung der Alternativen durch Kosten-**Schätzungen**
    - Ziel: Auswahl einer einigermaßen guten Variante.

Logische vs. Physische Optimierung

- Logische Optimierung:
  - Zu einem Ausdruck der relationalen Algebra gibt es im allgemeinen viele äquivalente Ausdrücke.
  - Anordnung der relationalen Operatoren hat großen Einfluss auf Anzahl der Tupel, die weiterverarbeitet werden müssen.
- Physische Optimierung:
  - Für den Zugriff auf eine Tabelle gibt es im allgemeinen mehrere Zugriffsmethoden.
  - Für die Abarbeitung einer relationalen Operation gibt es im allgemeinen mehrere Implementierungsmethoden.
  - Auswahl der Zugriffs-/Implementierungsmethode hat großen Einfluss auf die Kosten (I/O, CPU, ...).

Grundsätze der Anfrage-Optimierung

- Sehr hohes Abstraktionsniveau der mengenorientierten Schnittstelle (SQL): sie ist deklarativ, nicht-prozedural, d.h.
  - es wird spezifiziert, was man finden möchte
  - aber nicht, wie man es finden möchte.
- Zu einem was kann es zahlreiche wie‘s geben.
- Das wie wird durch die logische und physische Optimierung bestimmt, d.h.: welche Operationen in welcher Reihenfolge auf welche Art?
- Im allgemeinen wird aber nicht der optimale Auswertungsplan gesucht (bzw. gefunden) sondern eine einigermaßen effiziente Variante, d.h.: Ziel: "avoiding the worst case"

Plan Executor, Operator Evaluator

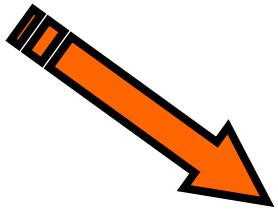
- Abarbeitung des Auswertungsplans:
  kompilierter Code oder interpretativ
- Bausteine des Abarbeitungsplans:
  - Zugriffsmethoden auf die Tabellen der DB
  - Implementierung der relationalen Operatoren
- Grundidee bei Implementierung:
  - Einheitliche Schnittstellen der (Realsierung der) relationalen Operatoren: "Iterator" (siehe nächster VO-Termin)
  - Kombinierbarkeit: Auswahl einer konkreten Implementierung für einen relationalen Operator ist im Prinzip unabhängig von der Implementierung eines anderen Operators.

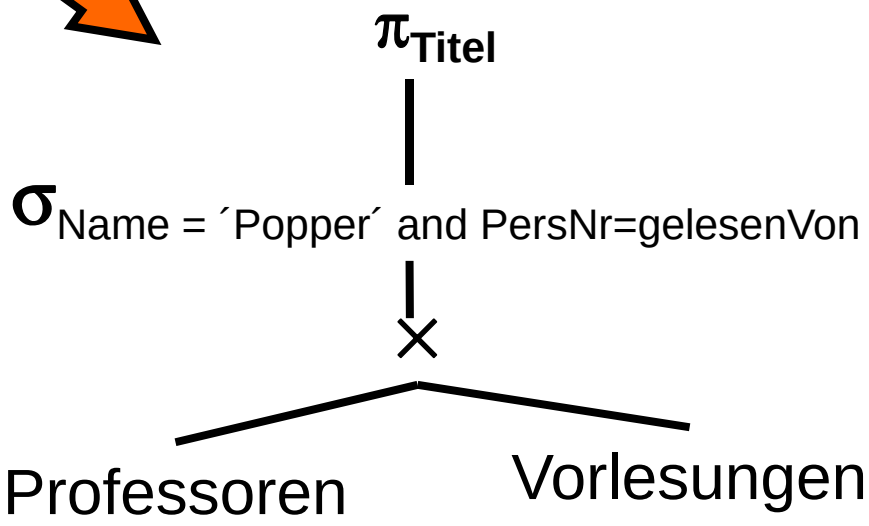
Logische Optimierung

- Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln für relationale Ausdrücke
- Anwendung dieser Transformationsregeln

Kanonische Übersetzung

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





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

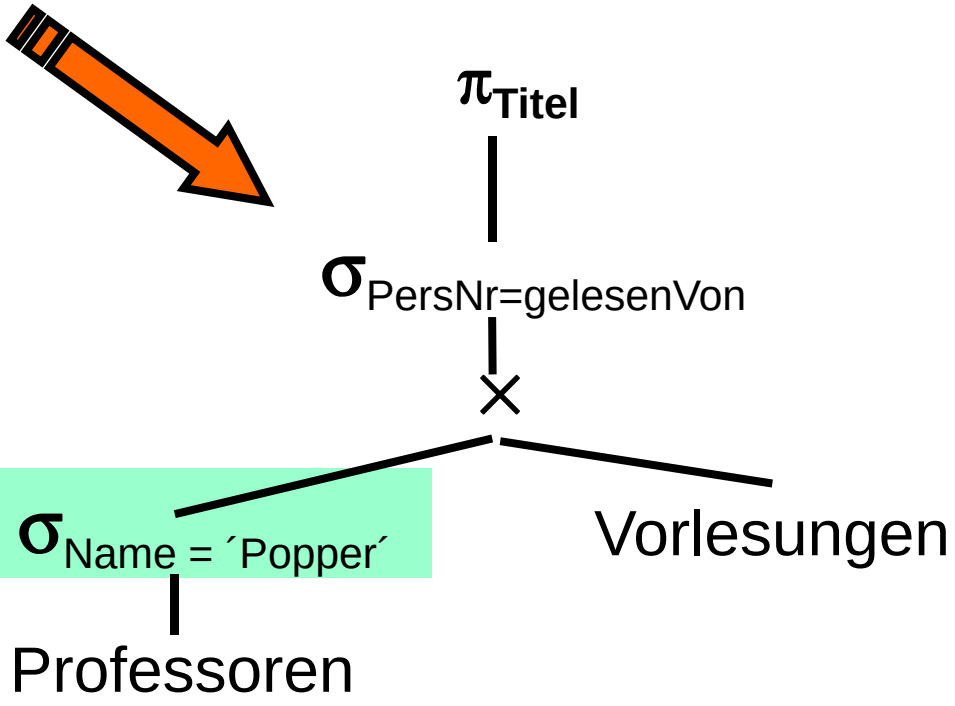
Erste Optimierungsidee

select Titel

from Professoren, Vorlesungen

where Name = ´Popper´ **and**

PersNr = gelesenVon



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

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

1. Aufbrechen von Konjunktionen im Selektionsprädikat

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

2. σ ist kommutativ

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

Beispiel:

$$\sigma_{\text{Name = ´Popper´} \wedge \text{ PersNr=gelesenVon}}(\text{Professoren} \times \text{Vorlesungen}) \equiv$$

$$\sigma_{\text{Name = ´Popper´}}(\sigma_{\text{ PersNr=gelesenVon}}(\text{Professoren} \times \text{Vorlesungen})) \equiv$$

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

Professoren				Vorlesungen			
PersNr	Name	Rang	Raum	VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
2133	Popper	C3	52	5259	Der Wiener Kreis	2	2133

Die relationale Uni-DB

Professoren			
PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

voraussetzen	
Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

hören	
MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
28106	5041
28106	5052
28106	5216
28106	5259
29120	5001
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022

Assistenten			
PersInr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2126

prüfen			
MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1
25403	5041	2125	2
27550	4630	2137	2

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

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

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

Beispiel:

Π_{Rang} ($\Pi_{\text{Name, Rang}}$ ($\Pi_{\text{PersNr, Name, Rang}}$ (Professoren))) ≡

Π_{Rang} ($\Pi_{\text{Name, Rang}}$ (Professoren)) ≡

Π_{Rang} (Professoren)

Π_{Rang}(Professoren)
Rang
C4
C3

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

4. Vertauschen von σ und π

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

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

Beispiel:

$\sigma_{\text{Semester} > 10}\,(\Pi_{\text{Name, Semester}}\,(\text{Studenten})) \equiv$
$\Pi_{\text{Name, Semester}}\,(\sigma_{\text{Semester} > 10}\,(\text{Studenten}))$

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12

Die relationale Uni-DB

Professoren			
PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

voraussetzen	
Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

hören	
MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
28106	5041
28106	5052
28106	5216
28106	5259
29120	5001
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022

Assistenten			
PersInr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2126

prüfen			
MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1
25403	5041	2125	2
27550	4630	2137	2

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

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

$$R \times S \equiv S \times R$$

$$R \cup S \equiv S \cup R$$

$$R \cap S \equiv S \cap R$$

$$R \bowtie S \equiv S \bowtie R$$

$$R \bowtie_\theta S \equiv S \bowtie_\theta R$$

Bemerkung:

- Die Reihenfolge der Zeilen einer Tabelle ist irrelevant.
  $\Rightarrow$ Reihenfolge bei $R \cup S$, $S \cup R$, $R \cap S$, $S \cap R$ ist egal.
- Die Spalten (Attribute) einer Tabelle haben unterschiedliche Namen. $\Rightarrow$ Die Reihenfolge der Spalten ist irrelevant.
  $\Rightarrow$ Reihenfolge bei $R \times S$, $R \bowtie S$, $R \bowtie_\theta S$ ist egal.

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:

$$\sigma_c(R \bowtie_\theta S) \equiv \sigma_c(R) \bowtie_\theta S$$

Falls $c = c_1 \wedge c_2$, so dass sich c_1 nur auf Attribute aus R und c_2 nur auf Attribute aus S bezieht, dann gilt:

$$\sigma_c(R \bowtie_\theta S) \equiv \sigma_{c1}(R) \bowtie_\theta (\sigma_{c2}(S))$$

Beispiele:

$\sigma_{\text{Name = ´Popper´}}$ (Professoren $\bowtie_{\text{PersNr=gelesenVon}}$ Vorlesungen) ≡
$\sigma_{\text{Name = ´Popper´}}$ (Professoren) $\bowtie_{\text{PersNr=gelesenVon}}$ Vorlesungen

$\sigma_{\text{Rang = ´C4´} \wedge \text{SWS} \geq 4}$ (Professoren $\bowtie_{\text{PersNr=gelesenVon}}$ Vorlesungen) ≡
$\sigma_{\text{Rang = ´C4´}}$ (Professoren) $\bowtie_{\text{PersNr=gelesenVon}}$ $\sigma_{\text{SWS} \geq 4}$ (Vorlesungen)

$\sigma_{Name = ´Popper´}$ (Professoren) $\bowtie_{PersNr=gelesenVon}$ Vorlesungen

Professoren				Vorlesungen			
PersNr	Name	Rang	Raum	VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
2133	Popper	C3	52	5259	Der Wiener Kreis	2	2133

$\sigma_{Rang = ´C4´}$ (Professoren) $\bowtie_{PersNr=gelesenVon}$ $\sigma_{SWS \geq 4}$ (Vorlesungen)

Professoren				Vorlesungen			
PersNr	Name	Rang	Raum	VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
2137	Kant	C4	7	5001	Grundzüge	4	2137
2125	Sokrates	C4	226	5041	Ethik	4	2125
2125	Sokrates	C4	226	4052	Logik	4	2125
2137	Kant	C4	7	4630	Die 3 Kritiken	4	2137

Die relationale Uni-DB

Professoren			
PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

voraussetzen	
Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

hören	
MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
28106	5041
28106	5052
28106	5216
28106	5259
29120	5001
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022

prüfen			
MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1
25403	5041	2125	2
27550	4630	2137	2

Assistenten			
PersINr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2126

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

7a. Vertauschung von π mit ⋈

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

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

Beispiel:

$$\Pi_{PersNr,Name,Titel} (Professoren \bowtie \rho_{PersNr \leftarrow gelesenVon} (Vorlesungen)) \equiv$$
$$\Pi_{PersNr,Name} (Professoren) \bowtie \Pi_{PersNr,Titel} (\rho_{PersNr \leftarrow gelesenVon} (Vorlesungen))$$

PersNr	Name	Titel
2137	Kant	Grundzüge
2125	Sokrates	Ethik
...	...	...

Die relationale Uni-DB

Professoren			
PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

voraussetzen	
Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

hören	
MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
28106	5041
28106	5052
28106	5216
28106	5259
29120	5001
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022

Assistenten			
PersInr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2126

prüfen			
MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1
25403	5041	2125	2
27550	4630	2137	2

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

7b. Vertauschung von π mit $\bowtie$

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

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

Beispiel:

$$\Pi_{Name,Titel} (Professoren \bowtie_{PersNr=gelesenVon} Vorlesungen) \equiv$$
$$\Pi_{Name,Titel} (\Pi_{Name,PersNr} (Professoren) \bowtie_{PersNr=gelesenVon} \Pi_{Titel,gelesenVon} (Vorlesungen))$$

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

7c. Vertauschung von π mit $\times$

Bemerkung: Bei der $\times$-Operation gibt es kein Prädikat. Daher entfallen hier die Einschränkungen von 7a und 7b.

Es gilt also immer:

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

Beispiel:

$\Pi_{\text{Name,Titel}}$ (Professoren $\times$ Vorlesungen) $\equiv$
Π_{Name} (Professoren) $\times$ Π_{Titel} (Vorlesungen)

Name	Titel
Sokrates	Grundzüge
Sokrates	Ethik
Sokrates	Erkenntnistheorie
...	...

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

8. Die Operationen $\bowtie$, $\times$, $\cup$, $\cap$ sind jeweils (einzeln betrachtet) assoziativ, d.h.:

$$(R \bowtie S) \bowtie T \equiv R \bowtie (S \bowtie T)$$
$$(R \times S) \times T \equiv R \times (S \times T)$$
$$(R \cup S) \cup T \equiv R \cup (S \cup T)$$
$$(R \cap S) \cap T \equiv R \cap (S \cap T)$$

Beispiele:

(Studenten $\bowtie$ hören) $\bowtie$ Vorlesungen $\equiv$
Studenten $\bowtie$ (hören $\bowtie$ Vorlesungen)

$(\Pi_{\text{Name}}(\text{Professoren}) \cup \Pi_{\text{Name}}(\text{Studenten})) \cup \Pi_{\text{Name}}(\text{Assistenten}) \equiv$
$\Pi_{\text{Name}}(\text{Professoren}) \cup (\Pi_{\text{Name}}(\text{Studenten}) \cup \Pi_{\text{Name}}(\text{Assistenten}))$

(Studenten ⋈ hören) ⋈ Vorlesungen						
MatrNr	Name	Semester	VorlNr	Titel	SWS	gelesenVon
26120	Fichte	10	5001	Grundzüge	4	2137
27550	Schopenhauer	6	5001	Grundzüge	4	2137
27550	Schopenhauer	6	4052	Logik	4	2125
28106	Carnap	3	5041	Ethik	4	2125
28106	Carnap	3	5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
28106	Carnap	3	5216	Bioethik	2	2126
28106	Carnap	3	5259	Der Wiener Kreis	2	2133
29120	Theophrastos	2	5001	Grundzüge	4	2137
29120	Theophrastos	2	5049	Mäeutik	2	2125
29555	Feuerbach	2	5022	Glaube und Wissen	2	2134
25403	Jonas	12	5022	Glaube und Wissen	2	2134

Die relationale Uni-DB

Professoren			
PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

voraussetzen	
Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

hören	
MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
28106	5041
28106	5052
28106	5216
28106	5259
29120	5001
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022

prüfen			
MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1
25403	5041	2125	2
27550	4630	2137	2

Assistenten			
PersNr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2126

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

9. Die Operation σ ist distributiv mit $\cup$, $\cap$, $-$

$$\sigma_c(R \cup S) \equiv (\sigma_c(R)) \cup (\sigma_c(S))$$
$$\sigma_c(R \cap S) \equiv (\sigma_c(R)) \cap (\sigma_c(S))$$
$$\sigma_c(R - S) \equiv (\sigma_c(R)) - (\sigma_c(S))$$

10. Die Operation π ist distributiv mit $\cup$

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

Beispiele:

$$\sigma_{Name=´Sokrates´}(\Pi_{Name}(Professoren) \cup \Pi_{Name}(Assistenten)) \equiv$$
$$\sigma_{Name=´Sokrates´}(\Pi_{Name}(Professoren)) \cup \sigma_{Name=´Sokrates´}(\Pi_{Name}(Assistenten))$$

$$\Pi_{Name,Semester}(\sigma_{Semester\leq 2}(Studenten) \cup \sigma_{Semester>10}(Studenten)) \equiv$$
$$\Pi_{Name,Semester}(\sigma_{Semester\leq 2}(Studenten)) \cup \Pi_{Name,Semester}(\sigma_{Semester>10}(Studenten))$$

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

11. Die Join- und/oder Selektionsprädikate können mittels de Morgan's Regeln umgeformt werden:

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

Beispiele:

$\neg$ (gelesenVon = 2125 $\wedge$ SWS $\geq$ 4) $\equiv$
($\neg$ gelesenVon = 2125) $\vee$ ($\neg$ SWS $\geq$ 4) $\equiv$
(gelesenVon $\neq$ 2125) $\vee$ (SWS < 4)

$\neg$ (Semester $\leq$ 2 $\vee$ Semester > 10) $\equiv$
($\neg$ Semester $\leq$ 2) $\wedge$ ($\neg$ Semester > 10) $\equiv$
(Semester > 2) $\wedge$ (Semester $\leq$ 10)

Äquivalenzerhaltende Transformationsregeln

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.

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

Beispiele:

$\sigma_{PersNr=gelesenVon}$ (Professoren $\times$ Vorlesungen) $\equiv$
Professoren $\bowtie_{PersNr=gelesenVon}$ Vorlesungen

hören $\bowtie$ Studenten $\equiv$
$\Pi_{hören.MatrNr,VorlNr,\ Name,\ Semester}\sigma_{hören.MatrNr=Studenten.MatrNr}$ (hören $\times$ Studenten)

Professoren ⋈ $_{\text{PersNr=gelesenVon}}$ Vorlesungen							
Professoren				Vorlesungen			
PersNr	Name	Rang	Raum	VorlNr	Titel	SWS	gelesenVon
2137	Kant	C4	7	5001	Grundzüge	4	2137
2125	Sokrates	C4	226	5041	Ethik	4	2125
2126	Russel	C4	232	5043	Erkenntnistheorie	3	2126
2125	Sokrates	C4	226	5049	Mäeutik	2	2125
...	...	...	...	...	...	...	...

Studenten ⋈ hören			
MatrNr	Name	Semester	VorlNr
26120	Fichte	10	5001
27550	Schopenhauer	6	5001
27550	Schopenhauer	6	4052
28106	Carnap	3	5041
...	...	...	...

Die relationale Uni-DB

Professoren			
PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

voraussetzen	
Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

hören	
MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
28106	5041
28106	5052
28106	5216
28106	5259
29120	5001
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022

Assistenten			
PersInr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2126

prüfen			
MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1
25403	5041	2125	2
27550	4630	2137	2

Heuristische Anwendung der Transformationsregeln

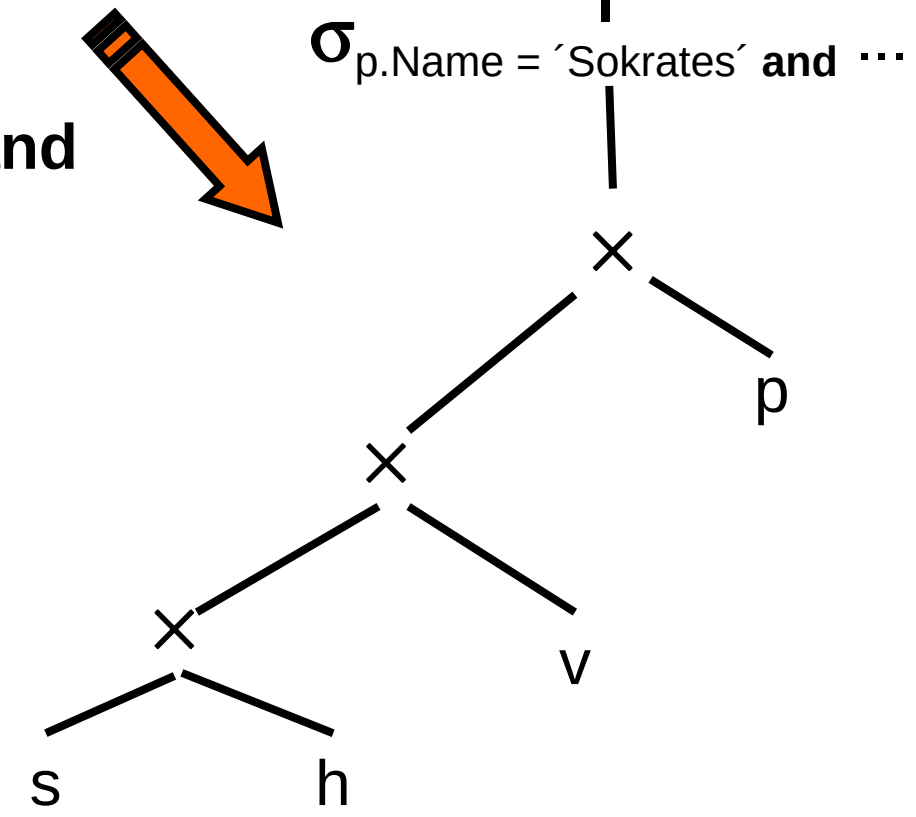
1. Mittels folgender Regel werden konjunktive Selektionsprädikate in Kaskaden von σ-Operationen zerlegt.
   - Regel 1 (Aufbrechen von Konjunktionen im Selektionsprädikat)
2. Mittels folgender Regeln werden Selektionsoperationen soweit "nach unten" propagiert wie möglich.
   - Regel 2 (Kommutativität von σ)
   - Regel 4 (Vertauschen von σ und π)
   - Regel 6 (Vertauschen von σ und $\bowtie$)
   - Regel 9 (Distributivität von σ mit $\cup$, $\cap$, $-$)
3. Mittels folgender Regeln werden die Blattknoten so vertauscht, dass derjenige, der das kleinste Zwischenergebnis liefert, zuerst ausgewertet wird.
   - Regel 5 (Kommutativität von $\bowtie$, $\times$, $\cup$, $\cap$)
   - Regel 8 (Assoziativität von $\bowtie$, $\times$, $\cup$, $\cap$)

Heuristische Anwendung der Transformationsregeln

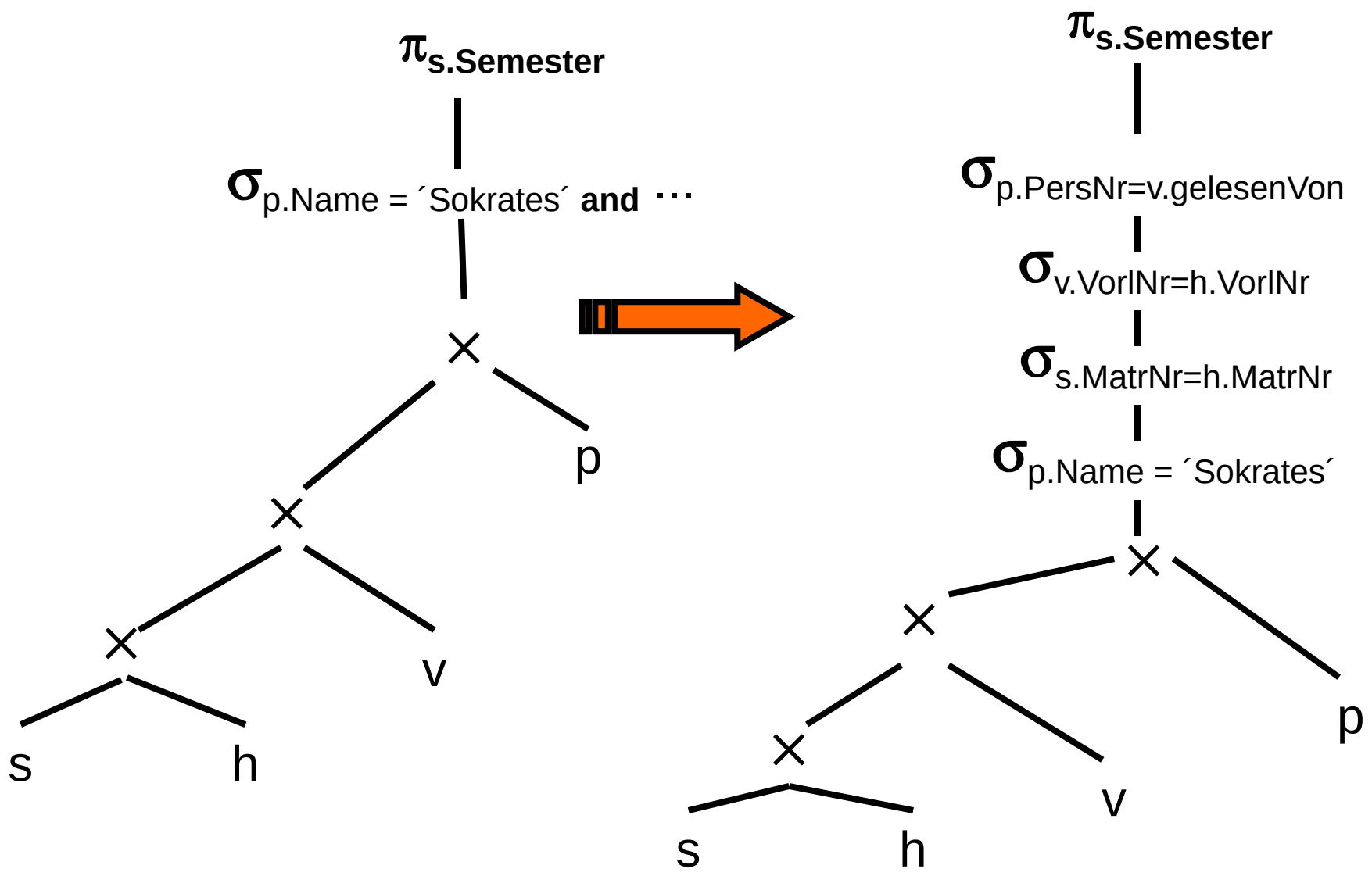
4. Mittels folgender Regel werden $\times$-Operationen gefolgt von einer σ-Operation in eine $\bowtie_c$-Operation umgeformt:
   - Regel 12 (Zusammenfassung von σ_c und $\times$ zu $\bowtie_c$)
5. Mittels folgender Regeln werden Projektionen so weit wie möglich nach unten propagiert.
   - Regel 3 (π-Kaskaden)
   - Regel 4 (Vertauschen von σ und π)
   - Regel 7 (Vertauschung von π mit $\bowtie$ bzw. mit $\times$)
   - Regel 10 (Distributivität von π mit $\cup$)
6. Versuche Operationsfolgen zusammenzufassen, wenn sie in einem "Durchlauf" ausführbar sind, z.B.
   - Regel 1 (Aufbrechen von Konjunktionen im Selektionsprädikat) + Regel 3 (Zusammenfassung von σ_c und $\times$ zu $\bowtie_c$)
   - Zusammenfassung aufeinanderfolgender Selektionen und Projektionen zu einer "Filter"-Operation).

Anwendung der Transformationsregeln

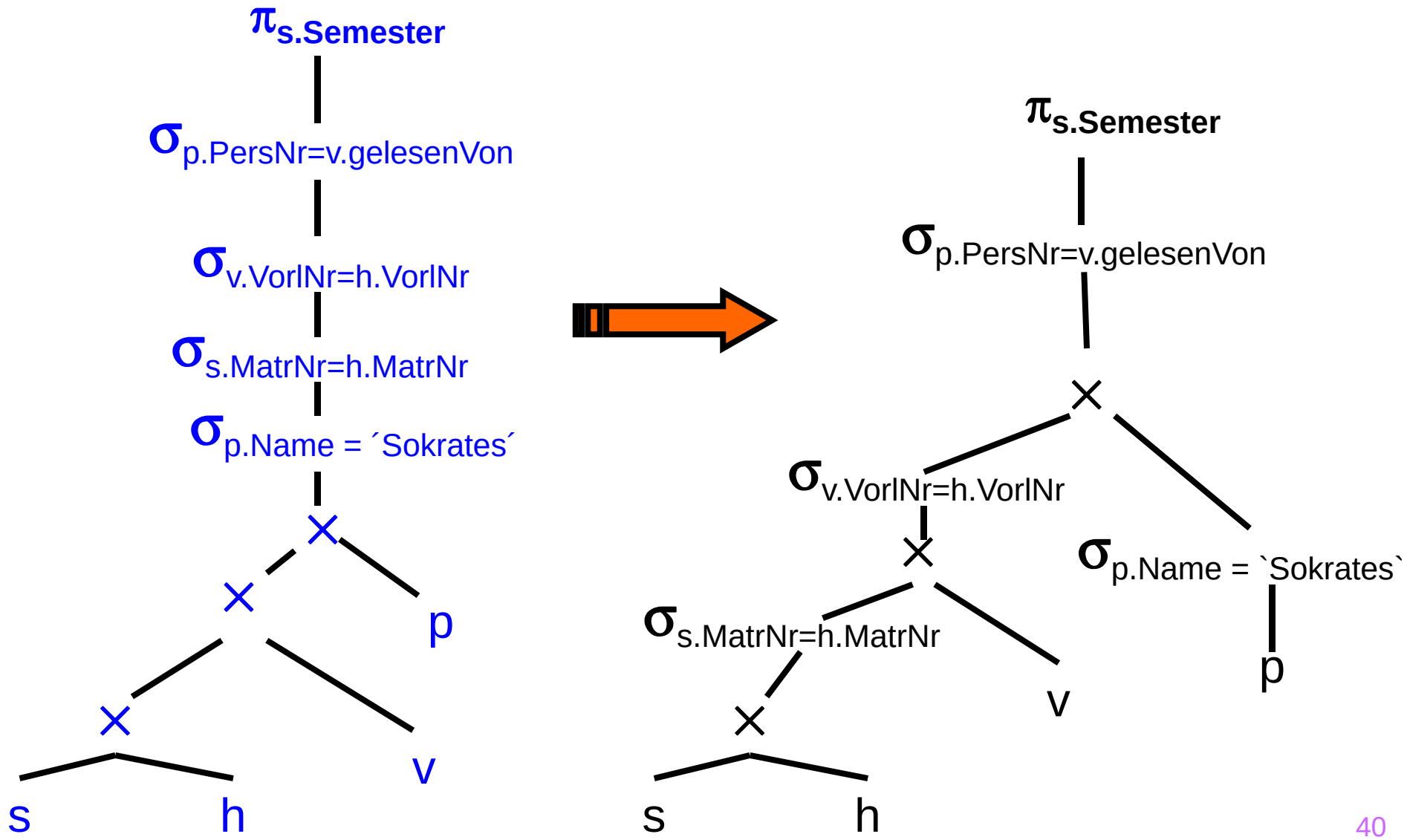
select distinct s.Semester
from Studenten s, hören h
Vorlesungen v, Professoren p
where p.Name = ´Sokrates´ **and**
v.gelesenVon = p.PersNr **and**
v.VorlNr = h.VorlNr **and**
h.MatrNr = s.MatrNr



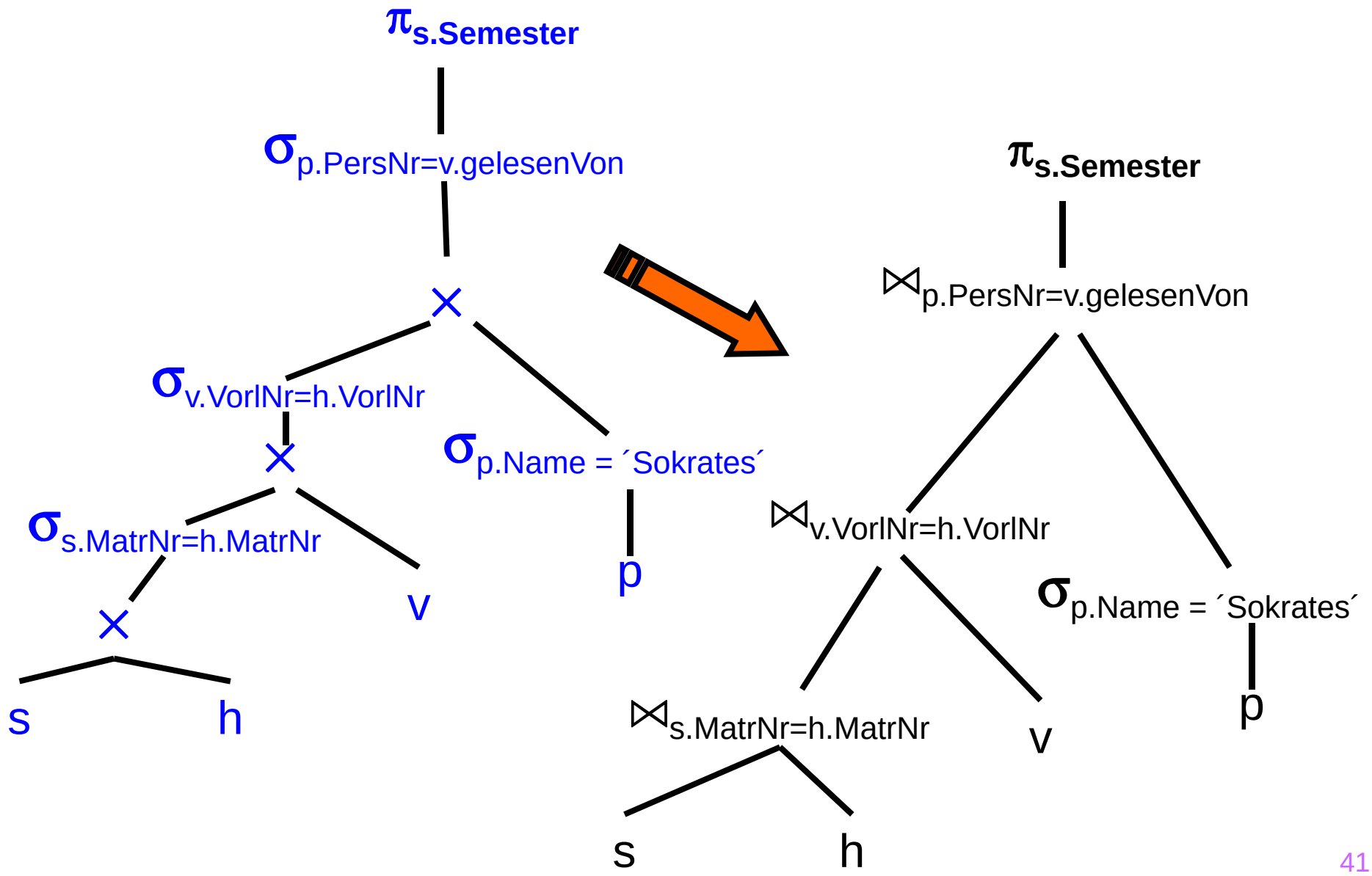
Aufspalten der Selektionsprädikate



Verschieben der Selektionsprädikate „Pushing Selections“

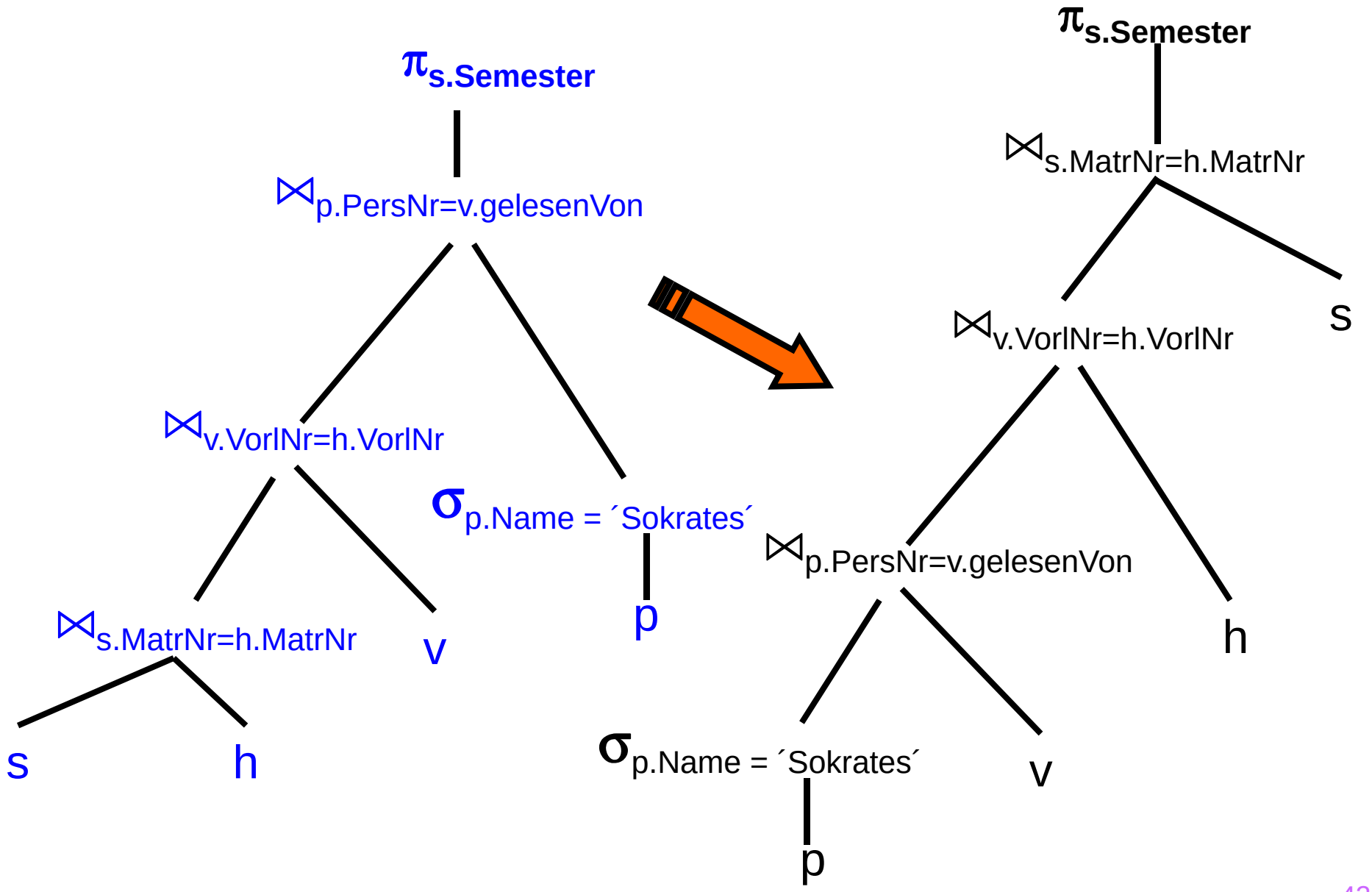


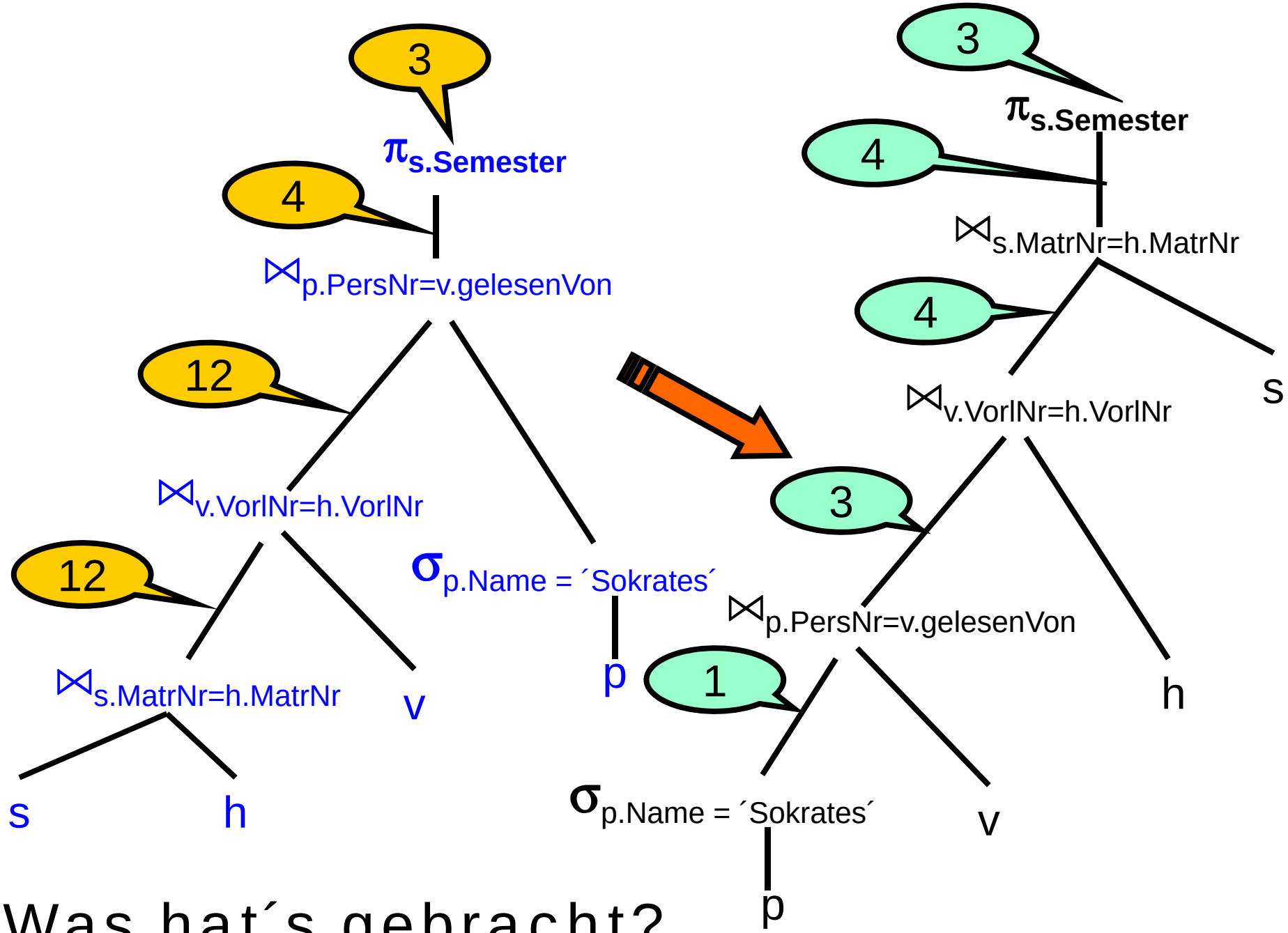
Zusammenfassung von Selektionen und Kreuzprodukten zu Joins



Optimierung der Joinreihenfolge

Kommutativität und Assoziativität ausnutzen





Was hat´s gebracht?

Die relationale Uni-DB

Professoren			
PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

voraussetzen	
Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

hören	
MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
28106	5041
28106	5052
28106	5216
28106	5259
29120	5001
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022

prüfen			
MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1
25403	5041	2125	2
27550	4630	2137	2

Assistenten			
PersNr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2126

Die relationale Uni-DB

Professoren			
PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

voraussetzen	
Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

hören	
MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
28106	5041
28106	5052
28106	5216
28106	5259
29120	5001
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022

prüfen			
MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1
25403	5041	2125	2
27550	4630	2137	2

Assistenten			
PersNr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2126

Die relationale Uni-DB

Professoren			
PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

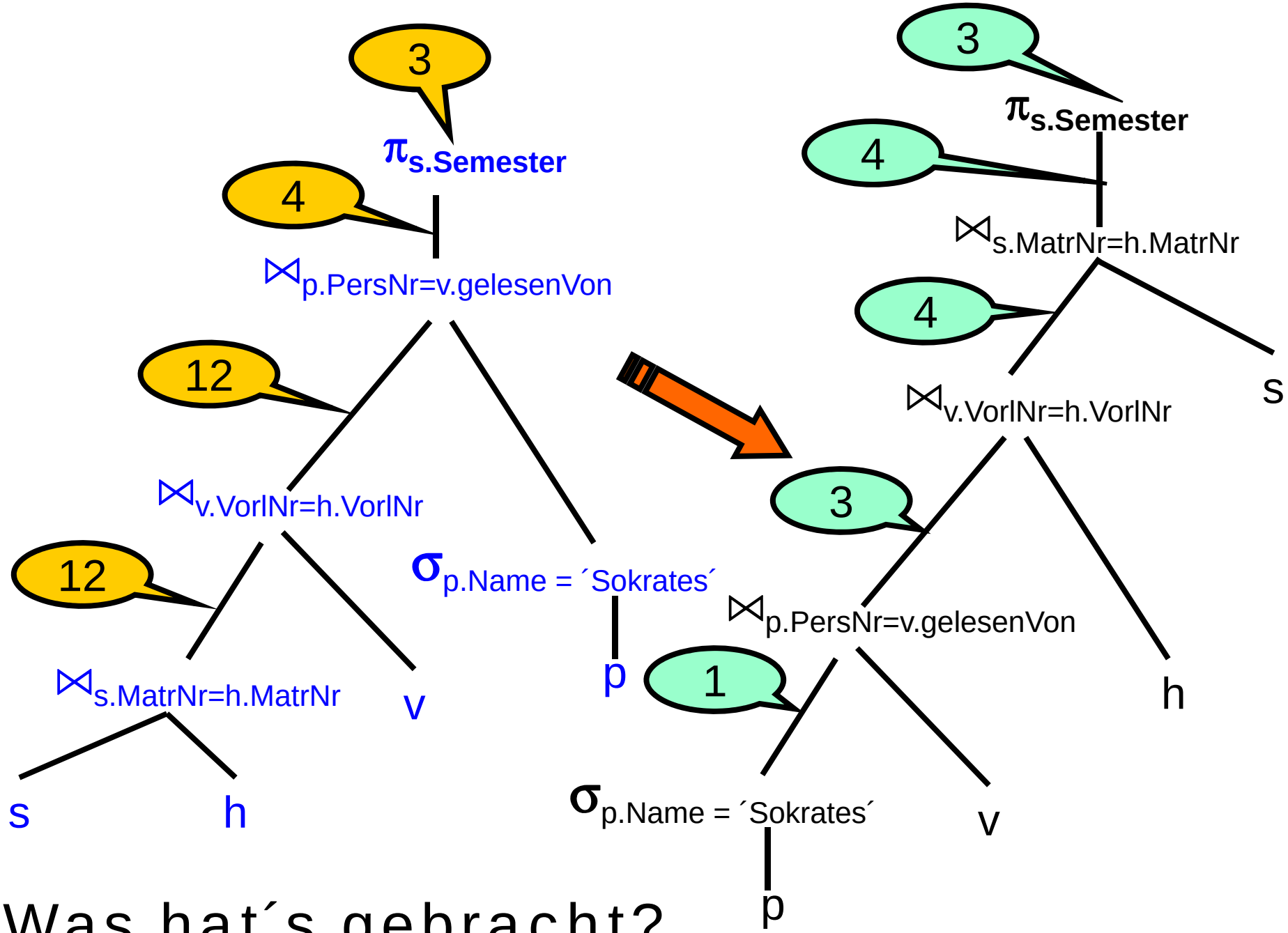
Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

voraussetzen	
Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

hören	
MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
28106	5041
28106	5052
28106	5216
28106	5259
29120	5001
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022

prüfen			
MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1
25403	5041	2125	2
27550	4630	2137	2

Assistenten			
PersInr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2126



Was hat´s gebracht?

Die relationale Uni-DB

Professoren			
PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

voraussetzen	
Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

hören	
MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
28106	5041
28106	5052
28106	5216
28106	5259
29120	5001
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022

prüfen			
MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1
25403	5041	2125	2
27550	4630	2137	2

Assistenten			
PersNr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2126

Die relationale Uni-DB

Professoren			
PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

voraussetzen	
Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

hören	
MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
28106	5041
28106	5052
28106	5216
28106	5259
29120	5001
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022

prüfen			
MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1
25403	5041	2125	2
27550	4630	2137	2

Assistenten			
PersNr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2126

Die relationale Uni-DB

Professoren			
PersNr	Name	Rang	Raum
2125	Sokrates	C4	226
2126	Russel	C4	232
2127	Kopernikus	C3	310
2133	Popper	C3	52
2134	Augustinus	C3	309
2136	Curie	C4	36
2137	Kant	C4	7

Studenten		
MatrNr	Name	Semester
24002	Xenokrates	18
25403	Jonas	12
26120	Fichte	10
26830	Aristoxenos	8
27550	Schopenhauer	6
28106	Carnap	3
29120	Theophrastos	2
29555	Feuerbach	2

Vorlesungen			
VorlNr	Titel	SWS	gelesen von
5001	Grundzüge	4	2137
5041	Ethik	4	2125
5043	Erkenntnistheorie	3	2126
5049	Mäeutik	2	2125
4052	Logik	4	2125
5052	Wissenschaftstheorie	3	2126
5216	Bioethik	2	2126
5259	Der Wiener Kreis	2	2133
5022	Glaube und Wissen	2	2134
4630	Die 3 Kritiken	4	2137

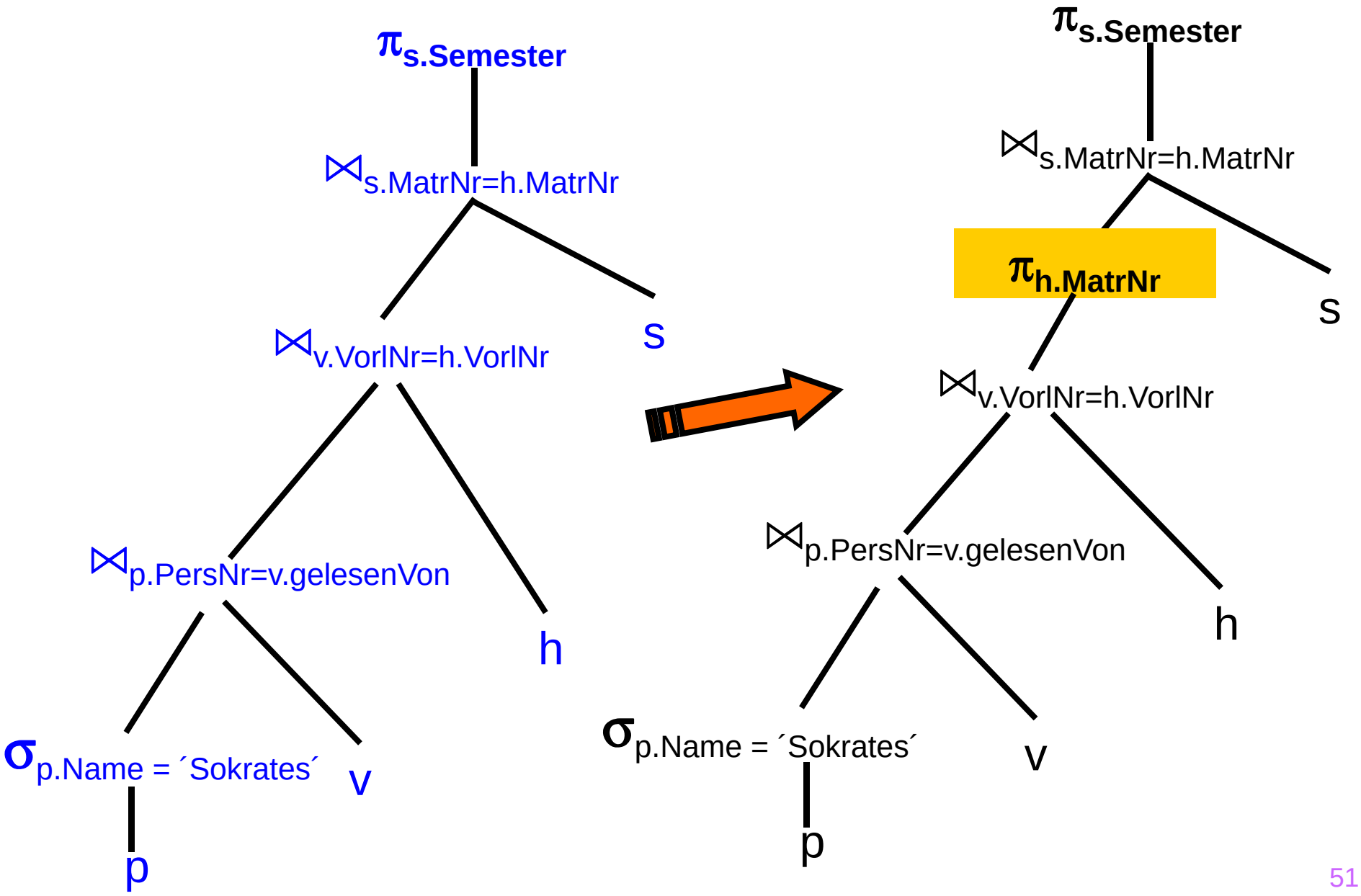
voraussetzen	
Vorgänger	Nachfolger
5001	5041
5001	5043
5001	5049
5041	5216
5043	5052
5041	5052
5052	5259

hören	
MatrNr	VorlNr
26120	5001
27550	5001
27550	4052
28106	5041
28106	5052
28106	5216
28106	5259
29120	5001
29120	5041
29120	5049
29555	5022
25403	5022

prüfen			
MatrNr	VorlNr	PersNr	Note
28106	5001	2126	1
25403	5041	2125	2
27550	4630	2137	2

Assistenten			
PersNr	Name	Fachgebiet	Boss
3002	Platon	Ideenlehre	2125
3003	Aristoteles	Syllogistik	2125
3004	Wittgenstein	Sprachtheorie	2126
3005	Rhetikus	Planetenbewegung	2127
3006	Newton	Keplersche Gesetze	2127
3007	Spinoza	Gott und Natur	2126

Einfügen von Projektionen



Eine weitere Beispieloptimierung

SQL-Anfrage: Von München direkt nach NY?

```
select c.dep
from Airport n, Connection c, Airport p
where n.loc = 'New York' and
        n.code = c.to and
        c.from = p.code and
        p.loc = 'München'
```

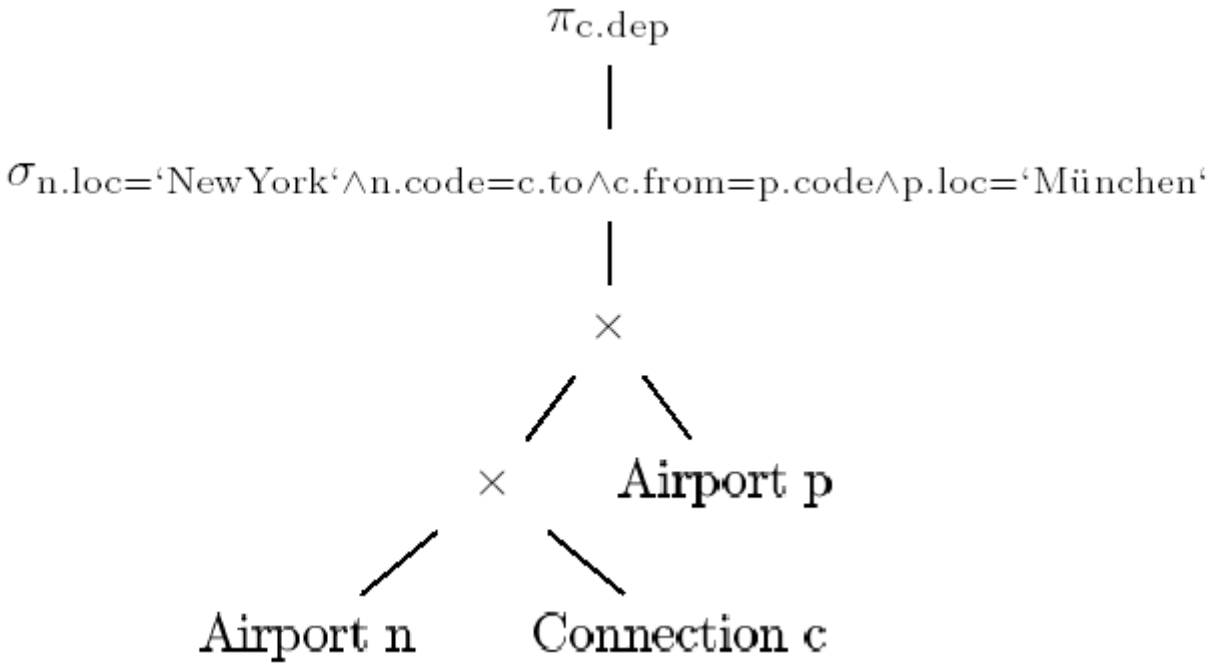
Airport p		
p.code	p.loc	...
...	...	...
MUC	München	...
...	...	...

Connection c			
...	c.from	c.to	...

Airport n		
n.code	n.loc	...
...	...	...
JFK	New York	...
LGA	New York	...
...	...	...

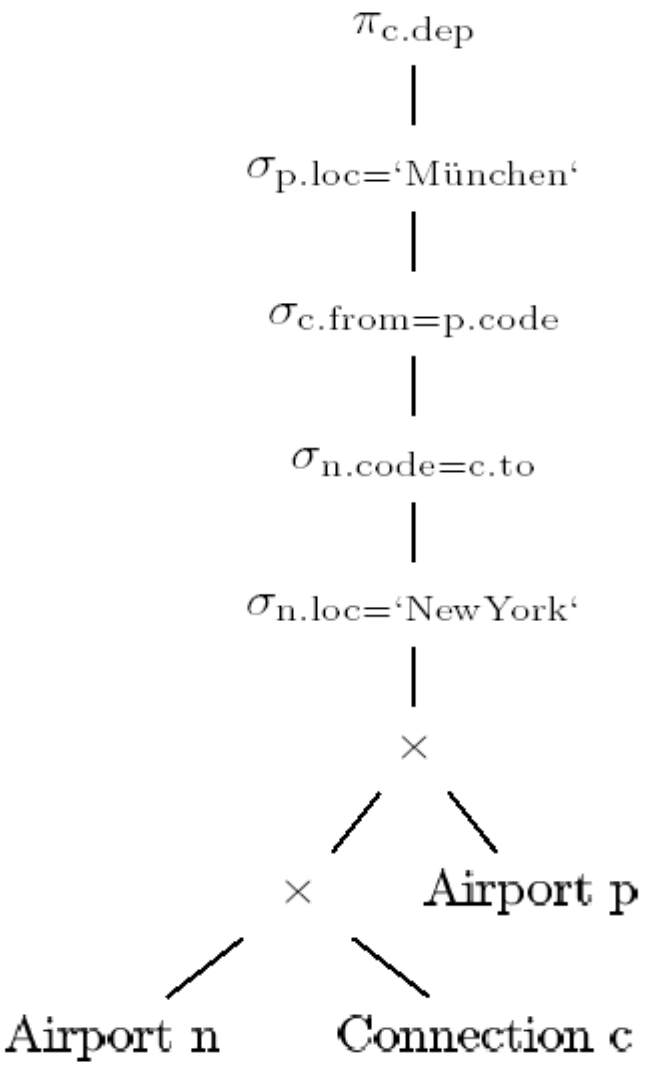
Kanonische Übersetzung

select c.dep
from Airport n, Connection c, Airport p
where n.loc = 'New York' **and**
n.code = c.to **and**
c.from = p.code **and**
p.loc = 'München'



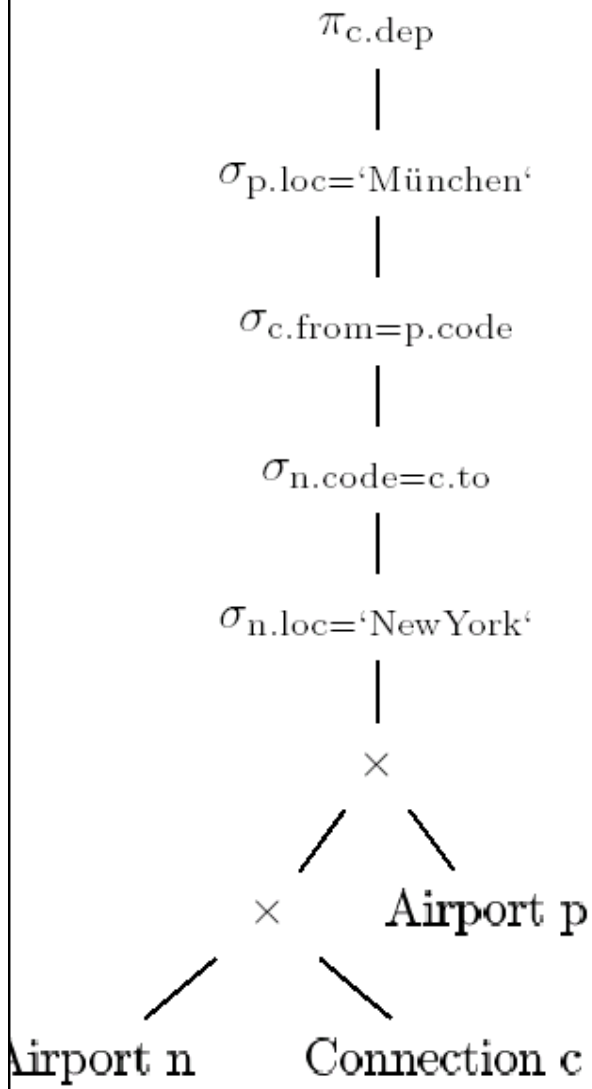
Selektionsprädikate „aufbrechen“

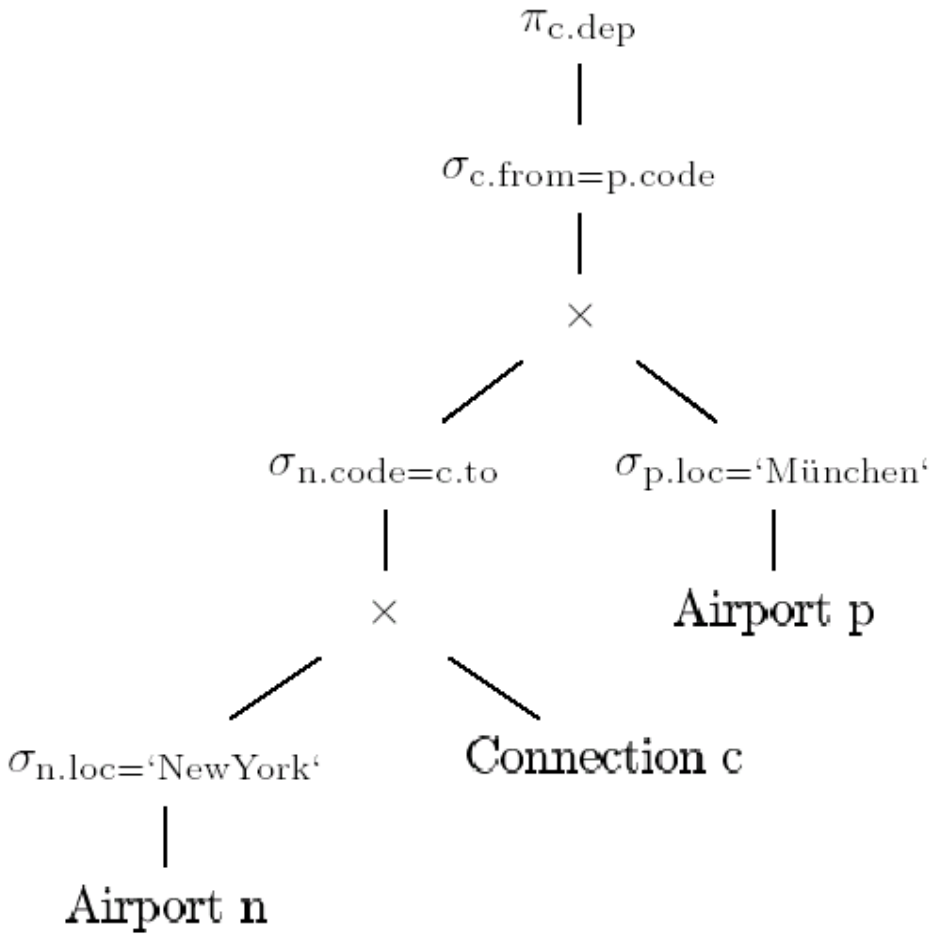
$$\sigma_{p_1 \wedge p_2 \wedge \ldots \wedge p_n}(R) = \sigma_{p_1}(\sigma_{p_2}(\ldots(\sigma_{p_n}(R))\ldots))$$



„Pushing Selections“

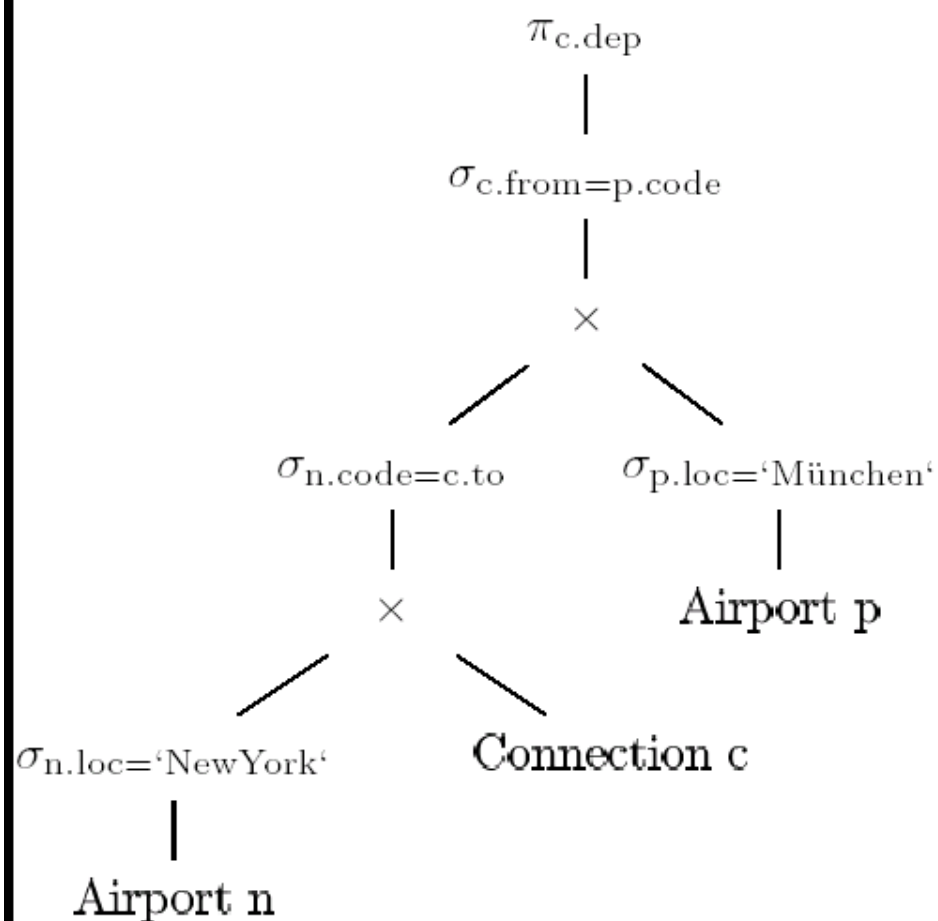
$$
\begin{aligned}
\sigma_p(\sigma_q(R)) &= \sigma_q(\sigma_p(R)) \\
\sigma_p(R_1 \bowtie R_2) &= \sigma_p(R_1) \bowtie R_2 \\
\sigma_p(R_1 \times R_2) &= \sigma_p(R_1) \times R_2
\end{aligned}
$$

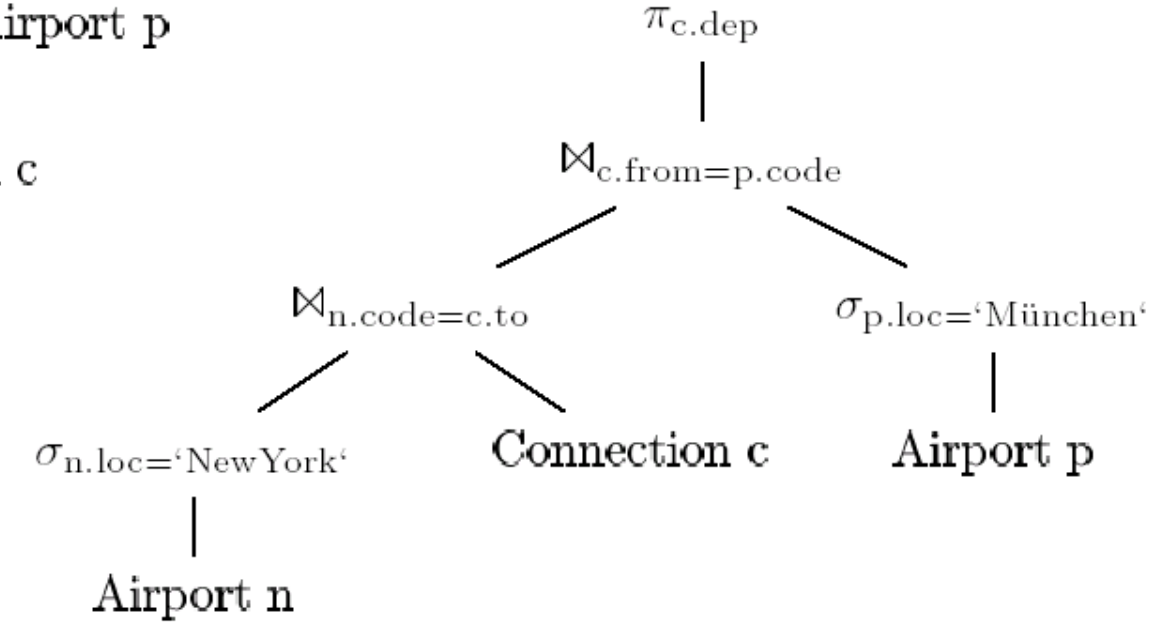




Zusammenfassung von $\sigma\times$ zu $\bowtie$

$$\sigma_{R.A=S.B}(R \times S) = R \bowtie_{R.A=S.B} S$$





MUC → NY mit genau einmal Umsteigen

select a1.loc
from Airport a0, Connection c1,
Airport a1, Connection c2, Airport a2
where a0.loc = "München" **and**
a0.code = c1.from **and**
c1.to = a1.code **and**
a1.code = c2.from **and**
c2.to = a2.code **and**
a2.loc = "New York"

