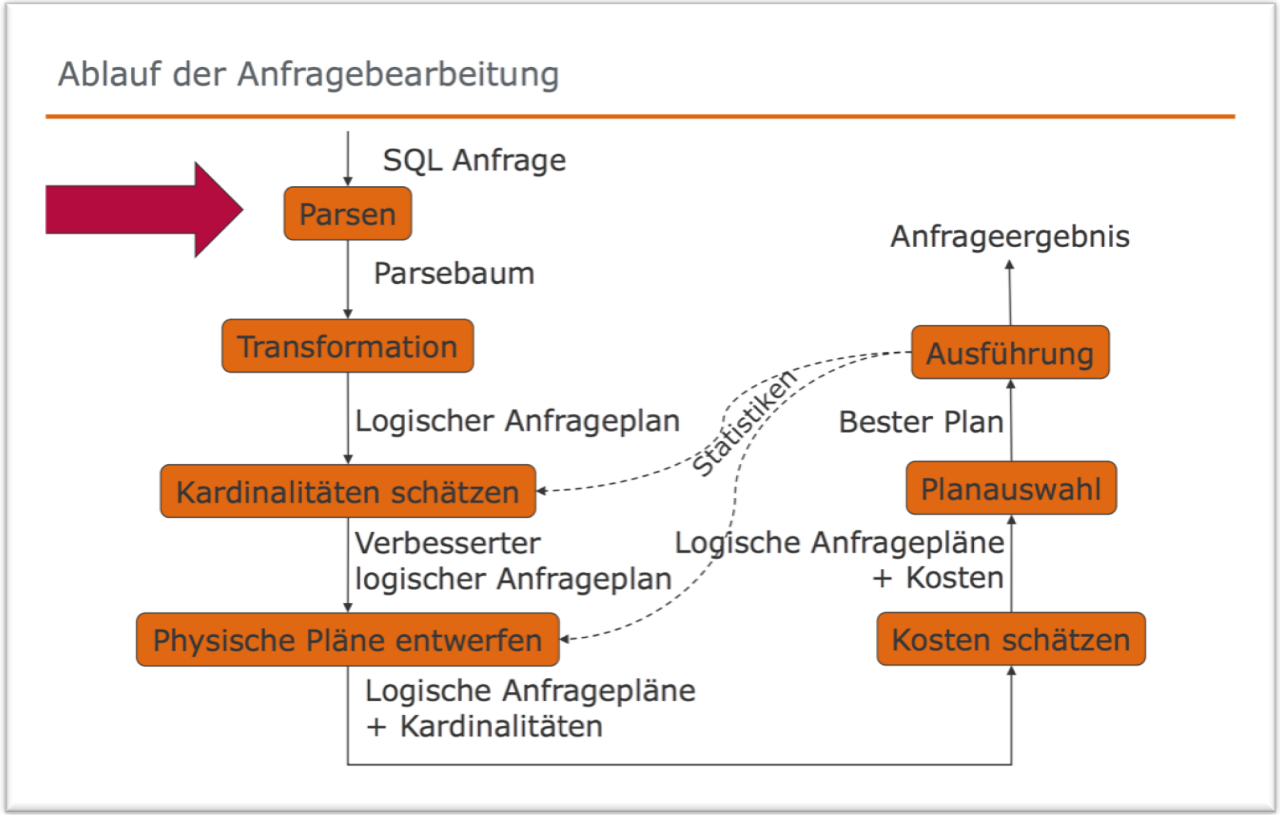
Übung Datenbanksysteme II

Anfrageoptimierung

Tobias Bleifuß

Teilweise basierend auf Folien von Leon Bornemann, Maximilian Jenders und Thorsten Papenbrock

Recap:
Algebraische Transformation



Algebraische Transformation

Anfragebearbeitung – Transformationsregeln

- Transformation der internen Darstellung
  - Ohne Semantik zu verändern
  - Zur effizienteren Ausführung
    - Insbesondere: Kleine Zwischenergebnisse
- Äquivalente Ausdrücke
  - Zwei Ausdrücke der relationalen Algebra heißen äquivalent, falls
    - Gleiche Operanden (= Relationen)
    - Stets gleiche Antwortrelation
    - Stets?

Stets = Für jede mögliche Instanz der Datenbank

Tobias Bleifuß
Übung DBS II

Recap: Algebraische Transformation

Kommutativität und Assoziativität

- $\times$ ist kommutativ und assoziativ
  - $R \times S = S \times R$
  - $(R \times S) \times T = R \times (S \times T)$
- $\cup$ ist kommutativ und assoziativ
  - $R \cup S = S \cup R$
  - $(R \cup S) \cup T = R \cup (S \cup T)$
- $\cap$ ist kommutativ und assoziativ
  - $R \cap S = S \cap R$
  - $(R \cap S) \cap T = R \cap (S \cap T)$
- $\bowtie$ ist kommutativ und assoziativ
  - $R \bowtie S = S \bowtie R$
  - $(R \bowtie S) \bowtie T = R \bowtie (S \bowtie T)$

Gilt jeweils für Mengen und Multimengen

Ausdrücke können in beide Richtungen verwendet werden.

Recap: Algebraische Transformation

Weitere Regeln

Selektion

- $\sigma_{c1 \text{ AND } c2}(R) = \sigma_{c1}(\sigma_{c2}(R))$
- $\sigma_{c1 \text{ OR } c2}(R) = \sigma_{c1}(R) \cup \sigma_{c2}(R)$
  - Nicht bei Multimengen
- $\sigma_{c1}(\sigma_{c2}(R)) = \sigma_{c2}(\sigma_{c1}(R))$
- $\sigma_c(R \; \Phi \; S) \equiv (\sigma_c(R)) \; \Phi \; (\sigma_c(S))$
  - $\Phi \in \{\cup, \cap, -, \bowtie\}$
- $\sigma_c(R \; \Phi \; S) \equiv (\sigma_c(R)) \; \Phi \; S$
  - $\Phi \in \{\cup, \cap, -, \bowtie\}$
  - Falls sich c nur auf Attribute in R bezieht.

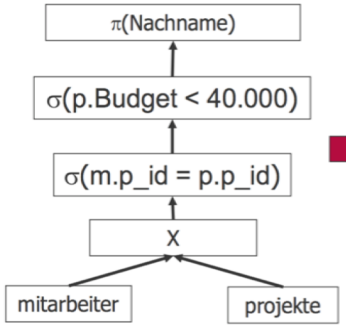
Projektion

- $\pi_L(R \bowtie S) = \pi_L(\pi_M(R) \bowtie \pi_N(S))$
- $\pi_L(R \bowtie_C S) = \pi_L(\pi_M(R) \bowtie_C \pi_N(S))$
- $\pi_L(R \times S) = \pi_L(\pi_M(R) \times \pi_N(S))$
- $\pi_L(\sigma_C(R)) = \pi_L(\sigma_C(\pi_M(R)))$

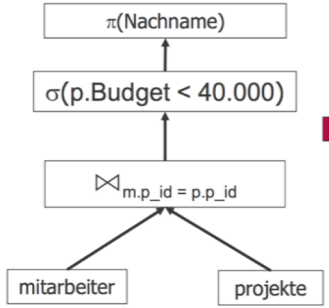
Tobias Bleifuß
Übung DBS II

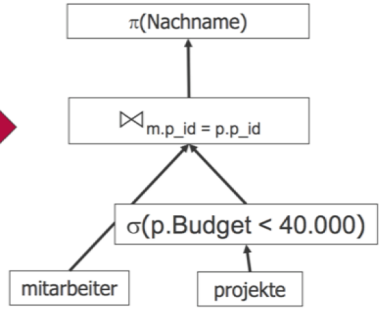
Recap:
Algebraische Transformation

Anfragebearbeitung – Beispiel



Anfragebearbeitung – Beispiel





Tobias Bleifuß
Übung DBS II

Aufgabe 1:

Algebraische Transformation

- Gegeben: R(a,b,c) und S(c,d,e)
- Gesucht: Kostengünstigste Anfragepläne für folgende Anfragen

d.h. möglichst kleine Zwischenergebnisse, also
Selektionen und Projektionen so früh wie möglich

a. $\sigma_{b=3 \wedge e=4 \wedge c>10} (R \bowtie S)$

$\sigma_{b=3}(R) \bowtie \sigma_{c>10 \wedge e=4}(S)$ $\sigma_{b=3 \wedge e=4}(R \bowtie \sigma_{c>10}(S))$ $\sigma_{c>10 \wedge b=3}(R) \bowtie \sigma_{c>10 \wedge e=4}(S)$

b. $\pi_{a,d}(R \bowtie S)$

$\pi_{a,d}(\pi_{a,c}(R) \bowtie \pi_{c,d}(S))$

Recap: Kardinalitätsschätzung

Kosten von Operationen - Zwischenergebnisse

- Wesentliches Kostenmerkmal: Anzahl der Tupel im Input
  - Insbesondere: Passt die Relation in den Hauptspeicher?
  - Selektion, Projektion, Sortierung, Join
- Output ist Input des nächsten Operators.
- Deshalb: Ein Kostenmodel schätzt u.a. für jede Operation die Anzahl der Ausgabetupel.
  - „Selektivität" in Bezug auf Inputgröße
  - #Ausgabetupel = #Eingabetupel x Selektivität
  - Auch „Selektivitätsfaktor" (*selectivity factor, sf*)

Recap: Kardinalitätsschätzung

Kostenschätzung – Selektion

- Anzahl Tupel sinkt, Tupelgröße bleibt
- Q = $\sigma_{A=c}(R)$
  - T(Q) = T(R)/V(R,A)
    - Reminder: V(R,A) = Anzahl der *distinct* Werte in Spalte A
    - D.h. selectivity factor ist 1/ V(R,A)
  - Annahme: Werte sind gleichverteilt
  - Annahme: *c* ist einer dieser Werte
  - Bessere Abschätzung mittels Histogramme
- Q = $\sigma_{A<c}(R)$
  - Erste Abschätzung: T(Q) = T(R) /2
  - Typischer: T(Q) = T(R) /3
- Q = $\sigma_{A\neq c}(R)$
  - Erste Abschätzung: T(Q) = T(R)
  - Etwas genauer: T(Q) = T(R) · (V(R,A) – 1) / V(R,A)
- Bei Konjunktionen mehrerer Selektionsbedingungen: Multiplikation der Selektivitätsfaktoren
  - Annahme: Unabhängigkeit der Bedingungen

Recap: Kardinalitätsschätzung

Kostenschätzung – Selektion mit Disjunktion

- Q = $\sigma_{C1 \text{ OR } C2}(R)$
- Idee 1: Summe der Ergebniskardinalitäten
  - Annahme: Kein Tupel erfüllt beide Bedingungen
  - Problem: T(Q) > T(R)
- Idee 2: MIN[T(R), Summe der Ergebniskardinalitäten]
- Idee 3: Wahrscheinlichkeitstheorie
  - Annahme: C1 und C2 sind unabhängig
  - T(R) = n und $T(\sigma_{C1}(R)) = m_1$ und $T(\sigma_{C2}(R)) = m_2$
  - => $T(Q) = n(1-(1-\frac{m_1}{n})(1-\frac{m_2}{n}))$

Anteil Tupel, die nicht C1 entsprechen

Anteil Tupel, die nicht C2 entsprechen

Aufgabe 2:

Kardinalitätsschätzung

- Gegeben: R(a,b,c,d) und S(d,e)
  T(R)=100; V(R,a)=100; V(R,b)=10; V(R,c)=1; V(R,d)=50
  T(S)=500; V(S,d)=30; V(S,e)=100
- Gesucht: Geschätzte Ergebniskardinalität für folgende Anfragen

a.	$\sigma_{b=25}(R)$	T(R)/V(R,b)= 10
b.	$\sigma_{c=30}(R)$	T(R)/V(R,c) = 100
c.	$\sigma_{b=25 \wedge c=30}(R)$	T(R)/(V(R,b) · V(R,c)) = 10
d.	$\sigma_{b>25}(R)$	T(R)/3 ≈ 33
e.	$\sigma_{a>30 \wedge b=10}(R)$	T(R)/(3 · V(R,b)) ≈ 3
f.	$\sigma_{b>25 \wedge b=11}(R)$	0 (widersprüchliche Selektion)
g.	$\sigma_{b=25 \vee d=13}(R)$	T(R)/V(R,b) + T(R)/V(R,d) - T(R)/(V(R,b) · V(R,d)) = 11,8 ≈ 12
h.	$R \bowtie S$	T(R) · T(S) / max[V(R,d),V(S,d)] = 1000

Kardinalitätsschätzung: Annahmen

- Natural Join R(X,Y) ⋈ S(Y,Z)
  - Equijoin analog

- **Annahme 1:**
  Containment of Value Sets
  - Beispiel: Liste für Y: [A,B,C,D,E]
- **Annahme 2:**
  Preservation of Value Sets
  - V(R ⋈ S,Z) = V(S,Z)
  - Z ist nicht Joinattribut

R

X	Y
-	A
-	B
-	C
-	D

S

Y	Z
A	-
B	-
C	-
D	-
E	-
A	-
B	-
C	-
D	-
E	-

Kardinalitätsschätzung: Schätzungen für Natural Join

Kostenschätzung für R(X,Y) ⋈ S(Y,Z):

- $T(R \bowtie S) = \frac{T(R) \cdot T(S)}{\max\left[V(R,Y), V(S,Y)\right]}$

Warum Maximum?

Was ist mit V(R ⋈ S,Y)?

- $V(R \bowtie S, Y) = min\left[V(R,Y), V(S,Y)\right]$

Wieso Minimum?

Kardinalitätsschätzung: Visualisierung

Natural Join R(X,Y) ⋈ S(Y,Z)

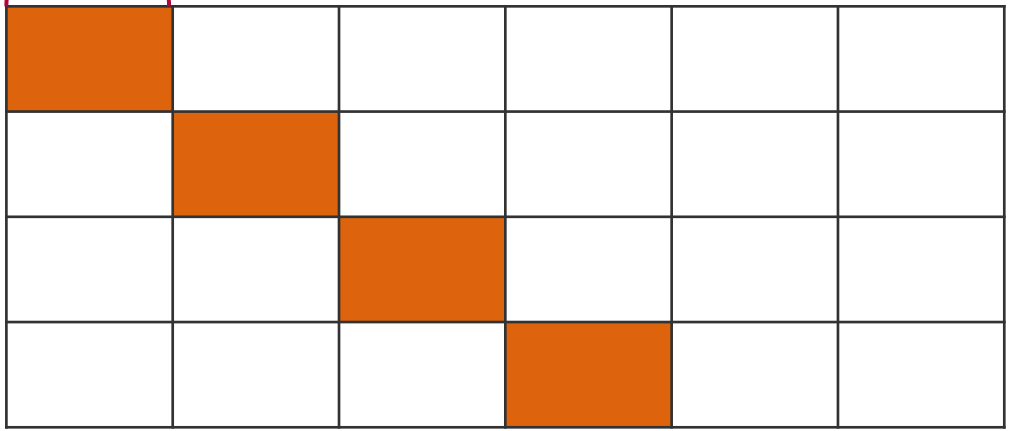
$\frac{T(R)}{V(R,Y)}$

#Spalten: $V(R,Y)$

$V(R,Y) > V(S,Y)$

$\frac{T(S)}{V(S,Y)}$

#Zeilen: $V(S,Y)$



$$\frac{T(S)}{V(S,Y)} * \frac{T(R)}{V(R,Y)} * V(S,Y) = \frac{T(R) * T(S)}{V(R,Y)}$$

Kardinalitätsschätzung: Histogramme

- Histogram-Typen:
  - **Equi-width**
  - Equi-height
  - Most frequent values

```
SELECT Januar.Tag, Juli.Tag
FROM Januar, Juli
WHERE Januar.temp = Juli.temp
```

Wertebereich Temperatur °F	Januar	Juli
0-9	40	0
10-19	60	0
20-29	80	0
30-39	50	0
40-49	10	5
50-59	5	20
60-69	0	50
70-79	0	100
80-89	0	60
90-99	0	10

Kardinalitätsschätzung: Histogramme

- Histogram-Typen:
  - Equi-width
  - **Equi-height**
  - Most frequent values
- Beispiel equi-height:
  - R: Buckets [0-24],[25-74],[75-99]
    jeweils 100 Tupel pro Bucket
  - S: Buckets [0-19],[20-99]
    jeweils 200 Tupel pro Bucket

	[0-19]	[20-24]	[25-74]	[75-99]	Σ
R	80	20	100	100	300
S	200	12,5	125	62,5	400
Kard.	80*200/20	20*12,5/5	100*125/50	100*62,5/25	1350

Kardinalitätsschätzung: Mehrere Joinattribute

Verallgemeinerung für mehrere Joinattribute:

- Teile durch das Produkt aller Maxima von $V(R, y)$ und $V(S, y)$ für jedes Joinattribut y

R(a,b,c)	S(b,c,d)
T(R)=1000	T(S)=2000
V(R,b)=30	V(S,b)=50
V(R,c)=100	V(R,c)=40

Geschätzte Kardinalität für R(a,b,c) ⋈ S(b,c,d):

$$\frac{1000 * 2000}{50 * 100} = 400$$

Kardinalitätsschätzung: Mehrfach-Join über ein Attribut

X(a,b)	Y(a,b)	Z(a,b)
T(X)=100	T(Y)=200	T(Z)=300
V(X,a)=10	V(Y,a)=20	V(Z,a)=30
V(X,b)=3	V(Y,b)=2	V(Z,b)=1

$T(X \bowtie Y) = 100 \cdot 200 / (20 \cdot 3) = 333{,}33$

$T((X \bowtie Y) \bowtie Z) = 333{,}33 \cdot 300 / (30 \cdot \mathbf{2}) = 1666{,}66$

- *Preservation of Value Sets* gilt nicht, wenn das Attribut ein Join-Attribut war!
- Wegen *Containment of Value Sets* wissen wir aber, dass nach dem Join $V(X \bowtie Y,a) = 10$ und $V(X \bowtie Y,b) = 2$ sein müssen.

- *Containment of Value Sets*: Werte eines Attributs, das in mehreren Relationen auftaucht, werden vom Beginn einer festen Liste gewählt.
  - Falls $V(R,Y) \leq V(S,Y)$ => Jeder Y-Wert in R taucht in S auf
  - Realistisch? Wann?
- *Preservation of Value Sets*: Anzahl der distinct-Werte eines nicht-Joinattributs bleiben erhalten.
  - $V(R \bowtie S, X) = V(R, X)$

Kardinalitätsschätzung: Mehrere Relationen

Verallgemeinerung für mehrere Relationen:

- Multipliziere die Anzahl der Tupel in jeder Relation; teile für jedes Attribut A, was mindestens zweimal auftaucht, durch alle außer dem kleinsten V(R,A)

$W(A,B)$	$X(B,C)$	$Y(C,D)$	$Z(D,A)$
$T(W) = 100$	$T(X) = 200$	$T(Y) = 300$	$T(Z) = 400$
$V(W,A) = 20$			$V(Z,A) = 100$
$V(W,B) = 60$	$V(X,B) = 50$		
	$V(X,C) = 100$	$V(Y,C) = 50$	
		$V(Y,D) = 50$	$V(Z,D) = 40$

- Geschätzte Kardinalität für W $\bowtie_B$ X $\bowtie_C$ Y $\bowtie_{D,A}$ Z:

$$\frac{100 * 200 * 300 * 400}{100 * 60 * 100 * 50} = 80$$

Join-Reihenfolge

Gegeben: Folgende Relationen und deren Statistiken

$W(A,B)$	$X(B,C)$	$Y(C,D)$	$Z(D,A)$
$T(W) = 100$	$T(X) = 200$	$T(Y) = 300$	$T(Z) = 400$
$V(W,A) = 20$			$V(Z,A) = 100$
$V(W,B) = 60$	$V(X,B) = 50$		
	$V(X,C) = 100$	$V(Y,C) = 50$	
		$V(Y,D) = 50$	$V(Z,D) = 40$

Gesucht: Optimale Join-Reihenfolge für W ⋈ X ⋈ Y ⋈ Z

Bestimme die Join-Reihenfolge als Left Deep Tree. Nutze dazu Dynamische Programmierung und gib die Tabellen aller Zwischenschritte an. Verwende als Kostenmaß die Summe der Zwischenergebnisgrößen.

Join-Reihenfolge

$W(A,B)$	$X(B,C)$	$Y(C,D)$	$Z(D,A)$
$T(W) = 100$	$T(X) = 200$	$T(Y) = 300$	$T(Z) = 400$
$V(W,A) = 20$			$V(Z,A) = 100$
$V(W,B) = 60$	$V(X,B) = 50$		
	$V(X,C) = 100$	$V(Y,C) = 50$	
		$V(Y,D) = 50$	$V(Z,D) = 40$

	{W}	{X}	{Y}	{Z}
Kardinalität	100	200	300	400
Kosten	0	0	0	0
Opt. Plan	W	X	Y	Z

Kleinste Relation links

	{W,X}	{W,Y}	{W,Z}	{X,Y}	{X,Z}	{Y,Z}
Kard.	100·200 /60 = 333,33	100·300 = 30000	100·400 /100 = 400	200·300 /100 = 600	200·400 = 80000	300·400 /50 = 2400
Kosten	0	0	0	0	0	0
Opt. Plan	W⋈X	W⋈Y	W⋈Z	X⋈Y	X⋈Z	Y⋈Z

Join-Reihenfolge

$W(A,B)$	$X(B,C)$	$Y(C,D)$	$Z(D,A)$
$T(W) = 100$	$T(X) = 200$	$T(Y) = 300$	$T(Z) = 400$
$V(W,A) = 20$			$V(Z,A) = 100$
$V(W,B) = 60$	$V(X,B) = 50$		
	$V(X,C) = 100$	$V(Y,C) = 50$	
		$V(Y,D) = 50$	$V(Z,D) = 40$

	{W,X}	{W,Y}	{W,Z}	{X,Y}	{X,Z}	{Y,Z}
Kard.	100·200 /60 = 333,33	100·300 = 300	100·400 /100 = 400	200·300 /100 = 600	200·400 = 800	300·400 /50 = 2400
Kosten	0	0	0	0	0	0
Opt. Plan	W⋈X	W⋈Y	W⋈Z	X⋈Y	X⋈Z	Y⋈Z

?

	{W,X,Y}	{W,X,Z}	{W,Y,Z}	{X,Y,Z}
Kardinalität	333,33·300 /100 = 1000	333,33·400 /100 = 1333,33	400·300 /50 = 2400	600·400 /50 = 4800
Kosten	333,33	333,33	400	600
Opt. Plan	(W⋈X)⋈Y	(W⋈X)⋈Z	(W⋈Z)⋈Y	(X⋈Y)⋈Z

Kardinalität ist für alle möglichen Joinreihenfolgen gleich!

Kosten: (Kardinalität + Kosten) des Zwischenergebnisses

Join-Reihenfolge

$W(A,B)$	$X(B,C)$	$Y(C,D)$	$Z(D,A)$
$T(W) = 100$	$T(X) = 200$	$T(Y) = 300$	$T(Z) = 400$
$V(W,A) = 20$			$V(Z,A) = 100$
$V(W,B) = 60$	$V(X,B) = 50$		
	$V(X,C) = 100$	$V(Y,C) = 50$	
		$V(Y,D) = 50$	$V(Z,D) = 40$

	{W,X}	{W,Y}	{W,Z}	{X,Y}	{X,Z}	{Y,Z}
Kard.	100·200/60 = 333,33	100·300 = 30000	100·400/100 = 400	200·300/100 = 600	200·400 = 80000	300·400/50 = 2400
Kosten	0	0	0	0	0	0
Opt. Plan	W⋈X	W⋈Y	W⋈Z	X⋈Y	X⋈Z	Y⋈Z

	{W,X,Y}	{W,X,Z}	{W,Y,Z}	{X,Y,Z}
Kardinalität	333,33·300/100 = 1000	333,33·400/100 = 1333,33	400·300/50 = 2400	600·400/50 = 4800
Kosten	333,33	333,33	400	600
Opt. Plan	(W⋈X)⋈Y	(W⋈X)⋈Z	(W⋈Z)⋈Y	(X⋈Y)⋈Z

Join-Reihenfolge

$W(A,B)$	$X(B,C)$	$Y(C,D)$	$Z(D,A)$
$T(W) = 100$	$T(X) = 200$	$T(Y) = 300$	$T(Z) = 400$
$V(W,A) = 20$			$V(Z,A) = 100$
$V(W,B) = 60$	$V(X,B) = 50$		
	$V(X,C) = 100$	$V(Y,C) = 50$	
		$V(Y,D) = 50$	$V(Z,D) = 40$

	{W,X,Y}	{W,X,Z}	{W,Y,Z}	{X,Y,Z}
Kardinalität	333,33·300 /100 = 1000	333,33·400 /100 = 1333,33	400·300 /50 = 2400	600·400 /50 = 4800
Kosten	333,33	333,33	400	600
Opt. Plan	(W⋈X)⋈Y	(W⋈X)⋈Z	(W⋈Z)⋈Y	(X⋈Y)⋈Z

Plan	((W⋈X)⋈Y)⋈Z	((W⋈X)⋈Z)⋈Y	((W⋈Z)⋈Y)⋈X	((X⋈Y)⋈Z)⋈W
Kard.	1000·400 /(100·50) = 80	1333,33·300 /(100·50) = 80	2400·200 /(100·60) = 80	4800·100 /(100·60) = 80
Kosten	1333,33	1666,66	2800	5400

Aufgabenblatt 5

Aufgabe 1: Kardinalitätsschätzung

Gegeben seien die folgenden Relationen und deren Statistiken:

$W(a,b)$	$X(b,c)$	$Y(c,d)$	$Z(d,a)$
$T(W) = 300$	$T(X) = 600$	$T(Y) = 900$	$T(Z) = 1200$
$V(W,a) = 30$			$V(Z,a) = 300$
$V(W,b) = 60$	$V(X,b) = 50$		
	$V(X,c) = 100$	$V(Y,c) = 50$	
		$V(Y,d) = 60$	$V(Z,d) = 40$

Schätze die Kardinalität der Ergebnisrelationen der folgenden Ausdrücke: **9 P**

a) $W \bowtie X \bowtie Y \bowtie Z$

b) $\sigma_{a=10}(W)$

c) $\sigma_{c=20}(Y)$

d) $\sigma_{c=20}(Y) \bowtie Z$

e) $W \times Y$

f) $\sigma_{d>10}(Z)$

g) $\sigma_{a=1 \wedge d=2}(Z)$

h) $\sigma_{c>1 \wedge d=2}(Y)$

i) $X \overset{\bowtie}{}_{X.b=Z.d} Z$

Aufgabenblatt 5

Aufgabe 2: Join-Kardinalität

Gegeben sind zwei Relationen $R(A, B)$ und $S(B, C)$. Beide Relationen enthalten 20 unterschiedliche Werte im Attribut B, wobei die Werte in R den Werten in S entsprechen. Es gilt also $V(R, B) = V(S, B) = 20$. Die Werteverteilungen in $R(B)$ und $S(B)$ sind durch folgendes Histogramm beschrieben, welches die Häufigkeit der 4 häufigsten Werte angibt:

	0	1	2	3	4	andere Werte
$R.B$	5	6	4	5	*	32
$S.B$	10	8	5	*	7	48

Die mit * gekennzeichneten Werte gehören nicht zu den vier jeweils häufigsten Werten, sondern zu den "anderen Werten". Schätze nun unter Verwendung des Histogramms die Kardinalität des Joins über $R(A, B) \bowtie S(B, C)$ ab. Schätze anschließend die Kardinalität ohne das Histogram zu verwenden (wie üblich Annahme der Gleichverteilung aller 20 Attributwerte). Vergleiche die beiden Ergebnisse. **5 P**

Aufgabe 3: Join-Reihenfolge

Gegeben seien die folgenden Relationen und deren Statistiken:

$E(a,b,c)$	$F(a,b,d)$	$G(a,c,d)$	$H(b,c,d)$
$T(E) = 1000$	$T(F) = 2000$	$T(G) = 3000$	$T(H) = 4000$
$V(E,a) = 1000$	$V(F,a) = 50$	$V(G,a) = 50$	
$V(E,b) = 50$	$V(F,b) = 100$		$V(H,b) = 40$
$V(E,c) = 20$		$V(G,c) = 300$	$V(H,c) = 100$
	$V(F,d) = 200$	$V(G,d) = 500$	$V(H,d) = 400$

Bestimme die Join-Reihenfolge als Left Deep Tree. Gib dazu alle Tabellen des Algorithmus der Dynamischen Programmierung an. Was ist die optimale Join-Reihenfolge, wie hoch sind deren Kosten und welche Kardinalität hat der Join am Ende?

Hinweis: Bei dieser Aufgabe können bei der Berechung für Kardinalität und Kosten Bruchzahlen herauskommen. Auch wenn man in der Realität keine Kardinalität von z.B. 1/10 Tupeln erwartet könnt ihr in dieser Aufgabe damit ruhig weiterrechnen. **10 P**