7. Anfrageoptimierung

- Vorgehensweise
- Übersetzung vs. Interpretation von DB-Operationen

- Anfragedarstellung
- Logische Optimierung / Anfragetransformation

- Physische Optimierung
  - Erstellung alternativer Ausführungspläne
  - Auswahl eines kostengünstigen Plans
- Kostenbewertung
- Explain

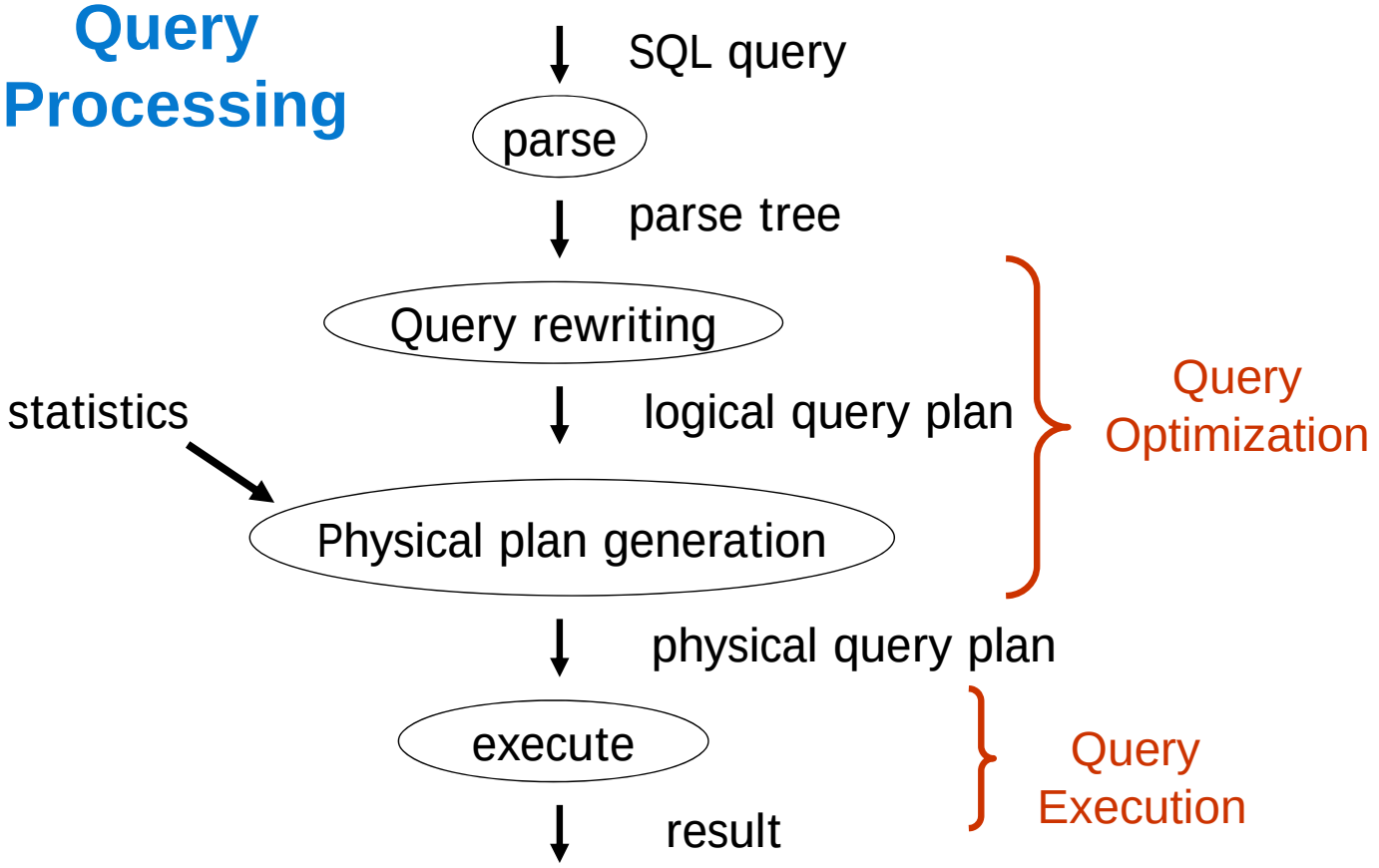
Anfrageoptimierung

- zentrales Problem
  - Umsetzung deskriptiver Anfragen in eine zeitoptimale Folge interner DBS-Operationen
  - DBS ist v.a. für Effizienz verantwortlich, nicht der Programmierer

- hohe Komplexität wegen großer Auswahlmächtigkeit von Sprachen wie SQL
  - mengenorientierte Operationen auf 1 oder mehreren Tabellen, inkl. Joins
  - Prädikate wie EXISTS, NULL, LIKE u. a.
  - geschachtelte Anfragen beliebiger Tiefe (unabhängig oder korreliert)
  - Operationen auf Views
  - Built-in- und Sortier-Funktionen auf Partitionen der Satzmenge
  - mengenorientierte Änderungsoperationen
  - Überwachung von Integritätsbedingungen

- oft extreme Kostenunterschiede zwischen funktional äquivalenten Zugriffsplänen
  - mit / ohne Indexnutzung
  - unterschiedliche Verfahren für Join, Sortierung, ...
  - unterschiedliche Reihenfolge (z.B. Selektion vor Join)

Query Processing



Übersetzung von DB-Anweisungen

Deklarative Anfrage (Query)

Syntaxanalyse (Parsing)
Semantische Analyse
View-Auflösung
Constraint-Checks

Algebraischer Ausdruck

Anfragetransformation (log. Optimierung)
- Standardisierung
- Vereinfachung
- Restrukturierung (algebraische Optimierung)

Optimierter algebraischer Ausdruck

Physische Optimierung
- Berücksichtigung von Zugriffspfaden, ...
- Kostenbewertung

Ausführungsplan (Query Evaluation Plan, QEP)

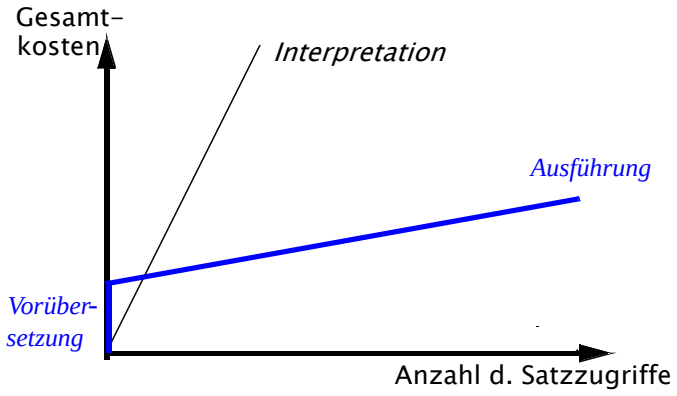
Code-Generierung

Interpretation vs. Übersetzung (1)

- Anfrageanalyse und -optimierung können erfolgen
  - zur Übersetzungszeit des AP oder
  - zur Laufzeit (Interpretation)
- Interpretation:
  - Interpreter erzeugt zur Laufzeit Einzelschritte zur Query-Ausführung
  - Berücksichtigung des aktuellen DB-Zustands bei Auswertungsstrategie
  - sehr hohe Ausführungskosten v.a. bei mehrfacher Ausführung derselben DB-Operationen (Programmschleifen) sowie durch häufige Katalogzugriffe
  - am ehesten noch akzeptabel für Ad-Hoc-Anfragen bzw. dynamische SQL-Anweisungen (EXECUTE IMMEDIATE)

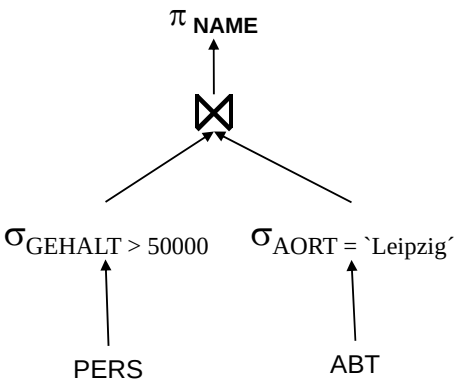
Interpretation vs. Übersetzung (2)

- Vorübersetzung:
  - erweiterter Compiler bzw. Präcompiler führt Abbildungen aus (statische Namensbindung)
  - aufwändige Optimierung möglich (Berücksichtigung mehrerer Ausführungsalternativen) mit zugeschnittenem Programm pro DB-Operation
  - effiziente Ausführung
  - Änderungen des DB-Zustandes nach der Übersetzung werden nicht berücksichtigt (neue Zugriffspfade, geänderte Statistiken etc.)
    => Invalidierung des Zugriffsmoduls und Neuübersetzung



Anfragedarstellung

- Darstellung der Auswertungsstrategie durch Operatorgraph
  - Blätter: Eingaberelationen
  - Knoten stellen Operatoren (z. B. der Relationenalgebra) dar
  - Kanten beschreiben operator-kontrollierten Datenfluss
  - Verfeinerung um innere Operatoren möglich



Anfragetransformation

- Ziele der Anfragetransformation (algebraische bzw. logische Optimierung)
  - standardisierte Ausgangsdarstellung
  - Elimination der Redundanz
  - Verbesserung der Auswertbarkeit
- Standardisierung
  - Wahl einer Normalform, z.B. konjunktive Normalform
    $(A_{11}$ OR ... OR $A_{1n})$ AND ... AND $(A_{m1}$ OR ... OR $A_{mn})$
- Elimination der Redundanz / Vereinfachung
  - Behandlung/Eliminierung gemeinsamer Teilausdrücke

    $(A_1 = a_{11}$ OR $A_1 = a_{12})$ AND $(A_1 = a_{12}$ OR $A_1 = a_{11})$

  - Ausdrücke, die an “leere Relationen” gebunden sind, können vereinfacht werden
  - Konstanten-Propagierung: A op B AND B = const.
  - nicht-erfüllbare Ausdrücke, z.B.: A ≥ B AND B > C AND C ≥ A

Anfragetransformation (2)

- Verbesserung der Auswertbarkeit durch Query-Restrukturierung (query rewrite)
  - Nutzung von Äquivalenzbeziehungen für relationale Operatoren

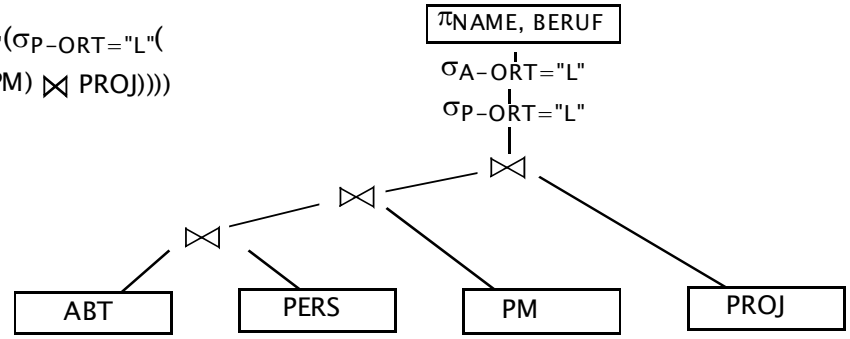
$\sigma_{P1}(\sigma_{P2}(R))$	$\Leftrightarrow$	$\sigma_{P1 \wedge P2}(R)$	
$\pi_A(\pi_{A,B}(R))$	$\Leftrightarrow$	$\pi_A(R)$	
$\sigma_P(\pi_A(R))$	$\Leftrightarrow$	$\pi_A(\sigma_P(R))$	*falls P nur Attribute aus A umfaßt*
$\sigma_P(\pi_A(R))$	$\Leftrightarrow$	$\pi_A(\sigma_P(\pi_{A,B}(R)))$	*falls P auch Attribute aus B umfaßt*
$\sigma_{P(R1)}(R1 \bowtie R2)$	$\Leftrightarrow$	$\sigma_{P(R1)}(R1) \bowtie R2$	*P(R1) sei Prädikat auf R1*
$\pi_{A,B}(R1 \bowtie R2)$	$\Leftrightarrow$	$\pi_A(R1) \bowtie \pi_B(R2)$	*A /B seien Attributmengen aus R1/R2*
$\sigma_P(R1 \cup R2)$	$\Leftrightarrow$	$\sigma_P(R1) \cup \sigma_P(R2)$	*inkl. Join-Attribut*
$\pi_A(R1 \cup R2)$	$\Leftrightarrow$	$\pi_A(R1) \cup \pi_A(R2)$	

  - Zusammenfassung von Operationsfolgen
  - Minimierung der Größe von Zwischenergebnissen
  - selektive Operationen (σ,π) vor konstruktiven Operationen ($\bowtie$, $\times$, $\cup$)
- Nutzung von Integritätsbedingungen (semantic query processing)
  - Bsp.: A ist Primärschlüssel: $\pi_A \rightarrow$ keine Duplikateliminierung erforderlich
  - Integritätsbedingungen sind wahr für alle Tupel der betroffenen Relation: Hinzufügen einer Integritätsbedingung zur WHERE-Bedingung verändert den Wahrheitswert nicht

Beispiel zur algebraischen Optimierung

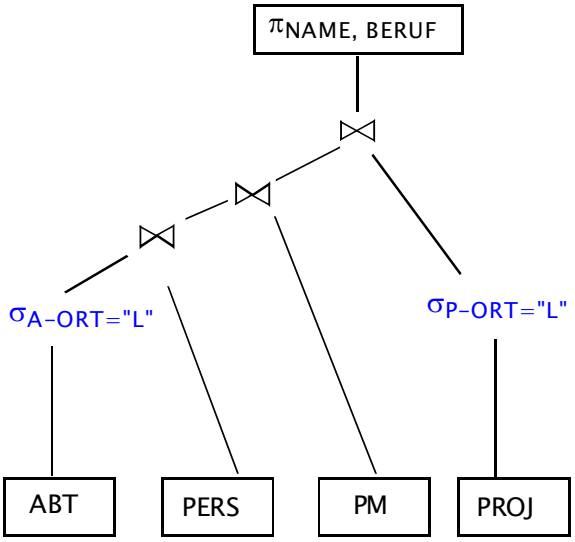
- Relationen:
  - ABT (ANR, BUDGET, A-ORT)
  - PERS (PNR, NAME, BERUF, GEHALT, ALTER, ANR)
  - PROJ (PRONR, BEZEICHNUNG, SUMME, P-ORT)
  - PM (PNR, PRONR, DAUER, ANTEIL)
- Annahmen
  - ABT: N / 5 Tupel, *PERS: N Tupel*, PM: 5 · N Tupel, *PROJ: M Tupel*
  - Gleichverteilung der Attributwerte A-ORT: 10 Werte; *P-ORT*: *100 Werte*
- Query: Finde Name und Beruf von Angestellten, deren Abteilung in L ist und die in L Projekte durchführen
  - Ausgangslösung für Operatorbaum

$\pi_{NAME, BERUF}(\sigma_{A\text{-}ORT="L"}(\sigma_{P\text{-}ORT="L"}($
$(((ABT \bowtie PERS) \bowtie PM) \bowtie PROJ))))$

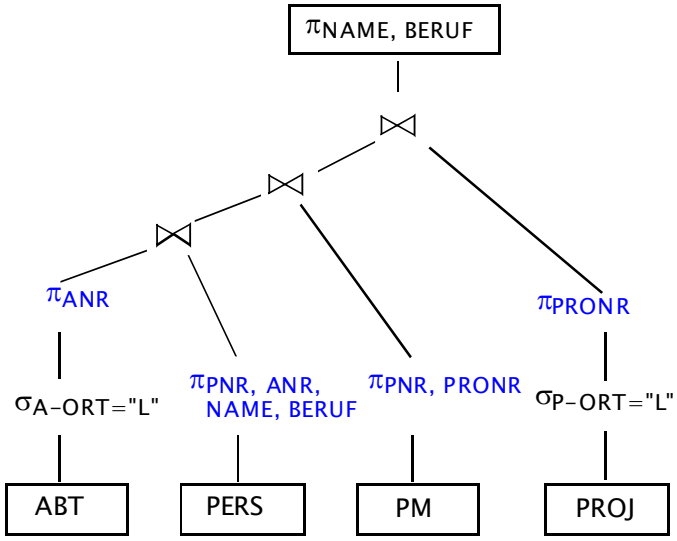


Beispiel (2)

Verschieben der Selektion zu den Blattknoten



Verschieben der Projektion

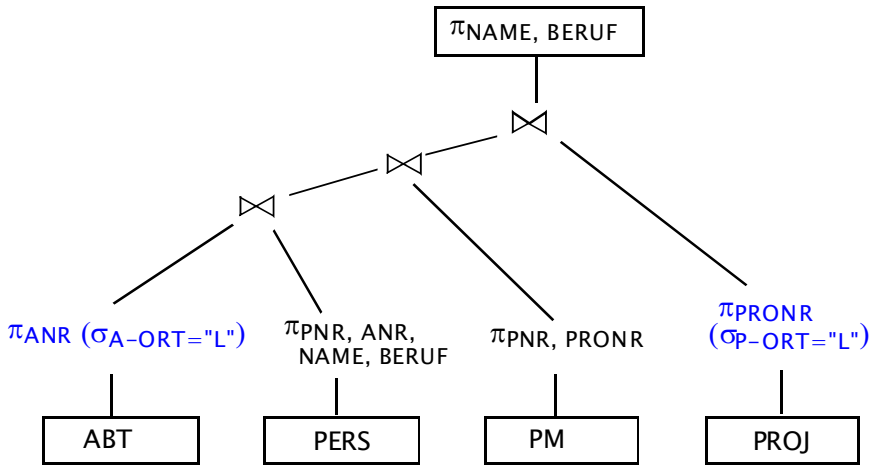


⇒ **Führe Selektion so früh wie möglich aus !**

⇒ **Führe Projektion (ohne Duplikateliminierung) frühzeitig aus**

Beispiel (3)

- Optimierter Operatorbaum:



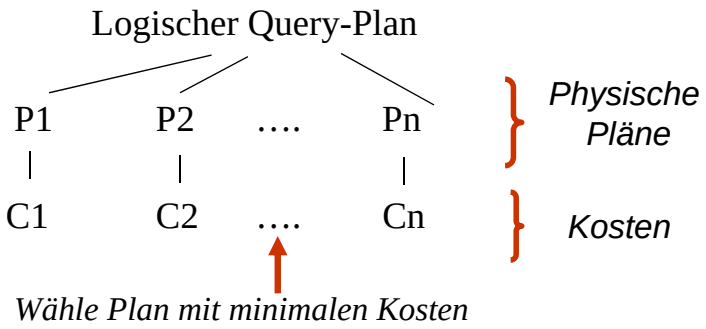
⇒ **Verknüpfe Folgen von unären Operationen wie Selektion und Projektion**
(wenn diese tupelweise abgewickelt werden können)

- Alternative Möglichkeit: Zusammenfassen von

$$((\pi_{PNR,\ PRONR}{}^{PM}) \bowtie (\pi_{PRONR}(\sigma_{P\text{-}ORT\ =\ 'L'}{}^{PROJ})))$$

Physische Query-Optimierung

- Eingabe:
  - transformierte Anfrage
  - existierende Speicherungsstrukturen und Zugriffspfade
  - Kostenmodell

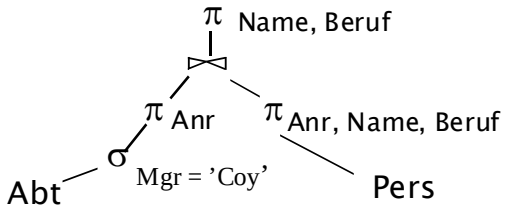


- Ausgabe: optimaler bzw. "guter" Ausführungsplan (Query Evaluation Plan)

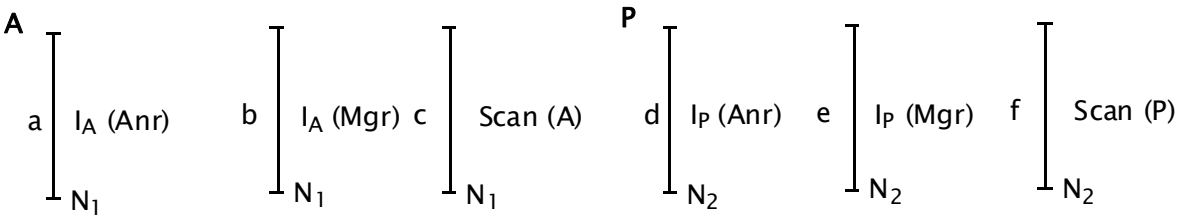
- Vorgehensweise zur Generierung alternativer Pläne:
  1. Generiere alle “vernünftigen” Zugriffspfade für Eingaberelationen
  2. Berücksichtige unterschiedliche Reihenfolgen für Operatoren (z.B. für N-Wege-Join)
  3. Wähle für jeden logischen Operator Implementierungsstrategie unter Berücksichtigung der Zugriffspfade und Speicherungsstrukturen (Clusterung, Sortierreihenfolge etc.)
  4. Wähle den billigsten Zugriffsplan gemäß dem vorgegebenen Kostenmodell aus

Bestimmung von Ausführungsplänen: Beispiel

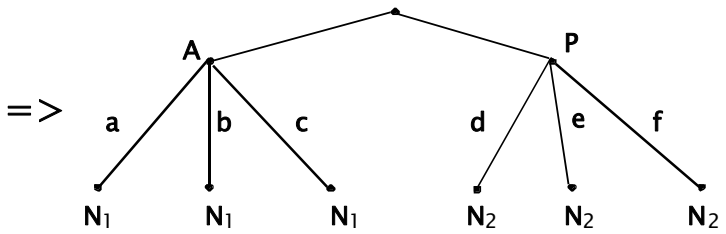
```
SELECT  Name, Beruf
        FROM    Pers P, Abt A
        WHERE   P.Anr = A.Anr
        AND     A.Mgr = 'Coy'
```



Mögliche Zugriffspfade (Annahme):



Kosten-ermittlung: C (A.Anr) • • • C (P.Anr) • • •



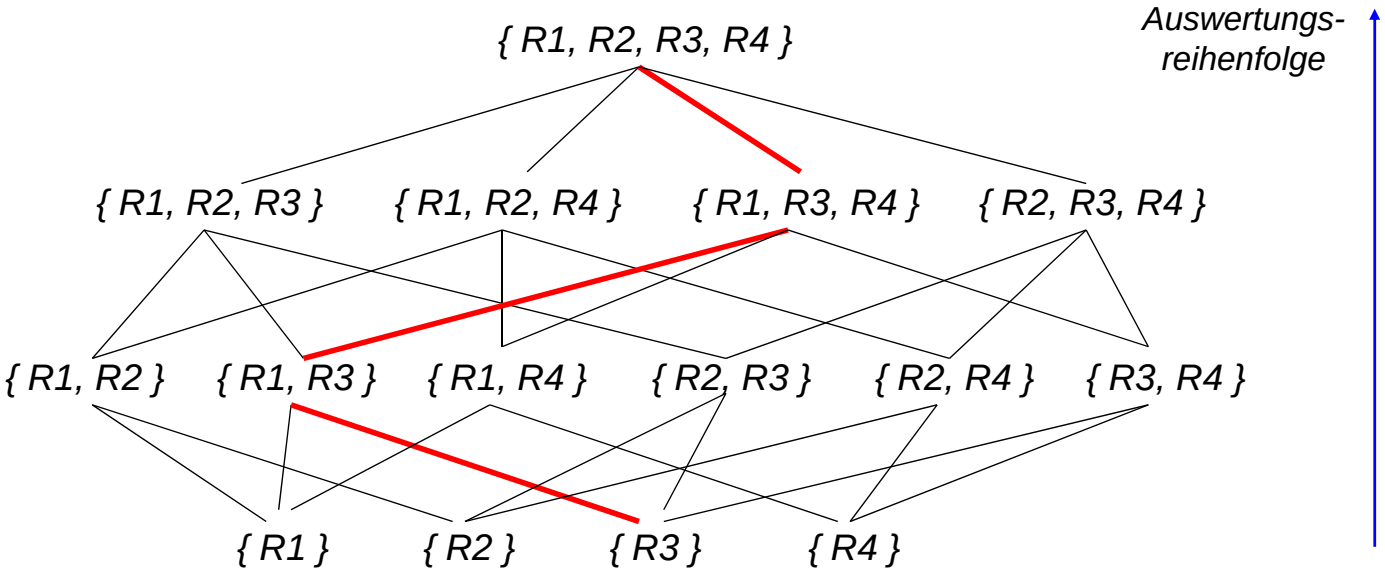
Reduzierung:
Abschneiden von Teilbäumen

Suchstrategien

- voll-enumerative bzw. Teil-enumerative Auswerung alternative Pläne
  - Verbreiteter Einsatz: „dynamische Programmierung“
  - Pioniereinsatz in System R (Pat Selinger)
  - Annahme jeder Teilplan eines optimalen Plans ist auch optimal
  - Bottom-Up-Vorgehensweise: wähle für jeden Operator/Teilbaum billigsten Ansatz und vervollständige Teillösung iterativ
- zufallsgesteuert
- Reduzierung des Suchraums
  - bestimmte Pfade zur Erstellung von Ausführungsplänen werden nicht mehr verfolgt
  - Nutzung von Heuristiken: z.B. vermeide Berechnung des kartesischen Produkts, nur lineare Join-Ordnungen, etc.

Beispiel Selinger-Algorithmus

Query: $R1 \bowtie R2 \bowtie R3 \bowtie R4$



Berechnung der Zugriffskosten

- Optimizer erstellt Kostenvoranschlag für jeden Zugriffsplan (möglicher Lösungsweg)
- Welche Kosten sind zu berücksichtigen?
  - Berechnungskosten (CPU-Kosten, Pfadlängen)
  - E/A-Kosten (# der physischen Referenzen)
  - Speicherungskosten (temporäre Speicherbelegung im DB-Puffer und auf Externspeichern)
  - im verteilten Fall: Kommunikationskosten (# der Nachrichten, Menge der zu übertragenden Daten)
- Gewichtete Kostenformel:

  C = #physischer Seitenzugriffe + W * (#Aufrufe des Zugriffssystems)
  - gewichtetes Maß für E/A- und CPU-Auslastung
  - W ist das Verhältnis des Aufwandes für einen ZS-Aufruf zu einem Seitenzugriff
- Ziel der Gewichtung: Minimierung der Kosten in Abhängigkeit des Systemzustandes

System "I/O-bound": $\Rightarrow$ kleines W: $W_{I/O} = \frac{\#\text{Instr. pro ZSAufruf}}{\#\text{Instr.pro E/A} + \text{Zugriffszeit} \cdot \text{MIPS-Rate}}$

System "CPU-bound": $\Rightarrow$ relativ großes W: $W_{CPU} = \frac{\#\text{Instr.pro ZSAufruf}}{\#\text{Instr. pro E/A}}$

Kostenmodell – statistische Werte

- statistische Größen:

  M_S Anzahl der Datenseiten des Segmentes S
  N_R Anzahl der Tupeln der Relation R (Card(R))
  $T_{R,S}$ Anzahl der Seiten in S mit Tupeln von R
  B_R Blockungsfaktor (Anzahl Tupel pro Seite)
  j_I Anzahl der Attributwerte / Schlüsselwerte im Index I für Attribut A (=Card (π_A(R))
  L_I Anzahl der Blattseiten (B*-Baum) für Index I
  . . .
- Statistiken müssen im Katalog gewartet werden
  - Aktualisierung bei jeder Änderung zu aufwendig (zusätzliche Schreib- und Log-Operationen, Katalog wird zum Sperr-Engpass)
  - Alternative:
    - Initialisierung der statistischen Werte zum Lade- oder Generierungszeitpunkt von Relationen und Indexstrukturen
    - periodische Neubestimmung der Statistiken durch eigenes Kommando/Dienstprogramm

Kostenmodell - Berechnungsgrundlagen

Mit Hilfe der statistischen Werte kann der Optimizer jedem Verbundterm im Qualifikationsprädikat einen Selektivitätsfaktor ($0 \le SF \le 1$) zuordnen (erwarteter Anteil an Tupeln, die das Prädikat erfüllen):

$$Card(\sigma_p(R)) = SF(p) \,.\, Card(R)$$

- Selektivitätsfaktor SF bei:

$A_i = a_i$ $\quad SF = \begin{cases} 1/j_i & \text{wenn Index auf } A_i \\ 1/10 & \text{sonst} \end{cases}$

$A_i = A_k$ $\quad SF = \begin{cases} 1 / Max(j_i, j_k) & \text{wenn Index auf } A_i, A_k \\ 1 / j_i & \text{wenn Index auf Ai} \\ 1/10 & \text{sonst} \end{cases}$

$A_i \ge a_i$ $\quad SF = \begin{cases} (\text{high-key} - a_i) / (\text{high-key} - \text{low-key}) & \text{bei linearer Interpolation} \\ 1/3 & \text{sonst} \end{cases}$

$a_i \le A_i \le a_k$ $\quad SF = \begin{cases} (a_k - a_i) / (\text{high-key} - \text{low-key}) & \text{wenn Index auf } A_i \\ 1/4 & \text{sonst} \end{cases}$

A_i IN (Liste von Werten)

$SF = \begin{cases} r / j_i \text{ bei r Werten auf Index} \\ 1/2 & \text{sonst} \end{cases}$

- Berechnung von Ausdrücken
  - $SF(p(A) \wedge p(B)) = SF(p(A)) \cdot SF(p(B))$
  - $SF(p(A) \vee p(B)) = SF(p(A)) + SF(p(B)) - SF(p(A)) \cdot SF(p(B))$
  - $SF(\neg p(A)) = 1 - SF(p(A))$
- Join-Selektivitätsfaktor (JSF): $Card(R \bowtie S) = JSF * Card(R) * Card(S)$
  - bei (N:1)-Joins (verlustfrei): $Card(R \bowtie S) = Max(Card(R), Card(S))$

Grundsätzliche Probleme

- Anfrageoptimierung beruht i.a. auf zwei “fatalen” Annahmen
  1. Alle Datenelemente und alle Attributwerte sind gleichverteilt
  2. Suchprädikate in Anfragen sind unabhängig
- beide Annahmen sind jedoch im allgemeinen Fall falsch !
- Beispiel

(GEHALT ≥ ‘100K’) AND (ALTER BETWEEN 20 AND 30)

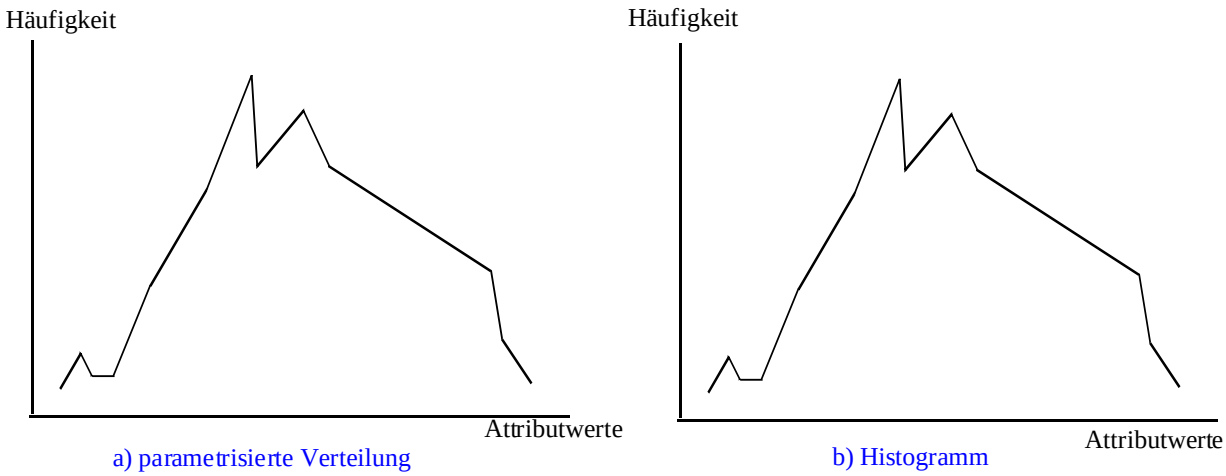
Bereiche: 10K - 1M 20 - 65

-> lineare Interpolation, Multiplikation von Wahrscheinlichkeiten

- Lösung: Verbesserung der Statistiken / Heuristiken

Verfeinerte Kostenmodelle

- verbesserte Ansätze zur Schätzung der Verteilung von Attributwerten
  - parametrisierte Verteilungen (z.B. Normalverteilung)
  - Histogramme
  - Stichproben
- Histogramme
  - Unterteilung des Wertebereichs in Intervalle; Häufigkeitszählung pro Intervall
  - äquidistante Intervalle vs. Intervalle mit etwa gleicher Häufigkeit von Werten (Equi-Depth-Histogramme)



a) parametrisierte Verteilung

b) Histogramm

Tuning-Aspekte

- die meisten DBS nutzen mittlerweile kostenbasierten Optimierer
- Erzeugung bzw. Auffrischung der notwendigen Statistiken explizit durch DBA
  - Oracle: **analyze table** PERS **compute statistics for table**;
  - DB2: **runstats on table** ...
- Analyse generierter Auswertungspläne durch EXPLAIN-Anweisung

```
EXPLAIN PLAN FOR
SELECT DISTINCT S.Semester
FROM Student S, Hoert H,
          Vorlesung V, Prof P
WHERE P.Name="Rahm"
          AND V.liest = P.PNR
          AND V.VNR=H.VNR
          AND H.Matnr=S.Matnr
```

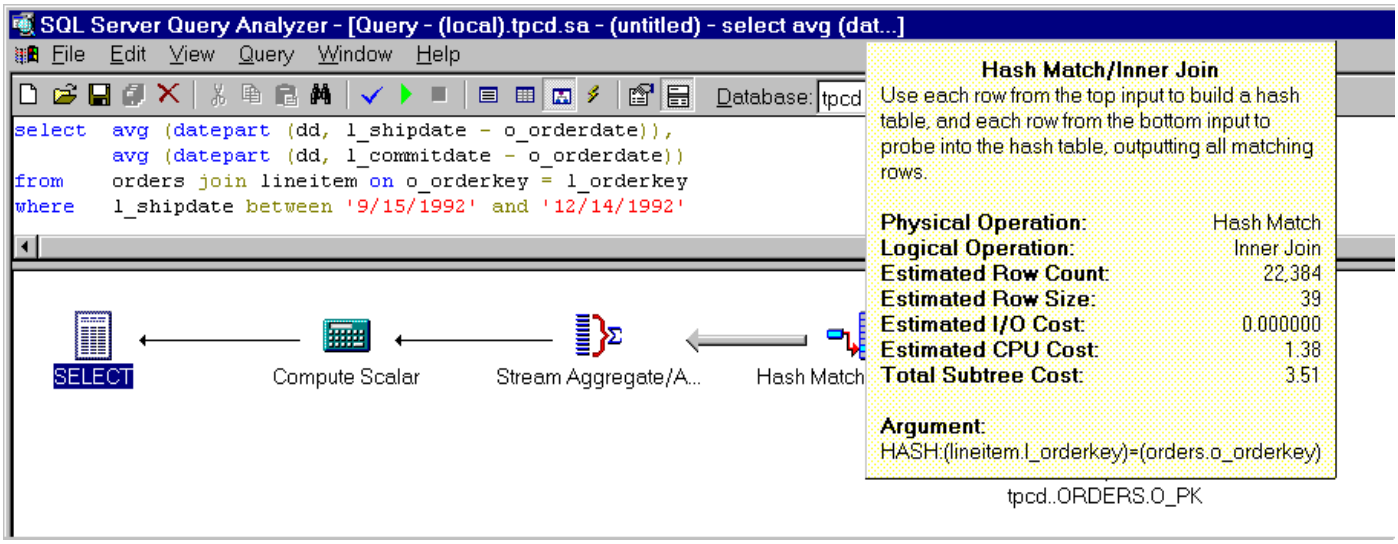
→

```
SELECT STATEMENT      Cost = 78340
  SORT UNIQUE
    HASH JOIN
      TABLE ACCESS FULL STUDENT
      HASH JOIN
          TABLE ACCESS BY ROWID PROF
              INDEX RANGE SCAN
                  PROFNAMEINDEX
          TABLE ACCESS FULL VORLESUNG
    TABLE ACCESS FULL HOERT
```

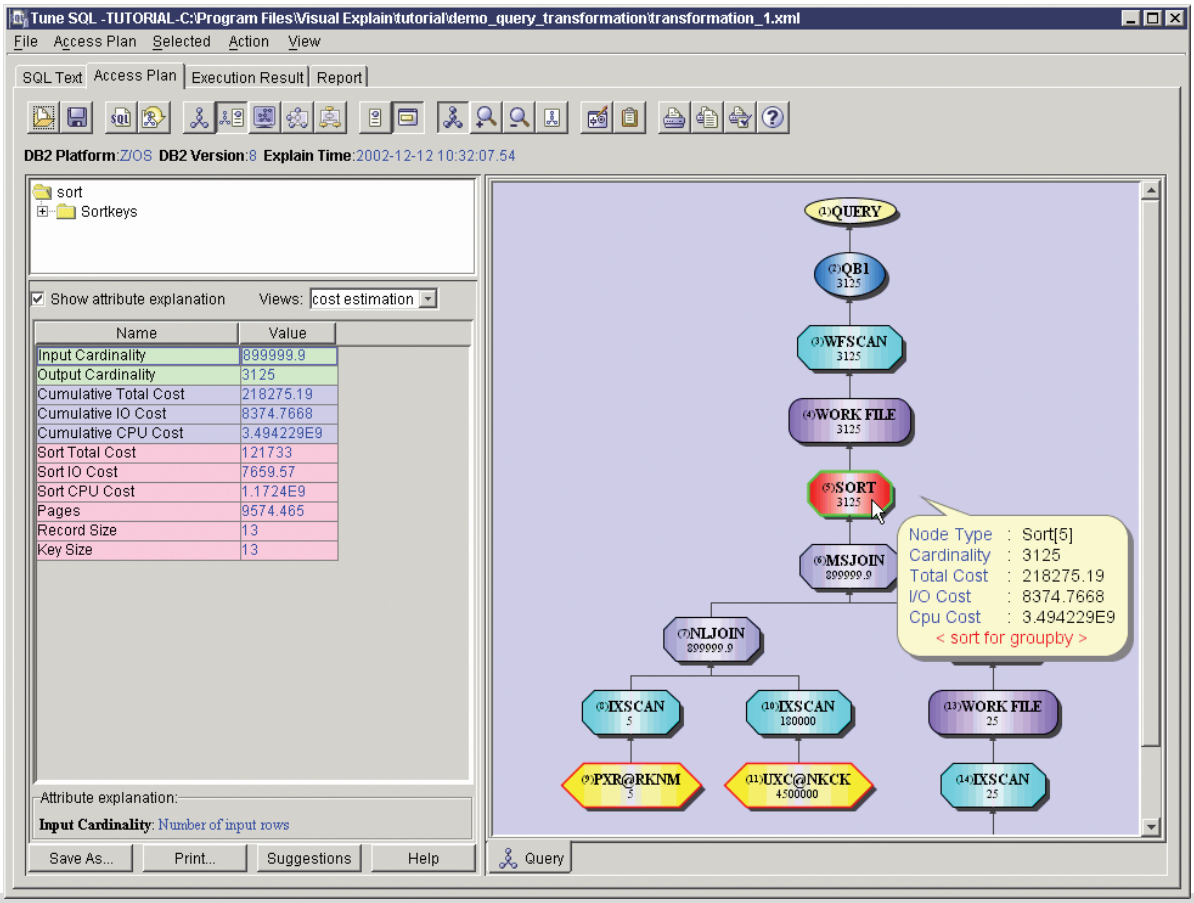
- graphische Darstellung von Auswertungsplänen

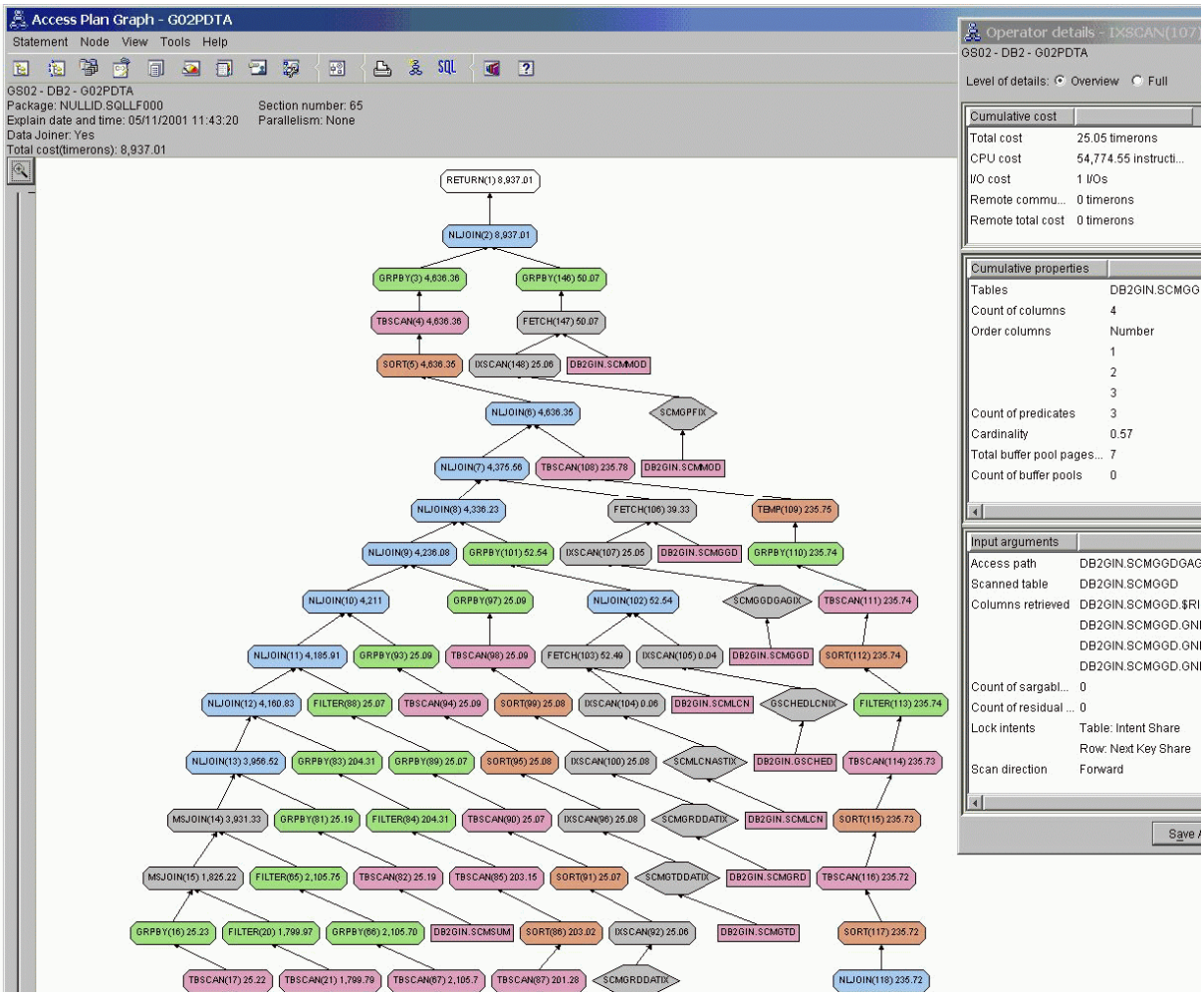
Beispiel: SQL-Server

- Graphical SHOWPLAN



Visual Explain (DB2)





Zusammenfassung

- Interpretation vs. Übersetzung
  - Interpretaion: hoher Aufwand zur Laufzeit (v.a. bei wiederholter Ausführung einer Anweisung)
  - Übersetzung: pro DB-Anweisung wird zugeschnittenes Programm zur Übersetzungszeit erstellt -> hohe Laufzeiteffizienz
- Anfrageoptimierung: Kernproblem der Übersetzung mengenorientierter DB-Sprachen
  - Logische Optimierung / Query Rewrite
  - Kostenbasierte physische Optimierung unter Berücksichtigung von Zugriffspfaden und Operatorimplementierungen (Verwendung von Heuristiken)
  - Code-Generierung
- Kostenvoranschläge für Ausführungspläne:
  - CPU-Zeit und E/A-Aufwand
  - Anzahl der Nachrichten und zu übertragende Datenvolumina (im verteilten Fall)
- gute Optimierung erfordert genaue Statistiken
  - "fatale" Annahmen: Gleichverteilung aller Attributwerte, Unabhängigkeit aller Attribute
- EXPLAIN-Funktion zur Erklärung von Ausführungsplänen