Datenbank-Architektur für Fortgeschrittene

Ausarbeitung 1: Anfrageverarbeitung

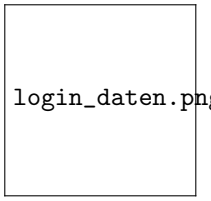
Thomas Baumann / Egemen Kaba

04. Mai 2013

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

Die Ausarbeitung haben wir mit folgender Datenbankverbindung ausgeführt.



2 Vorbereitung

2.1 Einrichten Datenbasis

Die Datenbank haben wir mit folgenden Querys eingerichtet.

SQL-Query

```
1  CREATE TABLE regions
2  AS SELECT *
3    FROM dbarc00.regions;
4
5  CREATE TABLE nations
6  AS SELECT *
7    FROM dbarc00.nations;
8
9  CREATE TABLE parts
10 AS SELECT *
11   FROM dbarc00.parts;
12
13 CREATE TABLE customers
14 AS SELECT *
15   FROM dbarc00.customers;
16
17 CREATE TABLE suppliers
18 AS SELECT *
19   FROM dbarc00.suppliers;
20
21 CREATE TABLE orders
22 AS SELECT *
23   FROM dbarc00.orders;
24
25 CREATE TABLE partsupps
26 AS SELECT *
27   FROM dbarc00.partsupps;
28
29 CREATE TABLE lineitems
30 AS SELECT *
31   FROM dbarc00.lineitems;
```

2.2 Tabellenstatistik

SQL-Query

```
1 SELECT segment_name, bytes, blocks, extents
2 FROM user_segments;
3
4 SELECT table_name, num_rows
5 FROM user_tab_statistics;
```

Folgende Tabellenstatistik haben wir mit den oben genannten Querys erhoben.

Tabelle	Anzahl Zeilen	Grösse in Bytes	Anzahl Blöcke	Anzahl Extents
CUSTOMERS	150'000	29'360'128	3'584	43
LINEITEMS	6'001'215	897'581'056	109'568	178
NATIONS	25	65'536	8	1
ORDERS	1'500'000	201'326'592	24'576	95
PARTS	200'000	32'505'856	3'968	46
PARTSUPPS	800'000	142'606'336	17'408	88
REGIONS	5	65'536	8	1
SUPPLIERS	10'000	2'097'152	256	17

3 Ausführungsplan

SQL-Query

```
1 EXPLAIN PLAN FOR
2 SELECT *
3 FROM parts;
4
5 SELECT plan_table_output
6 FROM TABLE(DBMS_XPLAN.DISPLAY('plan_table',null,'serial'));
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name  | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |       |   190K|    26M|  1051   (1)| 00:00:13 |
|   1 |  TABLE ACCESS FULL| PARTS |   190K|    26M|  1051   (1)| 00:00:13 |
-------------------------------------------------------------------------------
```

Die Tabelle zeigt die einzelnen Schritte des Ausführungsplanes, welche der Optimizer erstellt hat, mit den jeweilig zurückgegebenen Anzahl Zeilen, deren Grösse, die Kosten und Zeit für die Teilschritte. Man kann sich den Ausführungsplan als Baum vorstellen. Die Einrückungen stellen die Knotentiefe dar. Die Kosten für einen Elternknoten werden aus der Summe der Kosten der Kindknoten plus die eigenen Kosten berechnet.

Für die nächsten Aufgaben verwenden wir das obenstehende Statement. Wir haben jeweils das Query ausgetauscht um den Ausführungsplan zu erhalten.

4 Versuche ohne Index

4.1 Projektion

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name   | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |        |  1579K|   209M|  6612   (1)| 00:01:20 |
|   1 |  TABLE ACCESS FULL| ORDERS |  1579K|   209M|  6612   (1)| 00:01:20 |
-------------------------------------------------------------------------------
```

Reflexion
Da alle Zeilen und Spalten der Tabelle ausgelesen werden müssen wird hier ein Full Table Scan durchgeführt. Aus der Statistik geht hervor, dass diese Tabelle 1579K Zeilen umfasst, 209MB gross ist und ein Full Table Scan 6612 CPU-Indexpunkte beansprucht.

SQL-Query

```
1 SELECT o_clerk
2 FROM orders;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name    | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |         |  1579K|    25M|  6608   (1)| 00:01:20 |
|   1 |  TABLE ACCESS FULL| ORDERS  |  1579K|    25M|  6608   (1)| 00:01:20 |
-------------------------------------------------------------------------------
```

Reflexion
Es werden wiederum alle Zeile, jedoch nicht alle Spalten ausgelesen. Exakt läuft es so ab, dass zuerst die ganze Tabelle gelesen wird und danach die nicht benötigten Spalten herausgefiltert werden. Das verringert die Anzahl Daten, die gespeichert werden müssen, drastisch von 209MB auf 25MB. Zudem ist die benötigte CPU-Leistung minimal weniger, aufgrund der Reduktion des zu verwaltenden Speichers.

SQL-Query

```
1 SELECT DISTINCT o_clerk
2 FROM orders;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation           | Name    | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT    |         |  1579K|    25M|       | 15333   (1)| 00:03:04 |
|   1 |  HASH UNIQUE        |         |  1579K|    25M|    36M| 15333   (1)| 00:03:04 |
|   2 |   TABLE ACCESS FULL| ORDERS  |  1579K|    25M|       |  6608   (1)| 00:01:20 |
-------------------------------------------------------------------------------------
```

Reflexion
Wie beim vorherigen Befehl werden alle Zeilen einer bestimmten Spalte ausgelesen, was wiederum einen Zugriff auf die gesamte Tabelle nötig macht. Zusätzlich zu diesem Aufwand müssen vorangehend alle doppelten Einträge herausgefiltert werden, was die massiv angestiegenen CPU-Kosten bei Id 0 und 1 erklärt. Die zusätzliche Operation mit der Id 1 dient dazu, die doppelten Werte herauszufiltern. Für die Speicherung von Zwischenresultaten wird dabei temporärer Speicher beansprucht.

4.2 Selektion

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders
3 WHERE o_orderkey = 44444;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
```

```
| Id  | Operation          | Name    | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-----------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |         |   267 | 37113 |  6603   (1)| 00:01:20 |
|*  1 |  TABLE ACCESS FULL| ORDERS  |   267 | 37113 |  6603   (1)| 00:01:20 |
-----------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - filter("O_ORDERKEY"=44444)
```

Reflexion
Es soll nur ein Tupel ausgewählt werden (Spalte ist Primary Key), da jedoch kein index besteht, ist nicht bekannt, wo der Eintrag liegt und zusätzlich kann nach dem ersten Fund nicht abgebrochen werden. Deshalb muss wieder ein Full Table Scan durchgeführt werden. Durch die Bedingung wird viel weniger Hauptspeicher benötigt.

SQL-Query

```sql
SELECT *
FROM orders
WHERE o_orderkey = 44444 OR o_clerk = 'Clerk#000000286';
```

Ausführungsplan

```
-----------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name    | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-----------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |         |   267 | 37113 |  6631   (1)| 00:01:20 |
|*  1 |  TABLE ACCESS FULL| ORDERS  |   267 | 37113 |  6631   (1)| 00:01:20 |
-----------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - filter("O_ORDERKEY"=44444 OR "O_CLERK"='Clerk#000000286')
```

Reflexion
Im Vergleich zum vorherigen Query sind nur die Kosten minimal gestiegen, dies ist auf die zweite Bedingung zurück zu führen.

SQL-Query

```sql
SELECT *
FROM orders
WHERE o_orderkey = 44444 AND o_clerk = 'Clerk#000000286';
```

Ausführungsplan

```
-----------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name    | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-----------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |         |   158 | 21962 |  6612   (1)| 00:01:20 |
|*  1 |  TABLE ACCESS FULL| ORDERS  |   158 | 21962 |  6612   (1)| 00:01:20 |
-----------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - filter("O_ORDERKEY"=44444 AND "O_CLERK"='Clerk#000000286')
```

Reflexion
Durch die AND-verknüpfung muss die zweite Bedingung nur überprüft werden, wenn die Erste erfüllt ist. So sind alle Werte, ausser die Zeit gesunken.

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders
3 WHERE o_orderkey*2 = 44444 AND o_clerk = 'Clerk#000000286';
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name    | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |         |   158 | 21962 |  6616   (1)| 00:01:20 |
|*  1 |  TABLE ACCESS FULL| ORDERS  |   158 | 21962 |  6616   (1)| 00:01:20 |
-------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - filter("O_ORDERKEY"*2=44444 AND "O_CLERK"='Clerk#000000286')
```

Reflexion

Die Werte sind alle genau gleich, wie beim vorherigen Query, obwohl eigentlich eine zusätzliche Operation pro Zeile notwendig ist ($o\_orderkey * 2$). Wir vermuten, dass dieses Query vor der Abfrage optimiert wird, besser gesagt, die Berechnung wird vereinfacht, so muss nur eine Operation ausgeführt werden:

```
1 o_orderkey = 22222 AND o_clerk = 'Clerk#000000286'
```

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders
3 WHERE o_orderkey BETWEEN 111111 AND 222222;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name    | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |         |   267 | 37113 |  6603   (1)| 00:01:20 |
|*  1 |  TABLE ACCESS FULL| ORDERS  |   267 | 37113 |  6603   (1)| 00:01:20 |
-------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - filter("O_ORDERKEY">=111111 AND "O_ORDERKEY"<=222222)
```

Reflexion

Die Selektion

```
1 column BETWEEN x AND y
```

wird durch folgendes

```
1 column >= x AND column <= y
```

ersetzt. Im Vergleich zum Vorherigen, sind die Anzahl Zeilen und die Speicherbenutzung gestiegen, dies weil mehr Tupel selektiert werden. Hingegen sind die Kosten gesunken, dies ist aus unserer Sicht dadurch zu Begründen, da bei beiden Vergleichen, die gleiche Spalte verwendet wird.

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders
3 WHERE o_orderkey BETWEEN 44444 AND 55555
4 AND o_clerk BETWEEN 'Clerk#000000130' AND 'Clerk#000000139';
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name   | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |        |    10 |  1390 |  6613   (1)| 00:01:20 |
|*  1 |  TABLE ACCESS FULL| ORDERS |    10 |  1390 |  6613   (1)| 00:01:20 |
-------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - filter("O_ORDERKEY">=44444 AND "O_ORDERKEY"<=55555 AND
              "O_CLERK">='Clerk#000000130' AND "O_CLERK"<='Clerk#000000139')
```

Reflexion
Auch hier wurden die BETWEEN wieder mit grösser gleich und kleiner gleich ersetzt. Die Resultierende Anzahl Tupel und der benötigte Speicher sind nochmals gesunken. Wohin gegen die Kosten gestiegen sind, da bis zu vier Vergleiche notwendig sind.

4.3 Join

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders, customers
3 WHERE o_custkey = c_custkey
4 AND o_orderkey < 100;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation           | Name      | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT    |           |    25 |  6750 |  7555   (1)| 00:01:31 |
|*  1 |  HASH JOIN          |           |    25 |  6750 |  7555   (1)| 00:01:31 |
|*  2 |   TABLE ACCESS FULL| ORDERS    |    25 |  2775 |  6602   (1)| 00:01:20 |
|   3 |   TABLE ACCESS FULL| CUSTOMERS |   150K|    22M|   951   (1)| 00:00:12 |
-------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("O_CUSTKEY"="C_CUSTKEY")
   2 - filter("O_ORDERKEY"<100)
```

Varianten

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM customers, orders
3 WHERE o_orderkey < 100
4 AND c_custkey = o_custkey;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name      | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |           |    25 |  6750 |  7556   (1)| 00:01:31 |
|*  1 |  HASH JOIN         |           |    25 |  6750 |  7556   (1)| 00:01:31 |
|*  2 |   TABLE ACCESS FULL| ORDERS    |    25 |  2775 |  6604   (1)| 00:01:20 |
|   3 |   TABLE ACCESS FULL| CUSTOMERS |   150K|    22M|   951   (1)| 00:00:12 |
-------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("C_CUSTKEY"="O_CUSTKEY")
   2 - filter("O_ORDERKEY"<100)
```

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM customers, orders
3 WHERE c_custkey = o_custkey
4 AND o_orderkey < 100;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name      | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |           |    25 |  6750 |  7555   (1)| 00:01:31 |
|*  1 |  HASH JOIN         |           |    25 |  6750 |  7555   (1)| 00:01:31 |
|*  2 |   TABLE ACCESS FULL| ORDERS    |    25 |  2775 |  6602   (1)| 00:01:20 |
|   3 |   TABLE ACCESS FULL| CUSTOMERS |   150K|    22M|   951   (1)| 00:00:12 |
-------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("C_CUSTKEY"="O_CUSTKEY")
   2 - filter("O_ORDERKEY"<100)
```

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM customers, orders
3 WHERE o_custkey = c_custkey
4 AND o_orderkey < 100;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name      | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |           |    25 |  6750 |  7555   (1)| 00:01:31 |
|*  1 |  HASH JOIN         |           |    25 |  6750 |  7555   (1)| 00:01:31 |
|*  2 |   TABLE ACCESS FULL| ORDERS    |    25 |  2775 |  6602   (1)| 00:01:20 |
|   3 |   TABLE ACCESS FULL| CUSTOMERS |   150K|    22M|   951   (1)| 00:00:12 |
-------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("O_CUSTKEY"="C_CUSTKEY")
   2 - filter("O_ORDERKEY"<100)
```

Reflexion

Der Optimizer wählt bei allen Varianten automatisch die Perfomanteste aus. Somit kann man sagen, dass die Rheinfolge in der WHERE Klausel keine Rolle spielt.

Im Folgenden werden einige Gründe aufgeführt:
Es wird ein Fremdschlüssel von orders und der Primärschlüssel von customers verglichen, dadurch können in beiden Tabellen nicht benötigte Tupel vorab herausgefiltert werden. Dies hat den Vorteil, dass weniger Speicher und CPU für weitere Operationen benötigt werden. Danach werden die restlichen Tupel der Tabelle orders mit der zweiten Bedingung herausgefiltert. Wenn nun die minimalst mögliche Anzahl Tuppel erreicht worden sind, wird auf die Tabelle customers zugegriffen und mit der Tabelle orders gejoint.

5 Versuche mit Index

SQL-Query

```
1 SELECT segment_name, bytes
2 FROM user_segments;
```

Index	Grösse in Bytes	Tabellen Grösse in Bytes	Anteil von Index an Tabelle
O_ORDERKEY_IX	30'408'704	201'326'592	15.10%
O_CLERK_IX	48'234'496	201'326'592	23.96%

5.1 Projektion

SQL-Query

```
1 SELECT DISTINCT o_clerk
2 FROM orders;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation             | Name       | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT      |            |  1000 | 16000 |  1622   (5)| 00:00:20 |
|   1 |  HASH UNIQUE          |            |  1000 | 16000 |  1622   (5)| 00:00:20 |
|   2 |   INDEX FAST FULL SCAN| O_CLERK_IX |  1500K|    22M|  1553   (1)| 00:00:19 |
-------------------------------------------------------------------------------
```

Reflexion
Statt dem Full Table Access wird jetzt ein Index Range Scan angewendet. Dadurch können die benötigten Einträge wesentlich schneller gefunden werden. Konkret werden im Vergleich zum Versuch ohne Index über weniger Reihen iteriert, weniger Platz im Memory sowie kein temporärer Speicher mehr benötigt, weniger CPU beansprucht und das Query wird deutlich schneller abgearbeitet.

5.2 Selektion

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders
3 WHERE o_orderkey = 44444;
```

Ausführungsplan

```
-----------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation                   | Name          | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
```

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT            |                |     1 |   111 |     4   (0)| 00:00:01 |
|   1 |  TABLE ACCESS BY INDEX ROWID| ORDERS         |     1 |   111 |     4   (0)| 00:00:01 |
|*  2 |   INDEX RANGE SCAN          | O_ORDERKEY_IX  |     1 |       |     3   (0)| 00:00:01 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   2 - access("O_ORDERKEY"=44444)
```

Reflexion
Hier wird selektiv mittels eines Index Range Scan gesucht. Es liefert die Position auf der Disk mittels der ROWID. Anhand dieser ROWID wird wiederum direkt auf die Tabelle zugegriffen.

SQL-Query

```sql
SELECT /*+ FULL(orders) */ *
FROM orders
WHERE o_orderkey = 44444;
```

Ausführungsplan

```
-----------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name    | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-----------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |         |     1 |   111 |  6602   (1)| 00:01:20 |
|*  1 |  TABLE ACCESS FULL| ORDERS  |     1 |   111 |  6602   (1)| 00:01:20 |
-----------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - filter("O_ORDERKEY"=44444)
```

Reflexion
Der Hint erzwingt einen Full Table Access, was zu einen massiven Anstieg des Ressourcenverbrauchs führt. Der Index wird dabei nicht benutzt.

SQL-Query

```sql
SELECT *
FROM orders
WHERE o_orderkey = 44444 OR o_clerk = 'Clerk#000000286';
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation                      | Name          | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT               |               |  1501 |   162K|   336   (0)| 00:00:05 |
|   1 |  TABLE ACCESS BY INDEX ROWID   | ORDERS        |  1501 |   162K|   336   (0)| 00:00:05 |
|   2 |   BITMAP CONVERSION TO ROWIDS  |               |       |       |            |          |
|   3 |    BITMAP OR                   |               |       |       |            |          |
|   4 |     BITMAP CONVERSION FROM ROWIDS|             |       |       |            |          |
|*  5 |      INDEX RANGE SCAN          | O_CLERK_IX    |       |       |     8   (0)| 00:00:01 |
|   6 |     BITMAP CONVERSION FROM ROWIDS|             |       |       |            |          |
|*  7 |      INDEX RANGE SCAN          | O_ORDERKEY_IX |       |       |     3   (0)| 00:00:01 |
-------------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   5 - access("O_CLERK"='Clerk#000000286')
   7 - access("O_ORDERKEY"=44444)
```

Reflexion
Durch den Zugriff auf Indizes wird auch hier direkt auf die benötigten Tuppel zugegriffen. Statt einer werden zwei Indizes verwendet, da die OR-Verknüpfung den Zugriff auf zwei indexierte Spalten verlangt.

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders
3 WHERE o_orderkey = 44444 AND o_clerk = 'Clerk#000000286';
```

Ausführungsplan

```
-----------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation                    | Name          | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-----------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT             |               |     1 |   111 |     4   (0)| 00:00:01 |
|*  1 |  TABLE ACCESS BY INDEX ROWID| ORDERS        |     1 |   111 |     4   (0)| 00:00:01 |
|*  2 |   INDEX RANGE SCAN           | O_ORDERKEY_IX |     1 |       |     3   (0)| 00:00:01 |
-----------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - filter("O_CLERK"='Clerk#000000286')
   2 - access("O_ORDERKEY"=44444)
```

Reflexion

Bevor hier der Index Range Scan auf die Spalte orderkey angewendet wird, werden die Einträge nach der Spalte clerk gefiltert. Dies geschieht deswegen, weil ein Tuppel Kriterien in zwei Spalten erfüllen muss.

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders
3 WHERE o_orderkey*2 = 44444 AND o_clerk = 'Clerk#000000286';
```

Ausführungsplan

```
-----------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation                    | Name       | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-----------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT             |            |    15 |  1665 |  1470   (1)| 00:00:18 |
|*  1 |  TABLE ACCESS BY INDEX ROWID| ORDERS     |    15 |  1665 |  1470   (1)| 00:00:18 |
|*  2 |   INDEX RANGE SCAN           | O_CLERK_IX |  1500 |       |     8   (0)| 00:00:01 |
-----------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - filter("O_ORDERKEY"*2=44444)
   2 - access("O_CLERK"='Clerk#000000286')
```

Reflexion

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders
3 WHERE o_orderkey BETWEEN 111111 AND 222222;
```

Ausführungsplan

```
-----------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation                    | Name          | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-----------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT             |               | 27780 |  3011K|   932   (1)| 00:00:12 |
|   1 |  TABLE ACCESS BY INDEX ROWID| ORDERS        | 27780 |  3011K|   932   (1)| 00:00:12 |
|*  2 |   INDEX RANGE SCAN           | O_ORDERKEY_IX | 27780 |       |    68   (0)| 00:00:01 |
```

```
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   2 - access("O_ORDERKEY">=111111 AND "O_ORDERKEY"<=222222)
```

Reflexion
Der Optimizer wandelt den BETWEEN-Befehl in zwei mathematische Operationen um. Hier wird der Index Range Scan ausgeführt, weil der Range klein genug gewählt wurde, dass sich die Anzahl IO-Zugriffe noch lohnt.

SQL-Query

```sql
SELECT *
FROM orders
WHERE o_orderkey BETWEEN 111111 AND 222222123;
```

Ausführungsplan

```
------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name   | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |        |  1472K|   155M|  6617   (1)| 00:01:20 |
|*  1 |  TABLE ACCESS FULL| ORDERS |  1472K|   155M|  6617   (1)| 00:01:20 |
------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - filter("O_ORDERKEY">=111111 AND "O_ORDERKEY"<=222222123)
```

Reflexion
Hier wurde nun ein Full Table Scan ausgeführt, weil der Range gross genug gewählt wurde, dass es wegen der vielen IO-Zugriffe nicht mehr lohnt.

SQL-Query

```sql
SELECT *
FROM orders
WHERE o_orderkey BETWEEN 44444 AND 55555
AND o_clerk BETWEEN 'Clerk#000000130' AND 'Clerk#000000139';
```

Ausführungsplan

```
-----------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation                      | Name          | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-----------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT               |               |     6 |   666 |    27  (12)| 00:00:01 |
|   1 |  TABLE ACCESS BY INDEX ROWID   | ORDERS        |     6 |   666 |    27  (12)| 00:00:01 |
|   2 |   BITMAP CONVERSION TO ROWIDS  |               |       |       |            |          |
|   3 |    BITMAP AND                  |               |       |       |            |          |
|   4 |     BITMAP CONVERSION FROM ROWIDS|             |       |       |            |          |
|   5 |      SORT ORDER BY             |               |       |       |            |          |
|*  6 |       INDEX RANGE SCAN         | O_ORDERKEY_IX |  2780 |       |     9   (0)| 00:00:01 |
|   7 |     BITMAP CONVERSION FROM ROWIDS|             |       |       |            |          |
|   8 |      SORT ORDER BY             |               |       |       |            |          |
|*  9 |       INDEX RANGE SCAN         | O_CLERK_IX    |  2780 |       |    14   (0)| 00:00:01 |
-----------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   6 - access("O_ORDERKEY">=44444 AND "O_ORDERKEY"<=55555)
   9 - access("O_CLERK">='Clerk#000000130' AND "O_CLERK"<='Clerk#000000139')
```

Reflexion
Dieser Ausführungsplan arbeitet sehr stark mit Bitmaps. Zuerst werden die Tuppel der Tabelle orders seperat nach den beiden Bedingungen der WHERE Klausel mit Hilfe des Indizes analysiert. Das Ergebnis true, false wird dabei sortiert in einer Bitmap für jede ROWID abgebildet. Anschliessend werden beide Bitmaps miteinander mit

dem logischen Operator AND verknüpft. Das Ergebnis ist wiederum eine Bitmap, die jetzt beide Bedingungen der WHERE Klausel erfüllt. Die ROWIDs, wo die Bitmap den Wert true aufweist, werden nun durch die Hashfunktion ermittelt. Anschliessend wird mit diesen ROWIDs auf die Tabelle zugegriffen.
Als Nebenbemerkung: die Between-Klausel wird auch hier in zwei mathematische Funktionen umgewandelt.

5.3 Join

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders, customers
3 WHERE o_custkey = c_custkey;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation          | Name      | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT   |           |  1500K|   386M|       | 17514   (1)| 00:03:31 |
|*  1 |  HASH JOIN         |           |  1500K|   386M|    24M| 17514   (1)| 00:03:31 |
|   2 |   TABLE ACCESS FULL| CUSTOMERS |   150K|    22M|       |   951   (1)| 00:00:12 |
|   3 |   TABLE ACCESS FULL| ORDERS    |  1500K|   158M|       |  6610   (1)| 00:01:20 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("O_CUSTKEY"="C_CUSTKEY")
```

Reflexion
In diesem einfachen Statement werden beide Tabellen nach der Bedingung gefiltert. Das Ergebnis wird anschliessend gejoined. Dabei steht die kleinere der beiden Tabellen, customers, auf der linken Seite der Funktion, da daraus evtl. weniger Einträge als Ergebnis entstehen als bei der Tabelle orders. Dadurch werden Ressourcen gespart.

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders, customers
3 WHERE o_custkey = c_custkey
4 AND o_orderkey < 100;
```

Ausführungsplan

```
-----------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation                     | Name          | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-----------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT              |               |    25 |  6750 |   957   (1)| 00:00:12 |
|*  1 |  HASH JOIN                    |               |    25 |  6750 |   957   (1)| 00:00:12 |
|   2 |   TABLE ACCESS BY INDEX ROWID| ORDERS        |    25 |  2775 |     4   (0)| 00:00:01 |
|*  3 |    INDEX RANGE SCAN           | O_ORDERKEY_IX |    25 |       |     3   (0)| 00:00:01 |
|   4 |   TABLE ACCESS FULL           | CUSTOMERS     |   150K|    22M|   951   (1)| 00:00:12 |
-----------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("O_CUSTKEY"="C_CUSTKEY")
   3 - access("O_ORDERKEY"<100)
```

Reflexion
In diesem Statement steht nun das Ergebnis aus der Filterung der Tabelle orders links von der Hash-Join-Funktion. Dies liegt daran, dass auf orders eine weitere Bedingung angewendet werden kann, die die Anzahl

zu iterierender Reihen weiter einschränkt. Begünstigend ist ebenfalls die Tatsache, dass diese Bedingung mittel eines Index Range Scans geprüft werden kann. Nach der Filterung sind weniger Einträge vorhanden, als in der Tabelle customers.

SQL-Query

```
1 CREATE INDEX c_custkey_ix ON customer(c_custkey);
2 SELECT *
3 FROM orders, customers
4 WHERE o_custkey = c_custkey;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation           | Name      | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT    |           |  1500K|   386M|       | 17514   (1)| 00:03:31 |
|*  1 |  HASH JOIN          |           |  1500K|   386M|    24M| 17514   (1)| 00:03:31 |
|   2 |   TABLE ACCESS FULL| CUSTOMERS |   150K|    22M|       |   951   (1)| 00:00:12 |
|   3 |   TABLE ACCESS FULL| ORDERS    |  1500K|   158M|       |  6610   (1)| 00:01:20 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("O_CUSTKEY"="C_CUSTKEY")
```

Reflexion
Auf die Tabelle wird ein Full Table Scan aufgeführt, da sie klein genug ist, dass es aus Sicht des Optimizers nicht lohnt einen Index Range Scan durchzuführen. Zudem müsste sowieso jeder Tuppel auf die Bedingung überprüft werden.

Im Folgenden wird mittels Hint angegeben, dass ein Nested Loop angewendet werden soll.
Zudem wird exemplarisch, dass Basisbeispiel der vorherigen Übungen von Kapitel 5.3 verwendet.

SQL-Query

```
1 SELECT /*+ USE_NL (orders customers) */*
2 FROM orders, customers
3 WHERE o_custkey = c_custkey;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation                     | Name         | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT              |              |  1500K|   386M|  3007K  (1)| 10:01:34 |
|   1 |  NESTED LOOPS                 |              |       |       |            |          |
|   2 |   NESTED LOOPS                |              |  1500K|   386M|  3007K  (1)| 10:01:34 |
|   3 |    TABLE ACCESS FULL          | ORDERS       |  1500K|   158M|  6610   (1)| 00:01:20 |
|*  4 |    INDEX RANGE SCAN           | C_CUSTKEY_IX |     1 |       |     1   (0)| 00:00:01 |
|   5 |   TABLE ACCESS BY INDEX ROWID| CUSTOMERS    |     1 |   159 |     2   (0)| 00:00:01 |
-------------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   4 - access("O_CUSTKEY"="C_CUSTKEY")
```

Reflexion
Der Ausführungsplan zeigt auf, dass hier die Anwendung von Nested Loops Ressourcentechnisch unsinnig ist. Der Grund liegt darin, dass hier über jedes einzelne Tuppel iteriert werden muss, was nicht nötig wäre.

Im Folgenden wird mittels Hint angegeben, dass kein Hash Join angewendet werden soll.
Zudem wird exemplarisch, dass Basisbeispiel der vorherigen Übungen von Kapitel 5.3 verwendet.

SQL-Query

```
SELECT /*+ NO_USE_HASH (orders customers) */*
FROM orders, customers
WHERE o_custkey = c_custkey;
```

Ausführungsplan

```
-----------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation           | Name      | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-----------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT    |           |  1500K|   386M|       | 50568   (1)| 00:10:07 |
|   1 |  MERGE JOIN         |           |  1500K|   386M|       | 50568   (1)| 00:10:07 |
|   2 |   SORT JOIN         |           |   150K|    22M|    52M|  6202   (1)| 00:01:15 |
|   3 |    TABLE ACCESS FULL| CUSTOMERS |   150K|    22M|       |   951   (1)| 00:00:12 |
|*  4 |   SORT JOIN         |           |  1500K|   158M|   390M| 44366   (1)| 00:08:53 |
|   5 |    TABLE ACCESS FULL| ORDERS    |  1500K|   158M|       |  6610   (1)| 00:01:20 |
-----------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   4 - access("O_CUSTKEY"="C_CUSTKEY")
       filter("O_CUSTKEY"="C_CUSTKEY")
```

Reflexion
Wenn der Hash Join nicht verwendet werden darf, wird hier ein Merge Join durchgeführt. Auch hier sind die Kosten höher als beim Hash Join. Der Grund dafür ist, dass zum einten die Tabellen für den Merge zuvor sortiert werden müssen.

6 Quiz

SQL-Query

```
SELECT count(*)
FROM parts, partsupps, lineitems
WHERE p_partkey=ps_partkey
AND ps_partkey=l_partkey
AND ps_suppkey=l_suppkey
AND ( (ps_partkey = 5 AND p_type = 'MEDIUM ANODIZED BRASS')
OR (ps_partkey = 5 AND p_type = 'MEDIUM BRUSHED COPPER') );
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation            | Name      | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT     |           |     1 |    45 | 35577   (2)| 00:07:07 |
|   1 |  SORT AGGREGATE      |           |     1 |    45 |            |          |
|*  2 |   HASH JOIN          |           |     4 |   180 | 35577   (2)| 00:07:07 |
|*  3 |    HASH JOIN         |           |     4 |   144 |  5872   (6)| 00:01:11 |
|*  4 |     TABLE ACCESS FULL| PARTSUPPS |     4 |    36 |  4525   (1)| 00:00:55 |
|*  5 |     TABLE ACCESS FULL| PARTS     |  2667 | 72009 |  1052   (1)| 00:00:13 |
|   6 |    TABLE ACCESS FULL | LINEITEMS |  6001K|    51M| 29675   (1)| 00:05:57 |
-------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   2 - access("PS_PARTKEY"="L_PARTKEY" AND "PS_SUPPKEY"="L_SUPPKEY")
   3 - access("P_PARTKEY"="PS_PARTKEY")
       filter("PS_PARTKEY"=5 AND "P_TYPE"='MEDIUM ANODIZED BRASS' OR
              "PS_PARTKEY"=5 AND "P_TYPE"='MEDIUM BRUSHED COPPER')
   4 - filter("PS_PARTKEY"=5)
   5 - filter("P_TYPE"='MEDIUM ANODIZED BRASS' OR "P_TYPE"='MEDIUM BRUSHED COPPER')
```

Wie aus dem Ausführungsplan ohne Indexes hervorgeht, werden 35577 Kosten verursacht. Diese werden hauptsächlich durch einen Full Table Scan auf LINEITEMS verursacht.

Wie haben danach verschieden indexes eingeführt und sind schliesslich auf folgendes Endergebnis gekommen:

SQL-Query

```
1 CREATE INDEX p_partkey_ix ON parts(p_partkey);
2 CREATE INDEX ps_partkey_ix ON partsupps(ps_partkey);
3 CREATE INDEX l_partkey_ix ON lineitems(l_partkey);
4 CREATE INDEX ps_suppkey_ix ON partsupps(ps_suppkey);
5 CREATE INDEX l_suppkey_ix ON lineitems(l_suppkey);
6 CREATE INDEX p_type_ix ON parts(p_type);
```

Ausführungsplan

```
-----------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation                      | Name          | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-----------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT               |               |     1 |    45 |    52   (0)| 00:00:01 |
|   1 |  SORT AGGREGATE                |               |     1 |    45 |            |          |
|   2 |   NESTED LOOPS                 |               |     4 |   180 |    52   (0)| 00:00:01 |
|   3 |    NESTED LOOPS                |               |     4 |   144 |    12   (0)| 00:00:01 |
|   4 |     TABLE ACCESS BY INDEX ROWID| PARTSUPPS     |     4 |    36 |     4   (0)| 00:00:01 |
|*  5 |      INDEX RANGE SCAN          | PS_PARTKEY_IX |     4 |       |     3   (0)| 00:00:01 |
|*  6 |     TABLE ACCESS BY INDEX ROWID| PARTS         |     1 |    27 |     2   (0)| 00:00:01 |
|*  7 |      INDEX RANGE SCAN          | P_PARTKEY_IX  |     1 |       |     1   (0)| 00:00:01 |
|   8 |    BITMAP CONVERSION COUNT     |               |     1 |     9 |    52   (0)| 00:00:01 |
|   9 |     BITMAP AND                 |               |       |       |            |          |
|  10 |      BITMAP CONVERSION FROM ROWIDS|            |       |       |            |          |
|* 11 |       INDEX RANGE SCAN         | L_PARTKEY_IX  |    30 |       |     2   (0)| 00:00:01 |
|  12 |      BITMAP CONVERSION FROM ROWIDS|            |       |       |            |          |
|* 13 |       INDEX RANGE SCAN         | L_SUPPKEY_IX  |    30 |       |     2   (0)| 00:00:01 |
-----------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   5 - access("PS_PARTKEY"=5)
   6 - filter(("P_TYPE"='MEDIUM ANODIZED BRASS' OR "P_TYPE"='MEDIUM BRUSHED COPPER') AND
              ("PS_PARTKEY"=5 AND "P_TYPE"='MEDIUM ANODIZED BRASS' OR "PS_PARTKEY"=5 AND
              "P_TYPE"='MEDIUM BRUSHED COPPER'))
   7 - access("P_PARTKEY"="PS_PARTKEY")
  11 - access("PS_PARTKEY"="L_PARTKEY")
  13 - access("PS_SUPPKEY"="L_SUPPKEY")
```

7 Deep Left Join

Verwendetes Statement, um ein initiales Deep Left Join zu erzeugen:

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders, lineitems, partsupps, parts
3 WHERE orders.o_orderkey = lineitems.l_orderkey
4 AND lineitems.l_suppkey = partsupps.ps_suppkey
5 AND partsupps.ps_partkey = parts.p_partkey;
```

Ausführungsplan

```
-----------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation            | Name      | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-----------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT     |           |   482M|   229G|       |  9176K  (1)| 30:35:13 |
|*  1 |  HASH JOIN           |           |   482M|   229G|    27M|  9176K  (1)| 30:35:13 |
|   2 |   TABLE ACCESS FULL  | PARTS     |   200K|    25M|       |  1051   (1)| 00:00:13 |
|*  3 |   HASH JOIN          |           |   486M|   171G|   118M|   168K  (2)| 00:33:39 |
|   4 |    TABLE ACCESS FULL | PARTSUPPS |   800K|   109M|       |  4526   (1)| 00:00:55 |
|*  5 |    HASH JOIN         |           |  6086K|  1369M|   175M| 84027   (1)| 00:16:49 |
```

```
|   6 |     TABLE ACCESS FULL| ORDERS    |  1500K|   158M|       |  6610   (1)| 00:01:20 |
|   7 |     TABLE ACCESS FULL| LINEITEMS |  6001K|   715M|       | 29752   (1)| 00:05:58 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("PARTSUPPS"."PS_PARTKEY"="PARTS"."P_PARTKEY")
   3 - access("LINEITEMS"."L_SUPPKEY"="PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY")
   5 - access("ORDERS"."O_ORDERKEY"="LINEITEMS"."L_ORDERKEY")
```

Modifiziertes Statement, um ein Bushy Tree zu erzeugen:

SQL-Query

```
 1 SELECT  *
 2 FROM
 3 (
 4 SELECT /*+ no_merge */ *
 5 FROM orders, lineitems
 6 WHERE orders.o_orderkey = lineitems.l_orderkey
 7 )
 8 ,
 9 (
10 SELECT /*+ no_merge */ *
11 FROM partsupps, parts
12 WHERE partsupps.ps_partkey = parts.p_partkey
13 )
14 WHERE l_suppkey = ps_suppkey;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation             | Name      | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT      |           |   482M|   286G|       |   211K  (2)| 00:42:23 |
|*  1 |  HASH JOIN            |           |   482M|   286G|   234M|   211K  (2)| 00:42:23 |
|   2 |   VIEW                |           |   792K|   225M|       | 12812   (1)| 00:02:34 |
|*  3 |    HASH JOIN          |           |   792K|   207M|    27M| 12812   (1)| 00:02:34 |
|   4 |     TABLE ACCESS FULL| PARTS     |   200K|    25M|       |  1051   (1)| 00:00:13 |
|   5 |     TABLE ACCESS FULL| PARTSUPPS |   800K|   109M|       |  4526   (1)| 00:00:55 |
|   6 |   VIEW                |           |  6086K|  1967M|       | 84027   (1)| 00:16:49 |
|*  7 |    HASH JOIN          |           |  6086K|  1369M|   175M| 84027   (1)| 00:16:49 |
|   8 |     TABLE ACCESS FULL| ORDERS    |  1500K|   158M|       |  6610   (1)| 00:01:20 |
|   9 |     TABLE ACCESS FULL| LINEITEMS |  6001K|   715M|       | 29752   (1)| 00:05:58 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("L_SUPPKEY"="PS_SUPPKEY")
   3 - access("PARTSUPPS"."PS_PARTKEY"="PARTS"."P_PARTKEY")
   7 - access("ORDERS"."O_ORDERKEY"="LINEITEMS"."L_ORDERKEY")
```

Reflexion
Im ersten Statement sieht man gut, dass ein Deep Left Join erzeugt wird. Die Kosten sind jedoch extrem hoch. Diese Kosten werden vor allem durch Joins von Tabellen mit bereits gejointen Tabellen verursacht.
Im zweiten Statement wird nun durch Umformulierung und Einfügen von Hints explizit angegeben, in welcher Reihenfolge die Tabellen gejoined und dass diese nicht gemerged werden sollen. Im Ausführungsplan sieht man sehr gut, dass zuerst zwei Views mit jeweils zwei gejointen Tabellen erstellt wird. Anschliessend werden diese beiden View gejoint, was schlussendlich zu einem Bushy-Tree führt. Ebenfalls sind die Kosten massiv gesunken. Konkret um knapp einem Faktor von 40!

Folgende Indizes wurden nun erstellt, um die Anfragen schneller durchlaufen zu lassen:

SQL-Query

```
CREATE INDEX o_orderkey_ix ON orders(o_orderkey);
CREATE INDEX l_orderkey_ix ON lineitems(l_orderkey);
CREATE INDEX l_suppkey_ix ON lineitems(l_suppkey);
CREATE INDEX ps_suppkey_ix ON partsupps(ps_suppkey);
CREATE INDEX ps_partkey_ix ON partsupps(ps_partkey);
CREATE INDEX p_partkey_ix ON parts(p_partkey);
```

Das Ergebnis bei Left Deep Join:

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation             | Name       | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT      |            |   482M|   229G|       |  9176K  (1)| 30:35:13 |
|*  1 |  HASH JOIN            |            |   482M|   229G|    27M|  9176K  (1)| 30:35:13 |
|   2 |   TABLE ACCESS FULL   | PARTS      |   200K|    25M|       |  1051   (1)| 00:00:13 |
|*  3 |   HASH JOIN           |            |   486M|   171G|   118M|   168K  (2)| 00:33:39 |
|   4 |    TABLE ACCESS FULL  | PARTSUPPS  |   800K|   109M|       |  4526   (1)| 00:00:55 |
|*  5 |    HASH JOIN          |            |  6086K|  1369M|   175M| 84027   (1)| 00:16:49 |
|   6 |     TABLE ACCESS FULL | ORDERS     |  1500K|   158M|       |  6610   (1)| 00:01:20 |
|   7 |     TABLE ACCESS FULL | LINEITEMS  |  6001K|   715M|       | 29752   (1)| 00:05:58 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("PARTSUPPS"."PS_PARTKEY"="PARTS"."P_PARTKEY")
   3 - access("LINEITEMS"."L_SUPPKEY"="PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY")
   5 - access("ORDERS"."O_ORDERKEY"="LINEITEMS"."L_ORDERKEY")
```

Das Ergebnis bei Bushy Tree:

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation             | Name       | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT      |            |   482M|   286G|       |   211K  (2)| 00:42:23 |
|*  1 |  HASH JOIN            |            |   482M|   286G|   234M|   211K  (2)| 00:42:23 |
|   2 |   VIEW                |            |   792K|   225M|       | 12812   (1)| 00:02:34 |
|*  3 |    HASH JOIN          |            |   792K|   207M|    27M| 12812   (1)| 00:02:34 |
|   4 |     TABLE ACCESS FULL | PARTS      |   200K|    25M|       |  1051   (1)| 00:00:13 |
|   5 |     TABLE ACCESS FULL | PARTSUPPS  |   800K|   109M|       |  4526   (1)| 00:00:55 |
|   6 |   VIEW                |            |  6086K|  1967M|       | 84027   (1)| 00:16:49 |
|*  7 |    HASH JOIN          |            |  6086K|  1369M|   175M| 84027   (1)| 00:16:49 |
|   8 |     TABLE ACCESS FULL | ORDERS     |  1500K|   158M|       |  6610   (1)| 00:01:20 |
|   9 |     TABLE ACCESS FULL | LINEITEMS  |  6001K|   715M|       | 29752   (1)| 00:05:58 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("L_SUPPKEY"="PS_SUPPKEY")
   3 - access("PARTSUPPS"."PS_PARTKEY"="PARTS"."P_PARTKEY")
   7 - access("ORDERS"."O_ORDERKEY"="LINEITEMS"."L_ORDERKEY")
```

Reflexion
Der Optimizer hatte sowohl bei Left Deep Join als auch beim Bushy Tree die Benutzung von Indizes blockiert. Somit konnte auch kein Performance-Zuwachs feststellen.
Mit den folgenden Statements wurde versucht, einen Fast Full Index-Scan zu erzwingen. Jedoch wurde das vom Optimizer ebenfalls inoriert.
Left Deep Join mit Hint

SQL-Query

```
SELECT /*+
          INDEX_FFS(orders O_ORDERKEY_IX)
          INDEX_FFS(lineitems L_ORDERKEY_IX)
```

```
4           INDEX_FFS(lineitems L_SUPPKEY_IX)
5           INDEX_FFS(partsupps PS_PARTKEY_IX)
6           INDEX_FFS(partsupps PS_SUPPKEY_IX)
7           INDEX_FFS(parts P_PARTKEY_IX)*/ *
8 FROM orders, lineitems, partsupps, parts
9 WHERE orders.o_orderkey = lineitems.l_orderkey
10 AND lineitems.l_suppkey = partsupps.ps_suppkey
11 AND partsupps.ps_partkey = parts.p_partkey;
```

Bushy Tree mit Hint

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM
3 (
4 SELECT /*+ no_merge INDEX_FFS(order O_ORDERKEY_IX) INDEX_FFS(lineitems L_ORDERKEY_IX) */ *
5 FROM orders, lineitems
6 WHERE orders.o_orderkey = lineitems.l_orderkey
7 )
8 ,
9 (
10 SELECT /*+ no_merge INDEX_FFS(partsupps PS_PARTKEY_IX) INDEX_FFS(parts P_PARTKEY_IX) */ *
11 FROM partsupps, parts
12 WHERE partsupps.ps_partkey = parts.p_partkey
13 )
14 WHERE l_suppkey = ps_suppkey;
```

Folgend wurden einige Versuche unternommen, um Statements zu bilden, wo der Optimizer die Indizes wieder zulässt. Dabei wurden die Spalten geändert, über die gejoint wurde:

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM orders, lineitems, partsupps, parts
3 WHERE orders.o_orderkey = lineitems.l_orderkey
4 AND lineitems.l_orderkey = partsupps.ps_suppkey
5 AND partsupps.ps_suppkey = parts.p_partkey;
```

Mit Index

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation             | Name      | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT      |           |  3292K|  1604M|       |   170K  (1)| 00:34:12 |
|*  1 |  HASH JOIN            |           |  3292K|  1604M|   175M|   170K  (1)| 00:34:12 |
|   2 |   TABLE ACCESS FULL   | ORDERS    |  1500K|   158M|       |  6610   (1)| 00:01:20 |
|*  3 |   HASH JOIN           |           |  3246K|  1238M|   218M| 92355   (1)| 00:18:29 |
|*  4 |    HASH JOIN          |           |   800K|   209M|    27M| 12812   (1)| 00:02:34 |
|   5 |     TABLE ACCESS FULL | PARTS     |   200K|    25M|       |  1051   (1)| 00:00:13 |
|   6 |     TABLE ACCESS FULL | PARTSUPPS |   800K|   109M|       |  4526   (1)| 00:00:55 |
|   7 |    TABLE ACCESS FULL  | LINEITEMS |  6001K|   715M|       | 29752   (1)| 00:05:58 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("ORDERS"."O_ORDERKEY"="LINEITEMS"."L_ORDERKEY")
   3 - access("LINEITEMS"."L_ORDERKEY"="PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY")
   4 - access("PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY"="PARTS"."P_PARTKEY")
```

Ohne Index

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation            | Name      | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT     |           |  3292K|  1604M|       |   170K  (1)| 00:34:12 |
|*  1 |  HASH JOIN           |           |  3292K|  1604M|   175M|   170K  (1)| 00:34:12 |
|   2 |   TABLE ACCESS FULL  | ORDERS    |  1500K|   158M|       |  6610   (1)| 00:01:20 |
|*  3 |   HASH JOIN          |           |  3246K|  1238M|   218M| 92355   (1)| 00:18:29 |
|*  4 |    HASH JOIN         |           |   800K|   209M|    27M| 12812   (1)| 00:02:34 |
|   5 |     TABLE ACCESS FULL| PARTS     |   200K|    25M|       |  1051   (1)| 00:00:13 |
|   6 |     TABLE ACCESS FULL| PARTSUPPS |   800K|   109M|       |  4526   (1)| 00:00:55 |
|   7 |    TABLE ACCESS FULL | LINEITEMS |  6001K|   715M|       | 29752   (1)| 00:05:58 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("ORDERS"."O_ORDERKEY"="LINEITEMS"."L_ORDERKEY")
   3 - access("LINEITEMS"."L_ORDERKEY"="PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY")
   4 - access("PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY"="PARTS"."P_PARTKEY")
```

SQL-Query

```
SELECT *
FROM
(
SELECT /*+ no_merge */ *
FROM orders, lineitems
WHERE orders.o_orderkey = lineitems.l_orderkey
)
,
(
SELECT /*+ no_merge */ *
FROM partsupps, parts
WHERE partsupps.ps_suppkey = parts.p_partkey
)
WHERE lineitems.l_orderkey = partsupps.ps_suppkey;
```

Mit Index

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation            | Name      | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT     |           |  3292K|    65M|       | 54044   (1)| 00:10:49 |
|*  1 |  HASH JOIN           |           |  3292K|    65M|    25M| 54044   (1)| 00:10:49 |
|   2 |   TABLE ACCESS FULL  | ORDERS    |  1500K|  8789K|       |  6599   (1)| 00:01:20 |
|*  3 |   HASH JOIN          |           |  3246K|    46M|    16M| 41981   (1)| 00:08:24 |
|*  4 |    HASH JOIN         |           |   800K|  7031K|  3328K|  6351   (1)| 00:01:17 |
|   5 |     TABLE ACCESS FULL| PARTS     |   200K|   976K|       |  1050   (1)| 00:00:13 |
|   6 |     TABLE ACCESS FULL| PARTSUPPS |   800K|  3125K|       |  4523   (1)| 00:00:55 |
|   7 |    TABLE ACCESS FULL | LINEITEMS |  6001K|    34M|       | 29663   (1)| 00:05:56 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("ORDERS"."O_ORDERKEY"="LINEITEMS"."L_ORDERKEY")
   3 - access("LINEITEMS"."L_ORDERKEY"="PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY")
   4 - access("PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY"="PARTS"."P_PARTKEY")
```

Ohne Index

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation            | Name      | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT     |           |  3292K|    65M|       | 54044   (1)| 00:10:49 |
|*  1 |  HASH JOIN           |           |  3292K|    65M|    25M| 54044   (1)| 00:10:49 |
```

```
|   2 |   TABLE ACCESS FULL  | ORDERS    |  1500K|  8789K|       |  6599   (1)| 00:01:20 |
|*  3 |   HASH JOIN          |           |  3246K|    46M|    16M| 41981   (1)| 00:08:24 |
|*  4 |    HASH JOIN         |           |   800K|  7031K|  3328K|  6351   (1)| 00:01:17 |
|   5 |     TABLE ACCESS FULL| PARTS     |   200K|   976K|       |  1050   (1)| 00:00:13 |
|   6 |     TABLE ACCESS FULL| PARTSUPPS |   800K|  3125K|       |  4523   (1)| 00:00:55 |
|   7 |    TABLE ACCESS FULL | LINEITEMS |  6001K|    34M|       | 29663   (1)| 00:05:56 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("ORDERS"."O_ORDERKEY"="LINEITEMS"."L_ORDERKEY")
   3 - access("LINEITEMS"."L_ORDERKEY"="PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY")
   4 - access("PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY"="PARTS"."P_PARTKEY")
```

SQL-Query

```
1 SELECT o_orderkey, l_orderkey, ps_suppkey, p_partkey
2 FROM orders, lineitems, partsupps, parts
3 WHERE orders.o_orderkey = lineitems.l_orderkey
4 AND lineitems.l_orderkey = partsupps.ps_suppkey
5 AND partsupps.ps_suppkey = parts.p_partkey;
```

Mit Index

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation               | Name          | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT        |               |  3292K|    65M|       | 17611   (2)| 00:03:32 |
|*  1 |  HASH JOIN              |               |  3292K|    65M|    25M| 17611   (2)| 00:03:32 |
|   2 |   INDEX FAST FULL SCAN  | O_ORDERKEY_IX |  1500K|  8789K|       |   965   (2)| 00:00:12 |
|*  3 |   HASH JOIN             |               |  3246K|    46M|    16M| 11181   (2)| 00:02:15 |
|*  4 |    HASH JOIN            |               |   800K|  7031K|  3328K|  1360   (2)| 00:00:17 |
|   5 |     INDEX FAST FULL SCAN| P_PARTKEY_IX  |   200K|   976K|       |   123   (1)| 00:00:02 |
|   6 |     INDEX FAST FULL SCAN| PS_SUPPKEY_IX |   800K|  3125K|       |   459   (2)| 00:00:06 |
|   7 |    INDEX FAST FULL SCAN | L_ORDERKEY_IX |  6001K|    34M|       |  3854   (2)| 00:00:47 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("ORDERS"."O_ORDERKEY"="LINEITEMS"."L_ORDERKEY")
   3 - access("LINEITEMS"."L_ORDERKEY"="PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY")
   4 - access("PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY"="PARTS"."P_PARTKEY")
```

Ohne Index

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation            | Name      | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT     |           |  3292K|    65M|       | 54044   (1)| 00:10:49 |
|*  1 |  HASH JOIN           |           |  3292K|    65M|    25M| 54044   (1)| 00:10:49 |
|   2 |   TABLE ACCESS FULL  | ORDERS    |  1500K|  8789K|       |  6599   (1)| 00:01:20 |
|*  3 |   HASH JOIN          |           |  3246K|    46M|    16M| 41981   (1)| 00:08:24 |
|*  4 |    HASH JOIN         |           |   800K|  7031K|  3328K|  6351   (1)| 00:01:17 |
|   5 |     TABLE ACCESS FULL| PARTS     |   200K|   976K|       |  1050   (1)| 00:00:13 |
|   6 |     TABLE ACCESS FULL| PARTSUPPS |   800K|  3125K|       |  4523   (1)| 00:00:55 |
|   7 |    TABLE ACCESS FULL | LINEITEMS |  6001K|    34M|       | 29663   (1)| 00:05:56 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("ORDERS"."O_ORDERKEY"="LINEITEMS"."L_ORDERKEY")
   3 - access("LINEITEMS"."L_ORDERKEY"="PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY")
   4 - access("PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY"="PARTS"."P_PARTKEY")
```

SQL-Query

```
1
2  SELECT o_orderkey, l_orderkey, ps_suppkey, p_partkey
3  FROM
4  (
5  SELECT /*+ no_merge */ o_orderkey, l_orderkey
6  FROM orders, lineitems
7  WHERE orders.o_orderkey = lineitems.l_orderkey
8  )
9  ,
10 (
11 SELECT /*+ no_merge */ ps_suppkey, p_partkey
12 FROM partsupps, parts
13 WHERE partsupps.ps_suppkey = parts.p_partkey
14 )
15 WHERE lineitems.l_orderkey = partsupps.ps_suppkey;
```

Mit Index

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation            | Name       | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT     |            |  3292K|    65M|       | 54044   (1)| 00:10:49 |
|*  1 |  HASH JOIN           |            |  3292K|    65M|    25M| 54044   (1)| 00:10:49 |
|   2 |   TABLE ACCESS FULL  | ORDERS     |  1500K|  8789K|       |  6599   (1)| 00:01:20 |
|*  3 |   HASH JOIN          |            |  3246K|    46M|    16M| 41981   (1)| 00:08:24 |
|*  4 |    HASH JOIN         |            |   800K|  7031K|  3328K|  6351   (1)| 00:01:17 |
|   5 |     TABLE ACCESS FULL| PARTS      |   200K|   976K|       |  1050   (1)| 00:00:13 |
|   6 |     TABLE ACCESS FULL| PARTSUPPS  |   800K|  3125K|       |  4523   (1)| 00:00:55 |
|   7 |    TABLE ACCESS FULL | LINEITEMS  |  6001K|    34M|       | 29663   (1)| 00:05:56 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("ORDERS"."O_ORDERKEY"="LINEITEMS"."L_ORDERKEY")
   3 - access("LINEITEMS"."L_ORDERKEY"="PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY")
   4 - access("PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY"="PARTS"."P_PARTKEY")
```

Ohne Index

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation            | Name       | Rows  | Bytes |TempSpc| Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT     |            |  3292K|    65M|       | 54044   (1)| 00:10:49 |
|*  1 |  HASH JOIN           |            |  3292K|    65M|    25M| 54044   (1)| 00:10:49 |
|   2 |   TABLE ACCESS FULL  | ORDERS     |  1500K|  8789K|       |  6599   (1)| 00:01:20 |
|*  3 |   HASH JOIN          |            |  3246K|    46M|    16M| 41981   (1)| 00:08:24 |
|*  4 |    HASH JOIN         |            |   800K|  7031K|  3328K|  6351   (1)| 00:01:17 |
|   5 |     TABLE ACCESS FULL| PARTS      |   200K|   976K|       |  1050   (1)| 00:00:13 |
|   6 |     TABLE ACCESS FULL| PARTSUPPS  |   800K|  3125K|       |  4523   (1)| 00:00:55 |
|   7 |    TABLE ACCESS FULL | LINEITEMS  |  6001K|    34M|       | 29663   (1)| 00:05:56 |
-------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   1 - access("ORDERS"."O_ORDERKEY"="LINEITEMS"."L_ORDERKEY")
   3 - access("LINEITEMS"."L_ORDERKEY"="PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY")
   4 - access("PARTSUPPS"."PS_SUPPKEY"="PARTS"."P_PARTKEY")
```

Reflexion

Bei Bushy Trees werden Indizes ignoriert. Einzig bei einem Left Deep Join gelang es, durch Indizes einen Performance-Zuwachs zu erreichen. Bei diesem Versuch wurde darauf geachtet, dass die Spalte, über die auf der linken Seite gejoint wurde, beim nächsten Join wieder verwendet wurde.

8 Eigene SQL-Anfrage

Wir haben zwei neue Tabellen gemäss folgenden Angaben erstellt.

SQL-Query

```
1 CREATE TABLE test1
2 AS SELECT *
3 FROM DBARC00.orders;
4
5 CREATE TABLE test2
6 AS SELECT *
7 FROM DBARC00.orders;
```

Nun haben wir eine eigene SQL-Anfrage mit diesen zwei Tabellen erstellt.

SQL-Query

```
1 SELECT *
2 FROM test1 t1, test2 t2
3 WHERE t1.o_orderkey = t2.o_orderkey
4 AND t1.o_orderkey BETWEEN 2345 AND 2543
5 ORDER BY t1.o_orderkey;
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation           | Name  | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT    |       |   266 | 73948 | 13200   (1)| 00:02:39 |
|   1 |  SORT ORDER BY      |       |   266 | 73948 | 13200   (1)| 00:02:39 |
|*  2 |   HASH JOIN         |       |   266 | 73948 | 13199   (1)| 00:02:39 |
|*  3 |    TABLE ACCESS FULL| TEST2 |   267 | 37113 |  6599   (1)| 00:01:20 |
|*  4 |    TABLE ACCESS FULL| TEST1 |   267 | 37113 |  6600   (1)| 00:01:20 |
-------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   2 - access("T1"."O_ORDERKEY"="T2"."O_ORDERKEY")
   3 - filter("T2"."O_ORDERKEY">=2345 AND "T2"."O_ORDERKEY"<=2543)
   4 - filter("T1"."O_ORDERKEY">=2345 AND "T1"."O_ORDERKEY"<=2543)
```

Da auf den Tabellen kein Index besteht, muss ein Full Tale Scan durchgeführt werden, was die hohen Kosten verursachen. Sowohl das joinen, sortieren wie auch das projezieren verursachen wenig kosten, da das Resultat nur auf wenige Anzahl Zeilen geschätzt wird.

Als Gegenmassnahme haben wir zwei Indexes erstellt, jeweils auf die Spalte, auf die wir selektieren.

SQL-Query

```
1 CREATE INDEX test1_oorderkey_idx ON test1(o_orderkey);
2 CREATE INDEX test2_oorderkey_idx ON test2(o_orderkey);
```

Ausführungsplan

```
-------------------------------------------------------------------------------------------------
| Id  | Operation                     | Name                | Rows  | Bytes | Cost (%CPU)| Time     |
-------------------------------------------------------------------------------------------------
|   0 | SELECT STATEMENT              |                     |    48 | 13344 |    11  (10)| 00:00:01 |
|   1 |  MERGE JOIN                   |                     |    48 | 13344 |    11  (10)| 00:00:01 |
|   2 |   TABLE ACCESS BY INDEX ROWID | TEST1               |    48 |  6672 |     5   (0)| 00:00:01 |
|*  3 |    INDEX RANGE SCAN           | TEST1_OORDERKEY_IDX |    48 |       |     3   (0)| 00:00:01 |
|*  4 |   SORT JOIN                   |                     |    48 |  6672 |     6  (17)| 00:00:01 |
|   5 |    TABLE ACCESS BY INDEX ROWID| TEST2               |    48 |  6672 |     5   (0)| 00:00:01 |
|*  6 |     INDEX RANGE SCAN          | TEST2_OORDERKEY_IDX |    48 |       |     3   (0)| 00:00:01 |
```

```
---------------------------------------------------------------------------------------------------

Predicate Information (identified by operation id):
---------------------------------------------------
   3 - access("T1"."O_ORDERKEY">=2345 AND "T1"."O_ORDERKEY"<=2543)
   4 - access("T1"."O_ORDERKEY"="T2"."O_ORDERKEY")
       filter("T1"."O_ORDERKEY"="T2"."O_ORDERKEY")
   6 - access("T2"."O_ORDERKEY">=2345 AND "T2"."O_ORDERKEY"<=2543)
```

Durch die Indexes werden zwei Index Range Scan durchgeführt, welche viel weniger Kosten verursachen. Auch im Vergleich zur ersten Variante, wird nur eine Tabelle sortiert und nachher erst gejoint. Schlussendlich wird wird die Projektion ausgeführt.

Dies für zu einer Kostenersparnis vom Faktor 1200.

9 Reflexion

Wir hatten zuerst Probleme uns auf dem DB-Server anzumelden, da wir unser Passwort nicht wussten. So probierten wir die uns bekannten Passwörter aus, was schliesslich dazu führte, dass unser Benutzername gesperrt wurde, da zu viele Anfragen durchgeführt wurden. Da wir auch keinen SSH-Zugriff auf diesen Server haben, beauftragten wir eine andere Gruppe damit unser Konto zu aktivieren.

SQL-Query

```sql
ALTER USER dbarc01 ACCOUNT UNLOCK;
```

Sie konnten dies jedoch nicht vornehmen, da unsere Benutzer zu wenig Rechte haben. Schlussendlich haben wir dem Dozenten Herrn Wyss geschrieben, dass er uns freischalten könnte. Damit wir trotzdem arbeiten konnten, bis wir Antwort vom Dozenten erhielten, durften wir den Account der Gruppe dbarc03 verwenden.