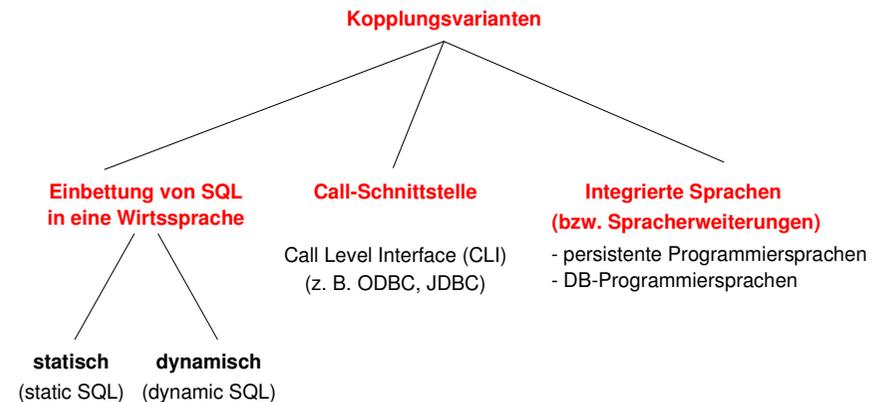


4. Anwendungsprogrammierschnittstellen

- **Kopplung mit einer Wirtssprache¹:**
Übersicht und Aufgaben
- **Eingebettetes statisches SQL**
 - Cursor-Konzept
 - SQL-Programmiermodell
 - Rekursion
 - Ausnahme- und Fehlerbehandlung
- **Aspekte der Anfrageauswertung**
 - Aufgaben bei der Anfrageauswertung
 - Vorbereitung und Übersetzung
- **Optimierung von DB-Anfragen**
 - Probleme der Optimierung
 - Kostenmodell
 - Bindung und Datenunabhängigkeit
- **SQL/PSM**
- **Dynamisches SQL**
 - Eingebettetes dynamisches SQL
- **Anhang:**
 - Call-Level-Interface
 - Open Data Base Connectivity (ODBC)
- **DB-Zugriff aus Java-Programmen**
 - DB-Zugriff via JDBC
 - SQLJ

1. Synonyme: Relation – Tabelle, Tupel – Zeile, Attribut – Spalte, Attributwert – Zelle

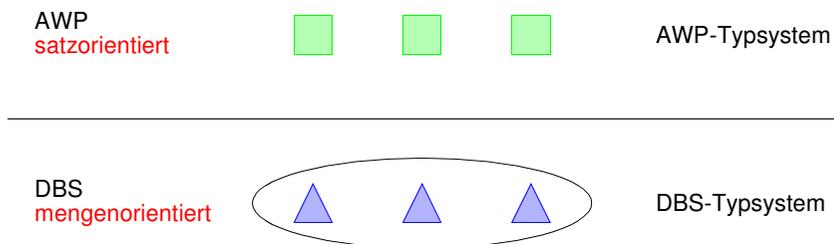
Kopplung mit einer Wirtssprache



- **Einbettung von SQL (Embedded SQL, ESQL)**
 - Spracherweiterung um spezielle DB-Befehle (EXEC SQL ...)
 - komfortablere Programmierung als mit CLI
- **statische Einbettung**
 - Vorübersetzer (Precompiler) wandelt DB-Aufrufe in Prozeduraufrufe um
 - Nutzung der normalen PS-Übersetzer für umgebendes Programm
 - SQL-Anweisungen müssen zur Übersetzungszeit feststehen
 - im SQL-Standard unterstützte Sprachen:
C, COBOL, FORTRAN, Ada, PL1, Pascal, MUMPS, Java, ...
- **dynamische Einbettung:**
Konstruktion von SQL-Anweisungen zur Laufzeit
- **Call-Schnittstelle**
(prozedurale Schnittstelle, CLI)
 - DB-Funktionen werden durch Bibliothek von Prozeduren realisiert
 - Anwendung enthält lediglich Prozeduraufrufe

Kopplung mit einer Wirtssprache (2)

- Integrationsansätze unterstützen typischerweise nur
 - ein Typsystem
 - Navigation (satz-/objektorientierter Zugriff)
 - ➔ Wünschenswert sind jedoch Mehrsprachenfähigkeit und deskriptive DB-Operationen (mengenorientierter Zugriff)
- Relationale AP-Schnittstellen (API) bieten diese Eigenschaften, erfordern jedoch Maßnahmen zur Überwindung der sog. Fehlanpassung (impedance mismatch)



- Kernprobleme der API bei konventionellen Programmiersprachen
 - Konversion und Übergabe von Werten
 - Übergabe aktueller Werte von Wirtssprachenvariablen (Parametrisierung von DB-Operationen)
 - DB-Operationen sind i. allg. mengenorientiert: Wie und in welcher Reihenfolge werden Zeilen/Sätze dem AP zur Verfügung gestellt?
 - ➔ Cursor-Konzept

Kopplung mit einer Wirtssprache (3)

- Embedded (static) SQL: Beispiel für C

```

exec sql include sqlca; /* SQL Communication Area */
main ()
{
exec sql begin declare section;
    char  X[3] ;
    int   GSum;
exec sql end declare section;
exec sql connect to dbname;
exec sql insert into Pers (Pnr, Name) values (4711, 'Ernie');
exec sql insert into Pers (Pnr, Name) values (4712, 'Bert');
    printf ("Anr ? "); scanf ( "%s" , X);
exec sql select sum (Gehalt) into :GSum from Pers where Anr = :X;
    /* Es wird nur ein Ergebnissatz zurückgeliefert */
    printf ("Gehaltssumme: %d\n" , GSum)
exec sql commit work;
exec sql disconnect;
}
  
```

- Anbindung einer SQL-Anweisung an die Wirtssprachen-Umgebung

- eingebettete SQL-Anweisungen werden durch **exec sql** eingeleitet und durch spezielles Symbol (hier ";") beendet, um dem Compiler eine Unterscheidung von anderen Anweisungen zu ermöglichen
- Verwendung von AP-Variablen in SQL-Anweisungen verlangt Deklaration innerhalb eines **declare section**-Blocks sowie Angabe des Präfix ":" innerhalb von SQL-Anweisungen
- Kommunikationsbereich SQLCA (Rückgabe von Statusanzeigern u.ä.)
- Übergabe der Werte einer Zeile mit Hilfe der INTO-Klausel
 - INTO target-commalist (Variablenliste des Wirtsprogramms)
 - Anpassung der Datentypen (Konversion)
- Aufbau/Abbau einer Verbindung zu einem DBS: **connect/disconnect**

Cursor-Konzept

- **Cursor-Konzept zur satzweisen Abarbeitung von Ergebnismengen**
 - Trennung von Qualifikation und Bereitstellung/Verarbeitung von Zeilen
 - Cursor ist ein Iterator, der einer Anfrage zugeordnet wird und mit dessen Hilfe die Zeilen der Ergebnismenge einzeln (one tuple at a time) im Programm bereitgestellt werden
 - Wie viele Cursor können im AWP sein?

Cursor-Deklaration

```
DECLARE cursor CURSOR FOR table-exp
[ORDER BY order-item-commalist]
```

```
DECLARE C1 CURSOR FOR
SELECT Name, Gehalt, Anr FROM Pers WHERE Anr = 'K55'
ORDER BY Name;
```

Operationen auf einen Cursor C1

```
OPEN C1
FETCH C1 INTO Var1, Var2, . . . , Varn
CLOSE C1
```

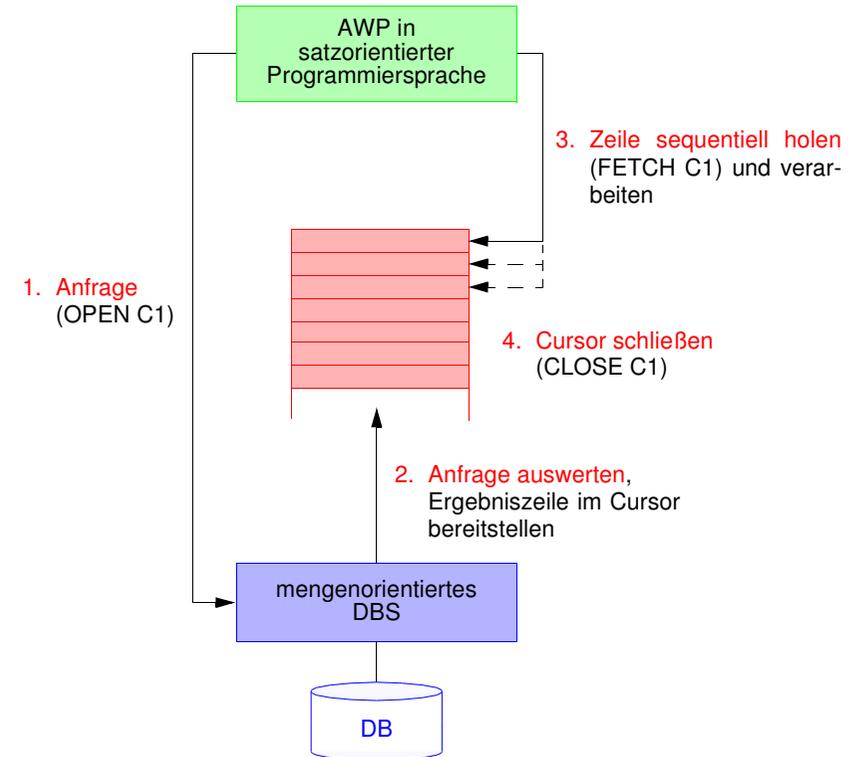


Reihenfolge der Ergebniszeilen

- systembestimmt
- benutzerspezifisch (ORDER BY)

Cursor-Konzept (2)

Veranschaulichung der Cursor-Schnittstelle



Wann wird die Ergebnismenge angelegt?

- **lazy**: schrittweise Auswertung durch das DBS? Verzicht auf eine explizite Zwischenspeicherung ist nur bei einfachen Anfragen möglich
- **eager**: Kopie bei OPEN? Ist meist erforderlich (ORDER BY, Join, Aggregat-Funktionen, ...)

Cursor-Konzept (3)

- **Beispielprogramm in C (vereinfacht)**

```
exec sql begin declare section;
char X[50], Y[3];
exec sql end declare section;

exec sql declare C1 cursor for
  select Name from Pers where Anr = :Y;

printf("Bitte Anr eingeben: \n");
scanf("%d", Y);
exec sql open C1;
while (sqlcode == OK)
{
  exec sql fetch C1 into :X;
  printf("Angestellter %d\n", X);
}
exec sql close C1;
```

- **Anmerkungen**

- DECLARE C1 ... ordnet der Anfrage einen Cursor C1 zu
- OPEN C1 bindet die Werte der Eingabevariablen
- Systemvariable SQLCODE zur Übergabe von Fehlermeldungen (Teil von SQLCA)

Cursor-Konzept (4)

- **Aktualisierung mit Bezugnahme auf eine Position**

- Wenn die Zeilen, die ein Cursor verwaltet (*active set*), eindeutig Zeilen einer Tabelle entsprechen, können sie über Bezugnahme durch den Cursor geändert werden.
- Keine Bezugnahme bei INSERT möglich !

```
positioned-update ::=
    UPDATE table SET update-assignment-comma-list
    WHERE CURRENT OF cursor

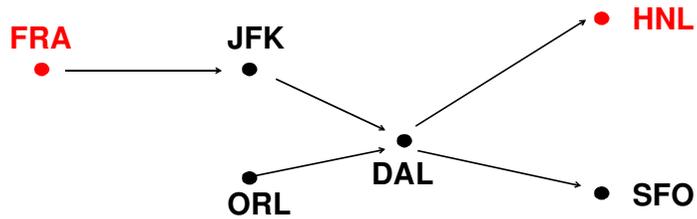
positioned-delete ::=
    DELETE FROM table
    WHERE CURRENT OF cursor
```

- **Beispiel:**

```
while (sqlcode == ok) {
  exec sql fetch C1 into :X;
  /* Berechne das neue Gehalt in Z */
  exec sql update Pers
    set Gehalt = :Z
    where current of C1;
}
```

- **Vergleich: Cursor – Sicht**

Rekursion in SQL?



Ausschnitt aus Tabelle Flüge

Flüge	(Nr,	Ab,	An,	Ab-Zeit,	An-Zeit, ...)
AA07	FRA	JFK	...		
AA43	JFK	ORL			
AA07	JFK	DAL			
AA85	ORL	DAL			
AA70	DAL	HNL			
...					

Flug von FRA nach HNL ?

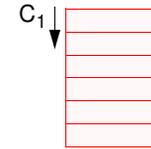
```

SELECT Ab, An, ...
FROM Flüge
WHERE Ab = 'FRA' AND An = 'HNL'
  
```

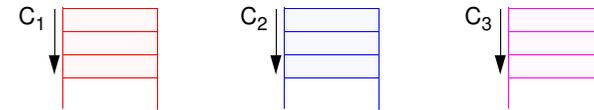
Flug von FRA nach HNL (Anzahl der Teilstrecken bekannt)?

SQL-Programmiermodell für Mengenzugriff

1) **ein Cursor**: $\pi, \sigma, \bowtie, \cup, -, \dots, \text{Agg, Sort, } \dots$

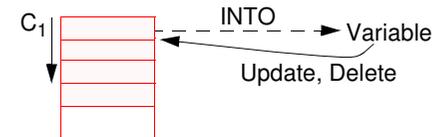


2) **mehrere Cursor**: $\pi, \sigma, \text{Sort, } \dots$

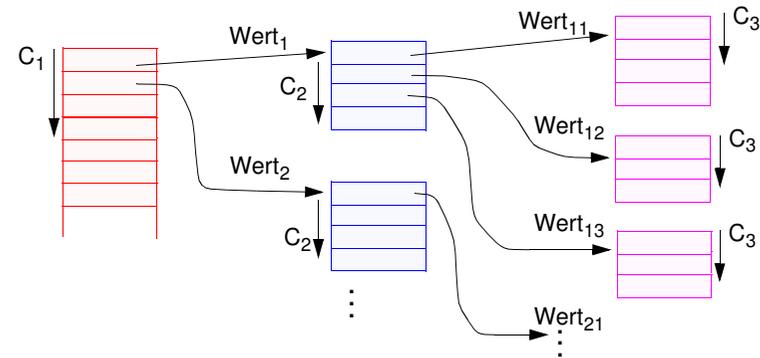


Verknüpfung der gesuchten Zeilen im AP

3) **positionsbezogene Aktualisierung**



4) **abhängige Cursor**



Beispiel: Stücklistenauflösung

- **Tabelle Struktur (Otnr, Utnr, Anzahl)**

- Aufgabe: Ausgabe aller Endprodukte sowie deren Komponenten
- max. Schachtelungstiefe sei bekannt (hier: 2)

```
exec sql begin declare section;
char T0[10], T1[10], T2[10]; int Anz;
exec sql end declare section;
```

```
exec sql declare C0 cursor for
  select distinct Otnr from Struktur S1
  where not exists (select * from Struktur S2
                   where S2.Utnr = S1.Otnr);
```

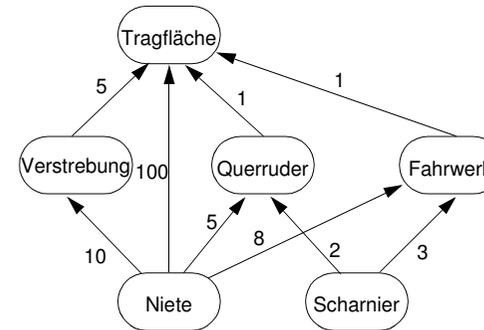
```
exec sql declare C1 cursor for
  select Utnr, Anzahl from Struktur
  where Otnr = :T0;
```

```
exec sql declare C2 cursor for
  select Utnr, Anzahl from Struktur
  where Otnr = :T1;
```

```
exec sql open C0;
while (1) {
  exec sql fetch C0 into :T0;
  if (sqlcode == notfound) break;
  printf (" %s\n ", T0);
  exec sql open C1;
  while (2) { exec sql fetch C1 into :T1, :Anz;
              if (sqlcode == notfound) break;
              printf ("   %s: %d\n ", T1, Anz);
              exec sql open (C2);
              while (3) { exec sql fetch C2 INTO :T2, :Anz;
                          if (sqlcode == notfound) break;
                          printf ("       %s: %d\n ", T2, Anz);    }
              exec sql close (C2); } /* end while (2) */
  exec sql close C1; } /* end while (1) */
exec sql close (C0);
```

Beispiel: Stücklistenauflösung (2)

- **Gozinto-Graph**



Struktur (Otnr,	Utnr,	Anzahl)
T	V	5
T	N	100
T	Q	1
T	F	1
V	N	10
Q	N	5
Q	S	2
F	N	8
F	S	3

- **Strukturierte Ausgabe aller Teile von Endprodukten**

Erweiterung des Cursor-Konzeptes

```
cursor-def ::=DECLARE cursor [SENSITIVE | INSENSITIVE | ASENSITIVE]
            [SCROLL] CURSOR [WITH HOLD] [WITH RETURN]
            FOR table-exp
            [ORDER BY order-item-commalist]
            [FOR {READ ONLY | UPDATE [OF column-commalist]}]
```

- **Erweiterte Positionierungsmöglichkeiten durch SCROLL**

- **Cursor-Definition (Beispiel):**

```
EXEC SQL DECLARE C2 SCROLL CURSOR
FOR SELECT ...
```

- **Erweitertes FETCH-Statement:**

```
EXEC SQL FETCH[ [<fetch orientation>] FROM ] <cursor>
INTO <target list>
```

fetch orientation:

```
NEXT, PRIOR, FIRST, LAST
ABSOLUTE <expression>, RELATIVE <expression>
```

Bsp.:

```
EXEC SQL FETCH ABSOLUTE 100 FROM C2 INTO ...
```

```
EXEC SQL FETCH ABSOLUTE -10 FROM C2 INTO ...
(zehntletzte Zeile)
```

```
EXEC SQL FETCH RELATIVE 2 FROM C2 INTO ...
(übernächste Zeile)
```

```
EXEC SQL FETCH RELATIVE -10 FROM C2 INTO ...
```

Erweiterung des Cursor-Konzeptes (2)

- **Problemaspekt:**

Werden im geöffneten Cursor Änderungen sichtbar?

- **INSENSITIVE CURSOR**

- T sei die Zeilenmenge, die sich für den Cursor zum OPEN-Zeitpunkt (Materialisierung) qualifiziert
- Spezifikation von INSENSITIVE bewirkt, dass eine separate Kopie von T angelegt wird und der Cursor auf die Kopie zugreift
 - ➔ Aktualisierungen, die T betreffen, werden in der Kopie nicht sichtbar gemacht. Solche Änderungen könnten z. B. direkt oder über andere Cursor erfolgen
- Über einen insensitiven Cursor sind keine Aktualisierungsoperationen möglich (UPDATE nicht erlaubt)
- Die Kombination mit SCROLL bietet keine Probleme

- **ASENSITIVE (Standardwert)**

- Bei OPEN muss nicht zwingend eine Kopie von T erstellt werden: die Komplexität der Cursor-Definition verlangt jedoch oft seine Materialisierung als Kopie
- Ob Änderungen, die T betreffen und durch andere Cursor oder direkt erfolgen, in der momentanen Cursor-Instanzierung sichtbar werden, ist implementierungsabhängig
- Falls UPDATE deklariert wird, muss eine eindeutige Abbildung der Cursor-Zeilen auf die Tabelle möglich sein (siehe aktualisierbare Sicht). Es wird definitiv keine separate Kopie von T erstellt.

Erweiterung des Cursor-Konzeptes (3)

- **Sichtbarkeit von Änderungen:**

```
exec sql declare C1 cursor for
  select Pnr, Gehalt from Pers where Anr = 'K55';
```

```
exec sql declare C2 cursor for
  select Pnr, Beruf, Gehalt from Pers where Anr > 'K53';
```

```
exec sql fetch C1 into :Y, :Z;      /* Berechne das neue Gehalt in Z */
```

```
...
```

```
exec sql update Pers
  set Gehalt = :Z
  where current of C1;
```

```
...
```

```
exec sql fetch C2 into :U, :V, :W; /* Welches Gehalt wird in W übergeben? */
```

- **Fallunterscheidung**

Beispiel einer deskriptiven SQL-Anfrage

- **Vereinfachte SQL-Anfrage**, durch Tool zur Entscheidungsunterstützung (Online Analytical Processing, OLAP) und GUI-Nutzung automatisch erzeugt.

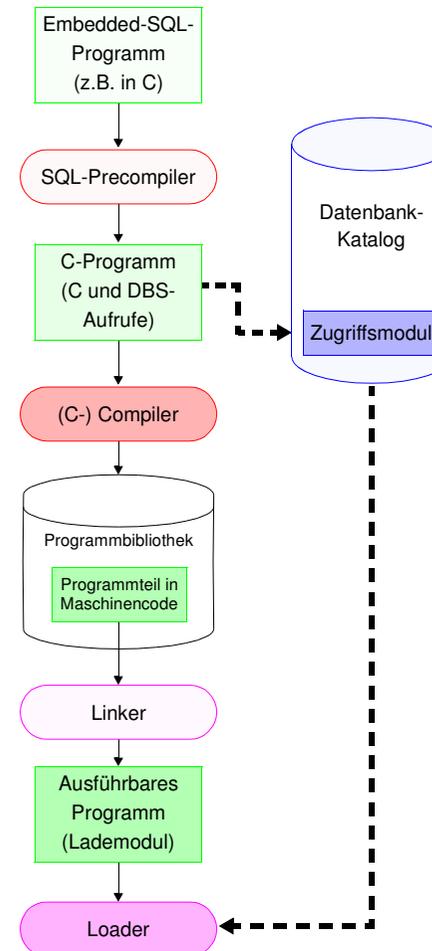
```
select distinct a.fn
from T1 a
where a.owf =
  (select min (b.owf)
   from T1 b
   where (1=1) and (b.aid='SAS' and
     b.fc in (select c.cid
              from T2 c
              where c.cn='HKG') and
     b.tc in (select d.cid
              from T2 d
              where e.cn='HLYD') and
     b.fid in (select e.fid
               from T3 e
               where e.did in
                 (select f.did
                  from T4 f
                  where f.dow='saun')) and
     b.fdid in (select g.did
                from T4 g
                where g.dow='saun')))) and
  (1=1) and (a.aid='SAS' and
    a.fc in (select h.cid
             from T2 h
             where h.cn='HKG') and
    a.tc in (select i.cid
             from T2 i
             where i.cn='HLYD') and
    a.did in (select j.fid
              from T3 j
              where j.did in
                (select k.did
                 from T4 k
                 where k.dow='saun')) and
    a.fdid in (select l.did
               from T4 l
               where l.dow='saun'))
```

Aspekte der Anfrageverarbeitung – zentrale Probleme

- **Deskriptive, mengenorientierte DB-Anweisungen**
 - **Was**-Anweisungen sind in zeitoptimaler Folgen interner DBVS-Operationen umzusetzen
 - Bei navigierenden DB-Sprachen bestimmt der Programmierer, **wie** eine Ergebnismenge (abhängig von existierenden Zugriffspfaden) satzweise aufzusuchen und auszuwerten ist
 - **Jetzt:** Anfrageauswertung/-optimierung des DBVS ist im wesentlichen für die effiziente Abarbeitung verantwortlich
- **Wirtssprachen-Einbettung und Übersetzung**
 - **Direkte Einbettung**
 - keine syntaktische Unterscheidung zwischen Programm- und DB-Anweisungen
 - DB-Anweisung wird als Zeichenkette A ins AP integriert, z. B. **exec sql** open C1
 - **verlangt Maßnahmen bei der AP-Übersetzung,** typischerweise Einsatz eines Vorübersetzers PC (Precompiler)²
 - **Aufruftechnik**
 - DB-Anweisung wird durch expliziten Funktionsaufruf an das Laufzeitsystem des DBS übergeben, z. B. CALL DBS ('open C1')
 - Es sind prinzipiell keine DBS-spezifischen Vorkehrungen bei der AP-Übersetzung erforderlich!
 - Verschiedene Formen der Standardisierung: Call-Level-Interface (CLI), JDBC

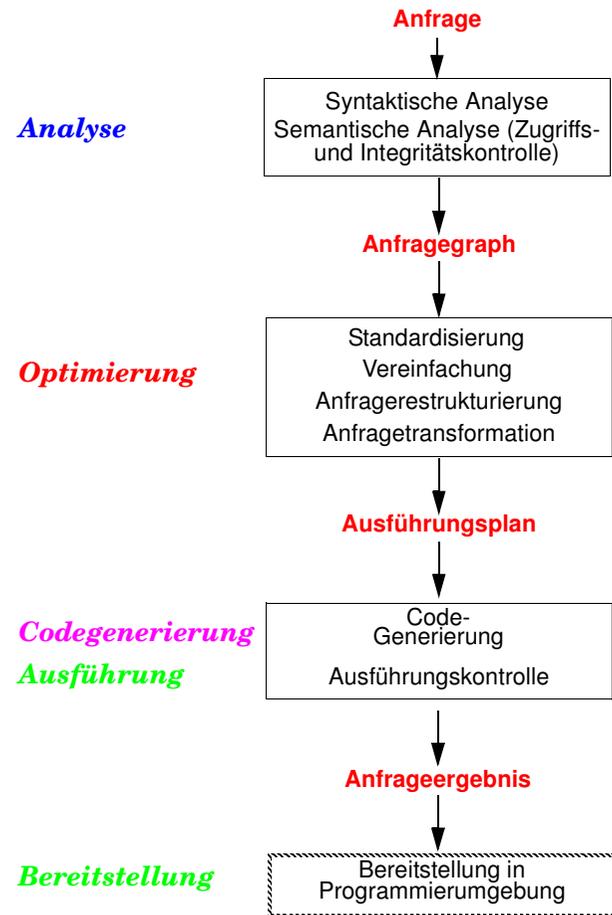
2. Sonst ist ein erweiterter Compiler C' der Wirtssprache bereitzustellen, der sowohl Anweisungen der Wirtssprache als auch der DB-Sprache behandeln kann.

Von der Übersetzung bis zur Ausführung – bei Einsatz eines Vorübersetzers –



- **Vorübersetzung des AP**
 - Entfernung aller Embedded-SQL-Anweisungen aus dem Programm (Kommentare)
 - Ersetzung durch Programmiersprachen-spezifische DBS-Aufrufe
 - Erzeugung eines „SQL-freien“ Programmes in der Programmiersprache
 - DBS-seitige Vorbereitung: Analyse und Optimierung der SQL-Anweisungen und Erstellung eines Zugriffsmoduls im DB-Katalog
- **Übersetzung des AP**
 - Umwandlung der Anweisungen der höheren Programmiersprache in Maschinencode (Objektmodul) und Abspeicherung in Objektbibliothek
 - SQL-Anweisungen für Compiler nicht mehr sichtbar
- **Binden**
 - Zusammenfügen aller Objektmodule zu lauffähigem Programm
 - Hinzufügen des SQL-Laufzeitsystems
- **Laden und Ausführen**
 - Laden des ausführbaren Programms in den Speicher
 - Anbinden des Zugriffsmoduls aus DB-Katalog und automatische Überprüfung seiner Gültigkeit
 - Programmstart

Anfrageverarbeitung – Überblick



Auswertung von DB-Anweisungen

- **Verarbeitungsschritte** zur Auswertung von DB-Anweisungen:

1. Lexikalische und syntaktische Analyse

- Erstellung eines Anfragegraphen (AG) als Bezugsstruktur für die nachfolgenden Übersetzungsschritte
- Überprüfung auf korrekte Syntax (Parsing)

2. Semantische Analyse

- Feststellung der Existenz und Gültigkeit der referenzierten Tabellen, Sichten und Attribute
- Einsetzen der Sichtdefinitionen in den AG
- Ersetzen der externen durch interne Namen (Namensauflösung)
- Konversion vom externen Format in interne Darstellung

3. Zugriffs- und Integritätskontrolle

- sollen aus Leistungsgründen, soweit möglich, schon zur Übersetzungszeit erfolgen
- Zugriffskontrolle erfordert bei Wertabhängigkeit Generierung von Laufzeitaktionen
- Durchführung einfacher Integritätskontrollen (Kontrolle von Formaten und Konversion von Datentypen)
- Generierung von Laufzeitaktionen für komplexere Kontrollen

Auswertung von DB-Anweisungen (2)

4. Standardisierung und Vereinfachung

dienen der effektiveren Übersetzung und frühzeitigen Fehlererkennung

- Überführung des AG in eine Normalform
- Elimination von Redundanzen

5. Restrukturierung und Transformation

- Restrukturierung zielt auf globale Verbesserung des AG ab; bei der Transformation werden ausführbare Operationen eingesetzt
- Anwendung von heuristischen Regeln (**algebraische Optimierung**) zur Restrukturierung des AG
- Transformation führt Ersetzung und ggf. Zusammenfassen der logischen Operatoren durch Planoperatoren durch (nicht-algebraische Optimierung): Meist sind mehrere Planoperatoren als Implementierung eines logischen Operators verfügbar
- Bestimmung alternativer Zugriffspläne (**nicht-algebraische Optimierung**): Meist sind viele Ausführungsreihenfolgen oder Zugriffspfade auswählbar
- Bewertung der Kosten und Auswahl des günstigsten Ausführungsplanes

➔ Schritte 4 + 5 werden als Anfrageoptimierung zusammengefasst

6. Code-Generierung

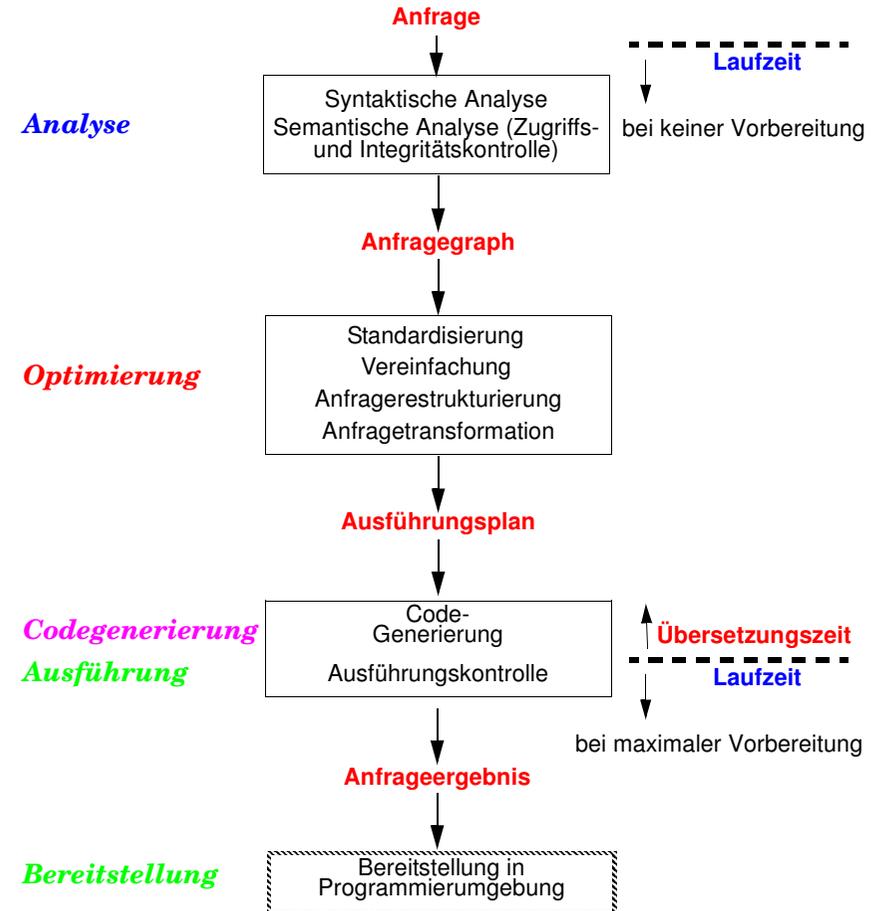
- Generierung eines zugeschnittenen Programms für die vorgegebene (SQL-) Anweisung
- Erzeugung eines ausführbaren Zugriffsmoduls
- Verwaltung der Zugriffsmodule in einer DBVS-Bibliothek

Anfrageverarbeitung – Kostenaspekte

Wie teilen sich die Kosten der Transaktionsverarbeitung auf?

DB-System : Kommunikationssystem : Anwendung

Wann fallen Kosten für die Anfrageverarbeitung an?

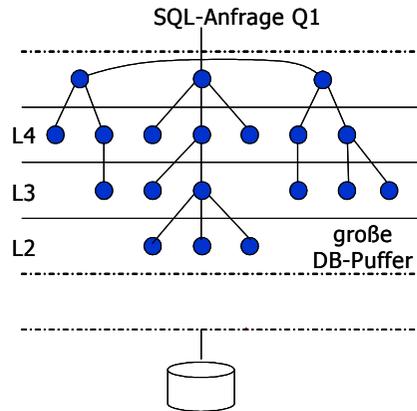


Anfrageverarbeitung – maximale Vorbereitung

SQL-Anfragebeispiel

Q1: Select B.Titel, B.E-Jahr, A.Name
 From Bücher B, Autoren A
 Where B.AutorID = A.AutorID And A.Name = „S*“ And B.Fach = „DBS“

Zur Laufzeit ersetzt Zugriffsmodule Schicht L5



Zugriffsmodule für Q1 (erstellt zum Übersetzungszeitpunkt)

```

Open Scan (IndexB(Fach), Fach='DBS', Fach>'DBS') /*SCB1*/
Sort Access (SCB1) ASC AutorID Into T1 (AutorID, Titel, ...)
Close Scan (SCB1)
Open Scan (IndexA(Name), Name>='S', Name>'S') /*SCB2*/
Close Scan (SCB2)
Open Scan (T1, BOF, EOF) /*SCB3*/
Open Scan (T2, BOF, EOF) /*SCB4*/
While Not Finished
Do
    Fetch Tuple (SCB3, Next, None)
    Fetch Tuple (SCB4, Next, None)
    ...
End
    
```

Auswertung von DB-Anweisungen (3)

Welche Auswertungstechnik soll gewählt werden?

Spektrum von Verfahren mit folgenden Eckpunkten:

- Maximale Vorbereitung (siehe Beispiel)

- Für die DB-Anweisungen von AP wird ein zugeschnittenes Programm (Zugriffsmodule) zur Übersetzungszeit (ÜZ) erzeugt

- Keine Vorbereitung

- Technik ist typisch für Call-Schnittstellen (dynamisches SQL)
- Allgemeines Programm (Interpreter) akzeptiert DB-Anweisungen als Eingabe und erzeugt durch Aufrufe des Zugriffssystems das Ergebnis

Kosten der Auswertung

- Vorbereitung (ÜZ) + Ausführung (LZ)
- Vorbereitung erfolgt durch „Übersetzung“ (Ü)
- Ausführung
 - Laden und Abwicklung (A) des Zugriffsmoduls
 - sonst: Interpretation (I) der vorliegenden Struktur

Aufteilung der Kosten

	Übersetzungszeit			Laufzeit
	Analyse	Optimierung	Code-Gen.	Ausführung
Vorbereitung				
Zugriffsmodule				
Zugriffsplan				
Anfragegraph				
keine				

Anfrageoptimierung³

- Von der Anfrage (Was?) zur Auswertung (Wie?)

➔ Ziel: kostengünstiger Auswertungsweg

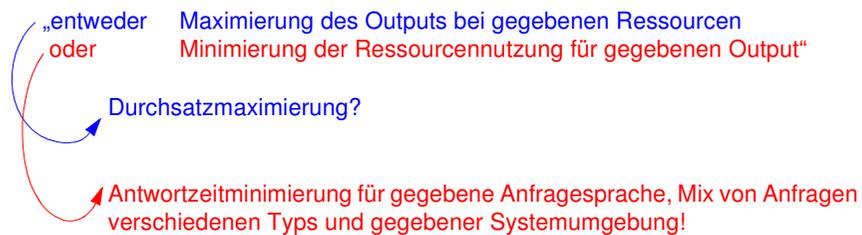
- Einsatz einer großen Anzahl von Techniken und Strategien

- logische Transformation von Anfragen
- Auswahl von Zugriffspfaden
- optimierte Speicherung von Daten auf Externspeichern

- Schlüsselproblem

- genaue Optimierung ist im allgemeinen „nicht berechenbar“
- Fehlen von genauer statistischer Information
- breiter Einsatz von Heuristiken (Daumenregeln)

- Optimierungsziel



3. Jarke, M., Koch, J.: Query Optimization in Database Systems, in: ACM Computing Surveys 16:2, 1984, pp. 111-152

Anfrageoptimierung (2)

- Welche Kosten sind zu berücksichtigen?

- Kommunikationskosten
(# der Nachrichten, Menge der zu übertragenden Daten)
➔ verteilte DBS!
- Berechnungskosten (CPU-Kosten, Pfadlängen)
- E/A-Kosten (# der physischen Referenzen)
- Speicherkosten (temporäre Speicherbelegung im DB-Puffer und auf Externspeichern)

➔ Kostenarten sind nicht unabhängig voneinander

➔ in zentralisierten DBS oft
„gewichtete Funktion von Berechnungs- und E/A-Kosten“

- Wie wird am besten vorgegangen?

- Schritt 1: Finde nach Übersetzung geeignete Interndarstellung für die Anfrage (Anfragegraph)
- Schritt 2: Wende die logische Restrukturierung auf den Anfragegraph an
- Schritt 3: Bilde die restrukturierte Anfrage auf alternative Folgen von Planoperatoren (Transformation) ab
(➔ Mengen von Ausführungsplänen)
- Schritt 4: Berechne Kostenvoranschläge für jeden Ausführungsplan und wähle den billigsten aus

Anfragegraph und Ausführungsplan – Beispiel

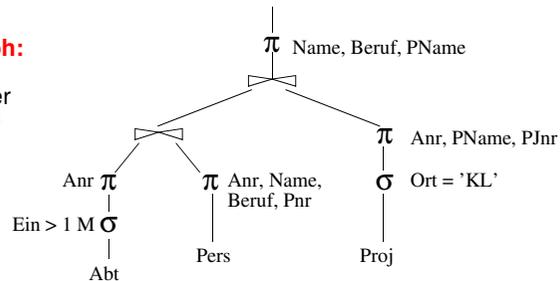
• Problemdarstellung – Beispiel

SQL:

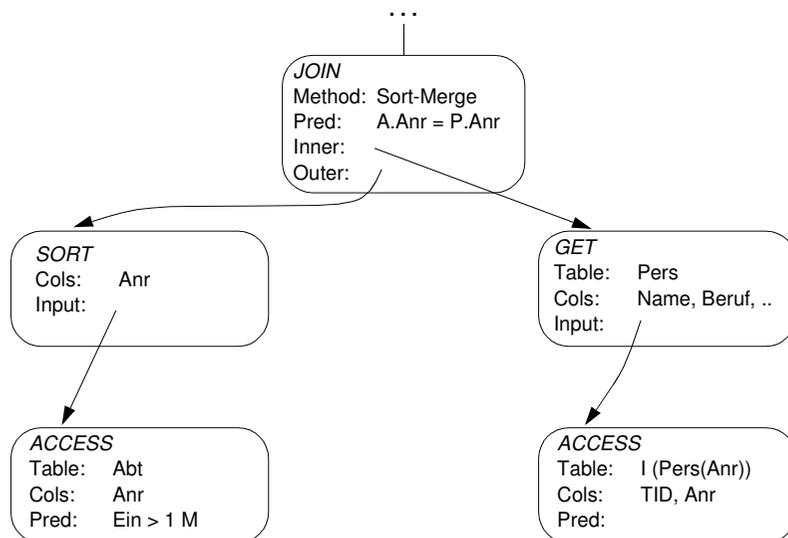
```
SELECT P.Name, P.Beruf, J.PName
FROM Pers P, Abt A, Proj J
WHERE A.Ein > 1000000 AND J.Ort = 'KL'
      AND A.Anr = P.Anr AND A.Anr = J.Anr;
```

Zugehöriger Anfragegraph:

(nach Restrukturierung oder algebraischer Optimierung)



• Ausschnitt aus einem möglichen Ausführungsplan



Bewertung von Ausführungsplänen – Grundsätzliche Probleme

• Anfrageoptimierung beruht i. allg. auf zwei „fatalen“ Annahmen

1. Alle Datenelemente und alle Attributwerte sind gleichverteilt
2. Die Werte verschiedener Attribute sind stochastisch unabhängig

➔ Beide Annahmen sind (im allgemeinen Fall) falsch!

• Beispiel

(GEHALT ≥ '100K') AND (ALTER BETWEEN 21 AND 30)

Bereiche: 10K – 1M

16 – 65

1. Lineare Interpolation:

2. Multiplikation von Wahrscheinlichkeiten

• Lösung?

- Verbesserung der Statistiken/Heuristiken (Histogramme)
- Berechnung/Bewertung von noch mehr Ausführungsplänen?

Obwohl die Kostenabschätzungen meist falsch sind . . .

Berechnung der Zugriffskosten

• Optimiereraufgabe

- erstellt Kostenvoranschlag für jeden „aussichtsreichen“ Ausführungsplan
- Einsatz einer gewichteten Kostenformel:

$$C = \# \text{physischer Seitenzugriffe} + W * (\# \text{Aufrufe des Zugriffssystems})$$

- gewichtetes Maß für E/A- und CPU-Auslastung
- W ist das Verhältnis des Aufwandes von ZS-Aufruf zu Seitenzugriff

• Ziel der Gewichtung: Minimierung der Kosten in Abhängigkeit des Systemzustandes

- System "I/O-bound": ➔ sehr kleiner W -Wert

$$W_{I/O} = \frac{\# \text{Instr. pro ZS-Aufruf}}{\# \text{Instr. pro E/A} + \text{Zugriffszeit} \cdot \text{MIPS-Rate}}$$

$$\text{Bsp. } W_{I/O} = \frac{1000 \text{ I.}}{2500 \text{ I.} + 6 \text{ msec} \cdot 10^9 \text{ I./sec}} = 0,000016$$

- System "CPU-bound": ➔ relativ großer W -Wert

$$W_{\text{CPU}} = \frac{\# \text{Instr. pro ZS-Aufruf}}{\# \text{Instr. pro E/A}}$$

$$\text{Bsp. } W_{\text{CPU}} = \frac{1000}{2500} = 0,4$$

Kostenmodell – statistische Werte

• Statistische Größen für Segmente:

- M_S Anzahl der Datenseiten des Segmentes S
- L_S Anzahl der leeren Seiten in S

• Statistische Größen für Tabellen:

- N_R Anzahl der Tupel der Tabelle R ($\text{Card}(R)$)
- $T_{R,S}$ Anzahl der Seiten in S mit Tupel von R
- C_R Clusterfaktor (Anzahl Tupel pro Seite)

• Statistische Größen pro Index I auf Attributen A einer Tabelle R :

- j_I Anzahl der Attributwerte / Schlüsselwerte im Index
($= \text{Card}(\pi_A(R))$)
- B_I Anzahl der Blattseiten (B^* -Baum)
- ...

➔ Statistiken müssen im DB-Katalog gewartet werden

• Aktualisierung bei jeder Änderung sehr aufwendig

- zusätzliche Schreib- und Log-Operationen
- DB-Katalog wird zum Sperr-Engpass

• Alternative:

- Initialisierung der statistischen Werte zum Lade- oder Generierungszeitpunkt von Tabellen und Indexstrukturen
- periodische Neubestimmung der Statistiken durch eigenes Kommando/ Dienstprogramm (DB2: RUNSTATS)

Kostenmodell – Berechnungsgrundlagen

Mit Hilfe der statistischen Werte kann der Anfrageoptimierer jedem Verbundterm im Qualifikationsprädikat einen Selektivitätsfaktor ($0 \leq SF \leq 1$) zuordnen (erwarteter Anteil an Tupel, die das Prädikat erfüllen): $\text{Card}(\sigma_p(R)) = SF(p) \cdot \text{Card}(R)$

• Selektivitätsfaktor SF bei:

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

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

$$A_i \geq a_i \quad (\text{oder } A_i > a_i) \quad SF = \begin{cases} (a_{\max} - a_i) / (a_{\max} - a_{\min}) & \text{wenn Index auf } A_i \\ \text{und Wert interpolierbar} \\ 1/3 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$A_i \text{ BETWEEN } a_i \text{ AND } a_k \quad SF = \begin{cases} (a_k - a_i) / (a_{\max} - a_{\min}) & \text{wenn Index auf } A_i \\ \text{und Wert interpolierbar} \\ 1/4 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$A_i \text{ IN } (a_1, a_2, \dots, a_r) \quad SF = \begin{cases} r / j_i & \text{wenn Index auf } A_i \text{ und} \\ SF < 0.5 \\ 1/2 & \text{sonst} \end{cases}$$

• 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)

- $\text{Card}(R \bowtie S) = JSF \cdot \text{Card}(R) \cdot \text{Card}(S)$
- bei (N:1)-Verbunden (verlustfrei): $\text{Card}(R \bowtie S) = \text{Max}(\text{Card}(R), \text{Card}(S))$

Beispiel: Einfache Anfrage

• SQL-Anfrage

```
SELECT  NAME, GEHALT
FROM    PERS
WHERE   BERUF = 'PROGRAMMIERER'
        AND GEHALT BETWEEN 100.000 AND 200.000
```

• Vorhandene Zugriffspfade

- Tabelle PERS als Heap-Struktur (ungeordnete Speicherung im Segment)
- $I_{\text{PERS}}(\text{BERUF})$ mit 100 verschiedenen Berufen
- $I_{\text{PERS}}(\text{GEHALT})$ mit Gehaltsspanne von 10 K bis 1 M
- LINK von FAEHIGKEIT nach PERS (hierarchischer Zugriffspfad)

• Zugriffsmöglichkeiten

- Scans über die vorhandenen Zugriffspfade oder Speicherungsstrukturen
- **Optionen:** Start- (OPEN), Stopp- (CLOSE), Suchbedingung (FETCH NEXT)

• Statistische Kennwerte

- Der Optimizer findet folgende Parameter im DB-Katalog:
- N = # der Tupel in Tabelle PERS
- C = durchschnittliche Anzahl von PERS-Tupeln pro Seite
- j_i = Index-Kardinalität (Anzahl der Attributwerte für A_i)
- h = Höhe der B*-Bäume
- + Information über Clusterbildung

• Annahmen

- Jeder 10. Programmierer hat ein Gehalt zwischen 100 K und 200 K
- Jeder 2. Angestellte mit Gehalt zwischen 100 K und 200 K ist Programmierer

Methode 1: Scan über I_{PERS}(BERUF)



• **Kosten:**

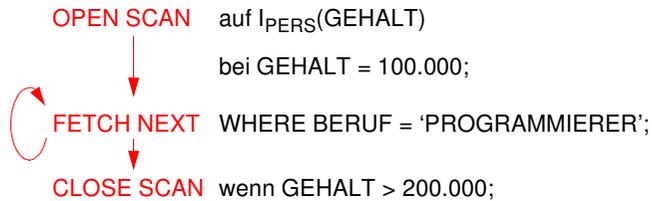
- Clusterbildung auf I_{PERS}(BERUF)

$$K \approx h + \frac{N}{C \cdot j_{\text{BERUF}}} + W \cdot \frac{N}{j_{\text{BERUF}} \cdot 10}$$

- keine Clusterbildung

$$K \approx h + \frac{N}{j_{\text{BERUF}}} + W \cdot \frac{N}{j_{\text{BERUF}} \cdot 10}$$

Methode 2: Scan über I_{PERS}(GEHALT)



• **Kosten:**

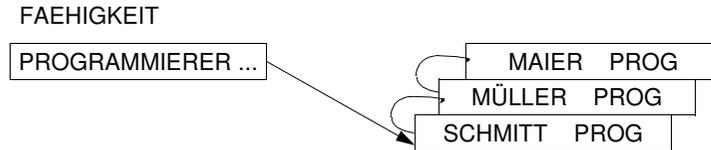
- Clusterbildung auf I_{PERS}(GEHALT)

$$K \approx h + \frac{N}{10 \cdot C} + W \cdot \frac{N}{10 \cdot 2}$$

- keine Clusterbildung

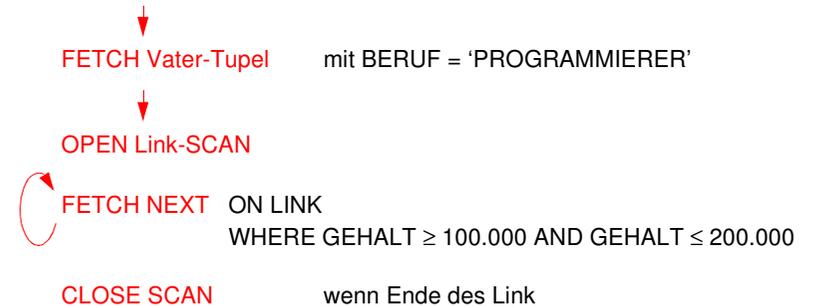
$$K \approx h + \frac{N}{10} + W \cdot \frac{N}{10 \cdot 2}$$

Methode 3: Benutze einen hierarchischen Zugriffspfad (LINK) von einer anderen Tabelle



• **Annahme:**

- Schneller Zugriff auf Tabelle FAEHIGKEIT als Einstieg in LINK möglich, z. B. über I_{FAEHIGKEIT}(BERUF)



• **Kosten:**

- Clusterbildung auf Link

$$K \approx h + \frac{N}{C \cdot j_{\text{BERUF}}} + W \cdot \frac{N}{j_{\text{BERUF}} \cdot 10}$$

- keine Clusterbildung

$$K \approx h + \frac{N}{j_{\text{BERUF}}} + W \cdot \frac{N}{j_{\text{BERUF}} \cdot 10}$$

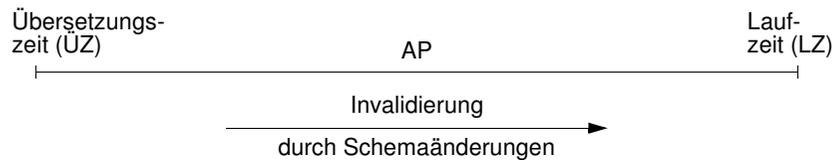
Übersetzung vs. Interpretation

• Was heißt „Binden“?

AP: SELECT Pnr, Name, Gehalt
FROM Pers
WHERE Beruf = 'Programmierer'

DB-Katalog: SYSTAB:
Tabellenbeschreibungen: Pers, . . .
SYSATTR:
Attributbeschreibungen: Pnr, Name, Gehalt, . . .
SYSINDEX:
I_{Pers}(Beruf), . . .
SYSAUTH:
Nutzungsrechte
SYSINT/RULES:
Integritätsbedingungen, Zusicherungen, . . .

• Zeitpunkt des Bindens



Übersetzungskosten:

- unerheblich für Antwortzeit (AZ)

Zugriffe (zur LZ):

- effizient
- datenabhängig!

{ **Ausgleich gesucht!** }

Interpretation:

- erheblich für AZ

Zugriffe (zur LZ):

- teuer
- datenunabhängig!

Übersetzung vs. Interpretation (2)

• Bindezeitpunkt

macht die für die Abwicklung einer DB-Anweisung erforderlichen Operationen von DB-Schema abhängig!

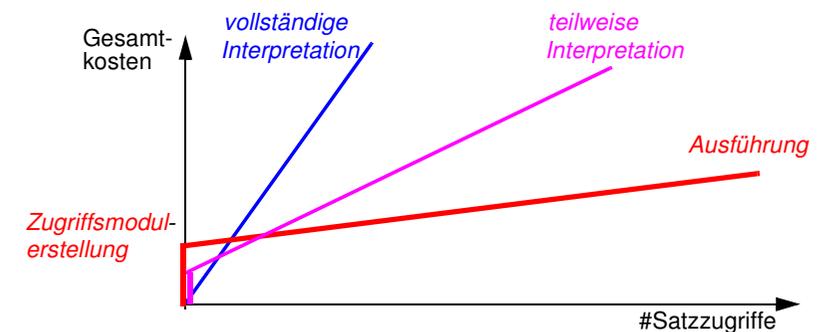
• Maximale Vorbereitung einer DB-Anweisung

- Vorübersetzung und frühes Binden sind eine gute Idee
- aufwendige Optimierung möglich, aber auch maximale Auswirkungen von Schemaänderungen
- Änderungen des DB-Zustandes nach der Übersetzung werden nicht berücksichtigt (neue Zugriffspfade, geänderte Statistiken etc.)

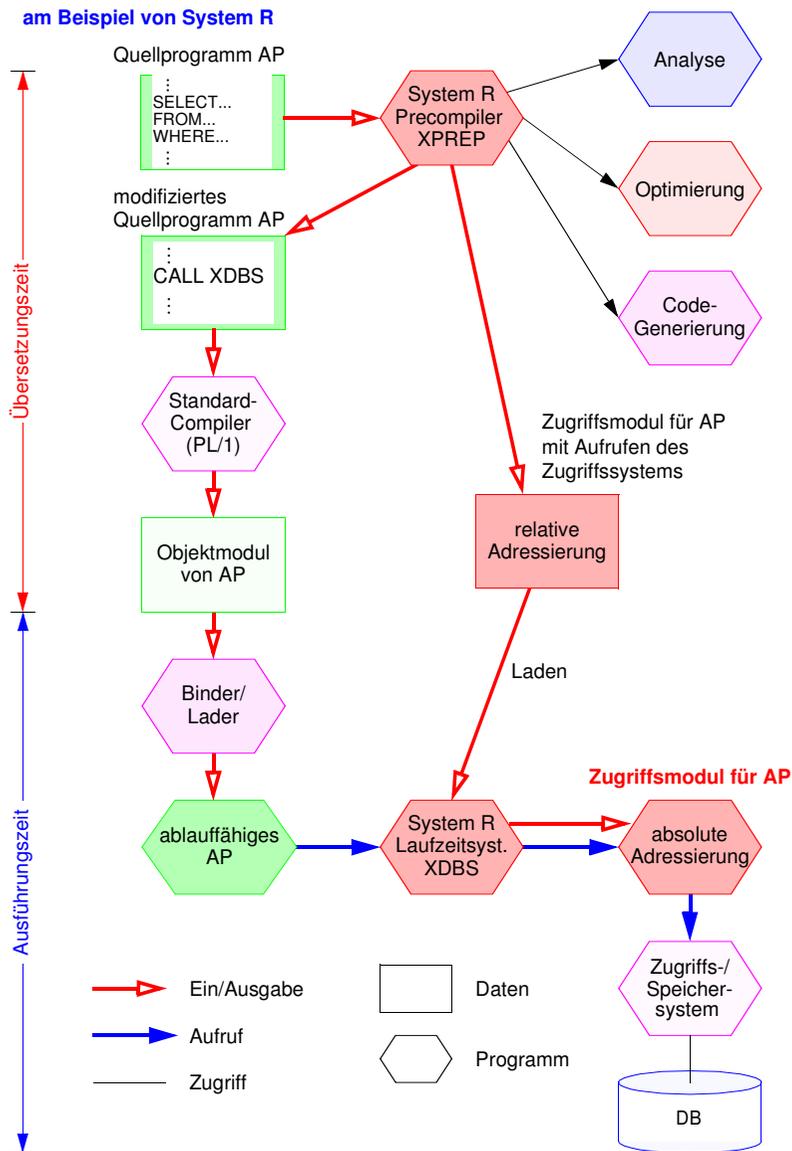
➔ Invalidierung des Zugriffsmoduls und erneute Erstellung

• Interpretation einer DB-Anweisung

- Interpreter wertet Anweisung (als Zeichenfolge) zur Laufzeit aus
- Aktueller DB-Zustand wird automatisch berücksichtigt
- sehr hohe Ausführungskosten bei Programmschleifen sowie durch häufige Katalogzugriffe
- interessant vor allem für Ad-hoc-Anfragen bzw. dynamisches SQL



Vorbereitung und Ausführung von DB-Anweisungen



4 - 37

SQL/PSM

• PSM

(Persistent Stored Modules)

- zielt auf **Leistungsverbesserung** vor allem in Client/Server-Umgebung ab
 - Ausführung mehrerer SQL-Anweisungen durch ein EXEC SQL
 - Entwerfen von Routinen mit mehreren SQL-Anweisungen
- erhöht die **Verarbeitungsmächtigkeit** des DBS
 - Prozedurale Erweiterungsmöglichkeiten (der DBS-Funktionalität aus Sicht der Anwendung)
 - Einführung neuer Kontrollstrukturen
- erlaubt **reine SQL-Implementierungen** von komplexen Funktionen
 - Sicherheitsaspekte
 - Leistungsaspekte
- ermöglicht **SQL-implementierte Klassenbibliotheken** (SQL-only)

4 - 38

SQL/PSM (2)

- **Beispiel**

- ins AWP eingebettet

```
...  
EXEC SQL INSERT INTO Pers VALUES (...);  
EXEC SQL INSERT INTO Abt VALUES (...);  
...
```

- Erzeugen einer SQL-Prozedur

```
CREATE PROCEDURE proct ()  
{  
  BEGIN  
    INSERT INTO Pers VALUES (...);  
    INSERT INTO Abt VALUES (...);  
  END;  
}
```

- Aufruf aus AWP

```
...  
EXEC SQL CALL proct ();  
...
```

- **Vorteile**

- **Vorübersetzte Ausführungspläne** werden gespeichert, sind wiederverwendbar
- **Anzahl der Zugriffe** des Anwendungsprogramms auf die DB wird reduziert
- Prozeduren sind als **gemeinsamer Code** für verschiedene Anwendungsprogramme nutzbar
- Es wird ein **höherer Isolationsgrad** der Anwendung von der DB erreicht

SQL/PSM – Prozedurale Spracherweiterungen

- Compound statement
- SQL variable declaration
- If statement
- Case statement
- Loop statement
- While statement
- Repeat statement
- For statement
- Leave statement
- Return statement
- Call statement
- Assignment statement
- Signal/resignal statement
- BEGIN ... END;
- DECLARE var CHAR (6);
- IF subject (var <> 'urgent') THEN ... ELSE ...;
- CASE subject (var) WHEN 'SQL' THEN ... WHEN ...;
- LOOP <SQL statement list> END LOOP;
- WHILE i<100 DO ... END WHILE;
- REPEAT ... UNTIL i<100 END REPEAT;
- FOR result AS ... DO ... END FOR;
- LEAVE ...;
- RETURN 'urgent';
- CALL procedure_x (1,3,5);
- SET x = 'abc';
- SIGNAL divison_by_zero

Dynamisches SQL

- **Festlegen/Übergabe von SQL-Anweisungen zur Laufzeit**
 - Benutzer stellt Ad-hoc-Anfrage
 - AP berechnet dynamisch SQL-Anweisung
 - SQL-Anweisung ist aktueller Parameter von Funktionsaufrufen an das DBMS
 - ➔ **Dynamisches SQL erlaubt Behandlung solcher Fälle**
- **Mehrere Sprachansätze**
 - Eingebettetes dynamisches SQL
 - Call-Level-Interface (CLI): kann ODBC-Schnittstelle⁴ implementieren
 - Java Database Connectivity⁵ (JDBC) ist eine dynamische SQL-Schnittstelle zur Verwendung mit Java
 - JDBC ist gut in Java integriert und ermöglicht einen Zugriff auf relationale Datenbanken in einem objektorientierten Programmierstil
 - JDBC ermöglicht das Schreiben von Java-Applets, die von einem Web-Browser auf eine DB zugreifen können
 - ➔ **Funktionalität ähnlich, jedoch nicht identisch**
- **Gleiche Anforderungen (LZ)**
 - Zugriff auf Metadaten
 - Übergabe und Abwicklung dynamisch berechneter SQL-Anweisungen
 - Optionale Trennung von Vorbereitung und Ausführung
 - einmalige Vorbereitung mit Platzhalter (?) für Parameter
 - n-malige Ausführung
 - Explizite Bindung von Platzhaltern (?) an Wirtsvariable
 - Variable sind zur ÜZ nicht bekannt!
 - Variablenwert wird zur Ausführungszeit vom Parameter übernommen

4. Die Schnittstelle Open Database Connectivity (ODBC) wird von Microsoft definiert.
5. 'de facto'-Standard für den Zugriff auf relationale Daten von Java-Programmen aus: Spezifikation der JDBC-Schnittstelle unter <http://java.sun.com/products/jdbc>

Eingebettetes dynamisches SQL (EDSQL)

- **Wann wird diese Schnittstelle gewählt?**
 - Sie unterstützt auch andere Wirtssprachen als C
 - Sie ist im Stil statischem SQL ähnlicher; sie wird oft von Anwendungen gewählt, die dynamische und statische SQL-Anweisungen mischen
 - Programme mit EDSQL sind kompakter und besser lesbar als solche mit CLI oder JDBC
- **EDSQL**
 - besteht im wesentlichen aus 4 Anweisungen:
 - DESCRIBE
 - PREPARE
 - EXECUTE
 - EXECUTE IMMEDIATE
- **SQL-Anweisungen werden vom Compiler wie Zeichenketten behandelt**
 - Deklaration DECLARE STATEMENT
 - Anweisungen enthalten Platzhalter für Parameter (?) statt Programmvariablen

Eingebettetes dynamisches SQL (2)

• Trennung von Vorbereitung und Ausführung

```
exec sql begin declare section;  
char Anweisung [256], X[3];  
exec sql end declare section;  
exec sql declare SQLanw statement;
```

```
/* Zeichenkette kann zugewiesen bzw. eingelesen werden */  
Anweisung = 'DELETE FROM Pers WHERE Anr = ?';
```

```
/* Prepare-and-Execute optimiert die mehrfache Verwendung  
einer dynamisch erzeugten SQL-Anweisung */  
exec sql prepare SQLanw from :Anweisung;  
exec sql execute SQLanw using 'K51';  
scanf (" %s ", X);  
exec sql execute SQLanw using :X;
```

• Bei einmaliger Ausführung EXECUTE IMMEDIATE ausreichend

```
scanf (" %s ", Anweisung);  
exec sql execute immediate :Anweisung;
```

• Cursor-Verwendung

- SELECT-Anweisung nicht Teil von DECLARE CURSOR, sondern von PREPARE-Anweisung
- OPEN-Anweisung (und FETCH) anstatt EXECUTE

```
exec sql declare SQLanw statement;  
exec sql prepare SQLanw from  
"SELECT Name FROM Pers WHERE Anr=?" ;  
exec sql declare C1 cursor for SQLanw;  
exec sql open C1 using 'K51';  
...
```

Eingebettetes dynamisches SQL (3)

• Dynamische Parameterbindung

```
Anweisung = 'INSERT INTO Pers VALUES (?, ?, ...)';  
exec sql prepare SQLanw from :Anweisung;  
vname = 'Ted';  
nname = 'Codd';  
exec sql execute SQLanw using :vname, :nname, ...;
```

• Zugriff auf Beschreibungsinformation wichtig

- wenn Anzahl und Typ der dynamischen Parameter nicht bekannt ist
- Deskriptorbereich ist eine gekapselte Datenstruktur, die durch das DBVS verwaltet wird (kein SQLDA vorhanden)

```
Anweisung = 'INSERT INTO Pers VALUES (?, ?, ...)';  
exec sql prepare SQLanw from :Anweisung;  
exec sql allocate descriptor 'Eingabeparameter';  
exec sql describe input SQLanw into sql descriptor 'Eingabeparameter';  
exec sql get descriptor 'Eingabeparameter' :n = count;
```

```
for (i = 1; i < n; i ++)  
{  
  exec sql get descriptor 'Eingabeparameter' value :i  
    :attrtyp = type, :attrlänge = length, :attrname = name;  
  ...  
  exec sql set descriptor 'Eingabeparameter' value :i  
    data = :d, indicator = :ind;  
}
```

```
exec sql execute SQLanw  
using sql descriptor 'Eingabeparameter';
```

Zusammenfassung

- **Cursor-Konzept zur satzweisen Verarbeitung von Datenmengen**
 - Anpassung von mengenorientierter Bereitstellung und satzweiser Verarbeitung von DBS-Ergebnissen
 - Operationen: DECLARE CURSOR, OPEN, FETCH, CLOSE
 - Erweiterungen: Scroll-Cursor, Sichtbarkeit von Änderungen
- **Statisches (eingebettetes) SQL**
 - hohe Effizienz, gesamte Typprüfung und Konvertierung erfolgen durch Precompiler
 - relativ einfache Programmierung
 - Aufbau aller SQL-Befehle muss zur Übersetzungszeit festliegen
 - es können zur Laufzeit nicht verschiedene Datenbanken dynamisch angesprochen werden
- **Interpretation einer DB-Anweisung**
 - allgemeines Programm (Interpreter) akzeptiert Anweisungen der DB-Sprache als Eingabe und erzeugt mit Hilfe von Aufrufen des Zugriffssystems Ergebnis
 - hoher Aufwand zur Laufzeit (v.a. bei wiederholter Ausführung einer Anweisung)
- **Übersetzung, Code-Erzeugung und Ausführung einer DB-Anweisung**
 - für jede DB-Anweisung wird ein zugeschnittenes Programm erzeugt (Übersetzungszeit), das zur Laufzeit abgewickelt wird und dabei mit Hilfe von Aufrufen des Zugriffssystems das Ergebnis ableitet
 - Übersetzungsaufwand wird zur Laufzeit soweit wie möglich vermieden

Zusammenfassung (2)

- **Kostenmodell**
 - Minimierung der Kosten in Abhängigkeit des Systemzustandes
 - Problem: Aktualisierung der statistischen Kenngrößen
- **Anfrageoptimierung: Kernproblem**
der Übersetzung mengenorientierter DB-Sprachen
 - "fatale" Annahmen:
 - Gleichverteilung aller Attributwerte
 - Unabhängigkeit aller Attribute
 - **Kostenvoranschläge für Ausführungspläne:**
 - CPU-Zeit und E/A-Aufwand
 - Anzahl der Nachrichten und zu übertragende Datenvolumina (im verteilten Fall)
 - gute Heuristiken zur Auswahl von Ausführungsplänen sehr wichtig
- **PSM**
 - zielt ab auf Leistungsverbesserung vor allem in Client/Server-Umgebung
 - erhöht die Verarbeitungsmächtigkeit des DBS
- **Dynamisches SQL**
 - Festlegung/Übergabe von SQL-Anweisungen zur Laufzeit
 - hohe Flexibilität, schwierige Programmierung
- **Unterschiede in der SQL-Programmierung zu eingebettetem SQL**
 - explizite Anweisungen zur Datenabbildung zwischen DBS und Programmvariablen
 - klare Trennung zwischen Anwendungsprogramm und SQL
(➔ einfacheres Debugging)

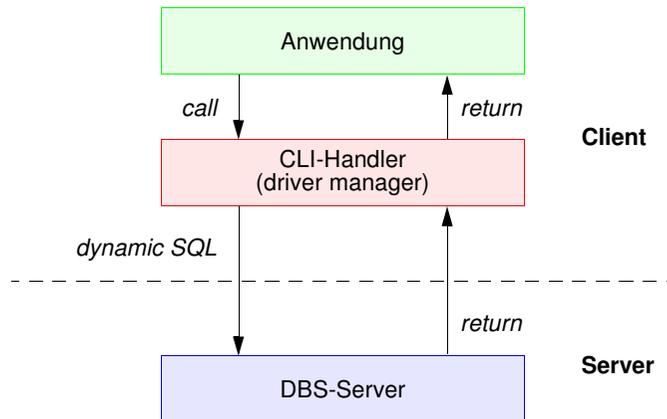
Call-Level-Interface

- **Spezielle Form von dynamischem SQL**

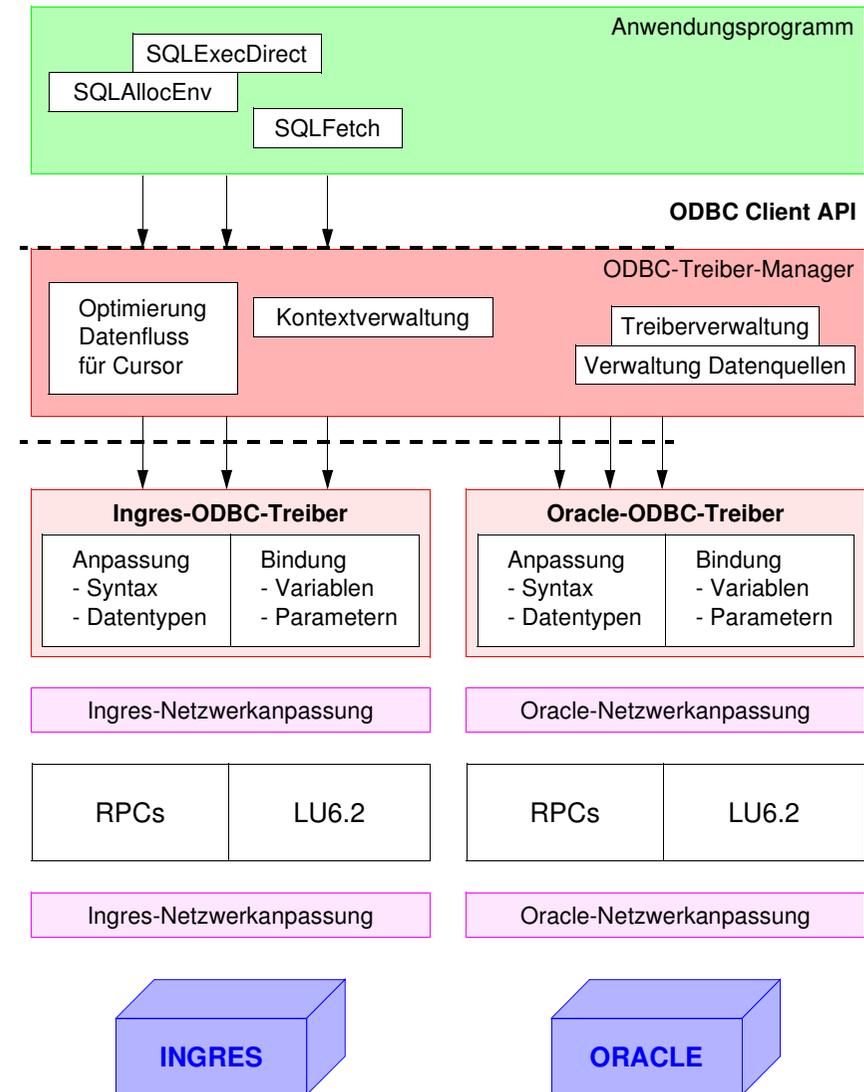
- Schnittstelle ist als Sammlung von Prozeduren/Funktionen realisiert
- Direkte Aufrufe der Routinen einer standardisierten Bibliothek
- Keine Vorübersetzung (Behandlung der DB-Anweisungen) von Anwendungen
 - Vorbereitung der DB-Anweisung geschieht erst beim Aufruf zur LZ
 - Anwendungen brauchen nicht im Quell-Code bereitgestellt werden
 - Wichtig zur Realisierung von kommerzieller AW-Software bzw. Tools

➔ Schnittstelle wird sehr häufig in der Praxis eingesetzt!

- **Einsatz typischerweise in Client/Server-Umgebung**



Beispiel Microsoft – ODBC-Architektur –



Call-Level-Interface (2)

- Vorteile von CLI

- Schreiben portabler Anwendungen

- keinerlei Referenzen auf systemspezifische Kontrollblöcke wie SQLCA/SQLDA
- kann die ODBC-Schnittstelle implementieren

- Systemunabhängigkeit

- Funktionsaufrufe zum standardisierten Zugriff auf den DB-Katalog

- Mehrfache Verbindungen zur selben DB

- unabhängige Freigabe von Transaktionen in jeder Verbindung
- nützlich für AW mit GUIs (graphical user interfaces), die mehrere Fenster benutzen

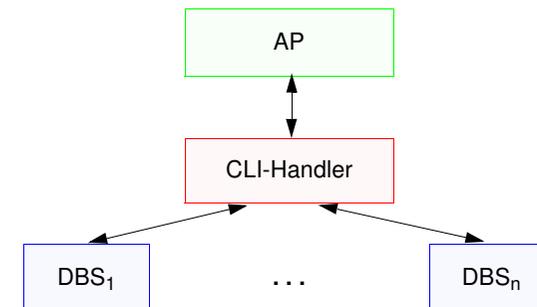
- Optimierung des Zugriffs vom/zum Server

- Holen von mehreren Zeilen pro Zugriff
- Lokale Bereitstellung einzelner Zeilen (Fetch)
- Verschicken von zusammengesetzten SQL-Anweisungen
- Client-Programme können Stored Procedures (PSM) aufrufen

Call-Level-Interface (3)

- Wie kooperieren AP und DBS?

- maximale gegenseitige Kapselung
- Zusammenspiel AP/CLI und DBVS ist nicht durch Übersetzungsphase vorbereitet
 - keine DECLARE SECTION
 - keine Übergabebereiche
- Wahl des DBS zur Laufzeit
- vielfältige LZ-Abstimmungen erforderlich



- Konzept der Handle-Variablen wesentlich

- „Handle“ (internes Kennzeichen) ist letztlich eine Programmvariable, die Informationen repräsentiert, die für ein AP durch die CLI-Implementierung verwaltet wird
- gestattet Austausch von Verarbeitungsinformationen

Call-Level-Interface (4)

• 4 Arten von Handles

- **Umgebungskenung** repräsentiert den globalen Zustand der Applikation
 - **Verbindungskenung**
 - separate Kennung: n Verbindungen zu einem oder mehreren DBS
 - Freigabe/Rücksetzen von Transaktionen
 - Steuerung von Transaktionseigenschaften (Isolationsgrad)
 - **Anweisungskenung**
 - mehrfache Definition, auch mehrfache Nutzung
 - Ausführungszustand einer SQL-Anweisung; sie fasst Informationen zusammen, die bei statischem SQL in SQLCA, SQLDA und Positionsanzeigern (Cursor) stehen
 - **Deskriptorkennung** enthält Informationen, wie Daten einer SQL-Anweisung zwischen DBS und CLI-Programm ausgetauscht werden
- **CLI-Standardisierung in SQL3 wurde vorgezogen:**
- ISO-Standard wurde 1996 verabschiedet
 - starke Anlehnung an ODBC bzw. X/Open CLI
 - Standard-CLI umfasst über 40 Routinen: Verbindungskontrolle, Ressourcen-Allokation, Ausführung von SQL-Befehlen, Zugriff auf Diagnoseinformation, Transaktionsklammerung, Informationsanforderung zur Implementierung

Standard-CLI: Beispiel

```
#include "sqlcli.h"
#include <string.h>
...
{
    SQLCHAR * server;
    SQLCHAR * uid;
    SQLCHAR * pwd;
    HENV henv; // environment handle
    HDBC hdbc; // connection handle
    HSTMT hstmt; // statement handle
    SQLINTEGER id;
    SQLCHAR name [51];

    /* connect to database */
    SQLAllocEnv (&henv);
    SQLAllocConnect (henv, &hdbc);
    if (SQLConnect (hdbc, server, uid,
        pwd, ...) != SQL_SUCCESS)
        return (print_err (hdbc, ...));

    /* create a table */
    SQLAllocStmt (hdbc, &hstmt);
    { SQLCHAR create [] = "CREATE TABLE
        NameID (ID integer,
        Name varchar (50) ) ";

        if (SQLExecDirect (hstmt, create, ...)
            != SQL_SUCCESS)
            return (print_err (hdbc, hstmt));
        /* commit transaction */
        SQLTransact (henv, hdbc, SQL_COMMIT);
    }

    /* insert row */
    { SQLCHAR insert [] = "INSERT INTO
        NameID VALUES (?, ?) ";
        if (SQLPrepare (hstmt, insert, ...) !=
            SQL_SUCCESS)
            return (print_err (hdbc, hstmt));

        SQLBindParam (hstmt, 1, ..., id, ...);
        SQLBindParam (hstmt, 2, ..., name,
            ...);
        id = 500; strcpy (name, "Schmidt");

        if (SQLExecute (hstmt) != SQL_SUCCESS)
            return (print_err (hdbc, hstmt));
        /* commit transaction */
        SQLTransact (henv, hdbc, SQL_COMMIT);
    }
}
```

Überwindung der Heterogenität mit ODBC (Open Data Base Connectivity)

• ODBC ist

- eine durch die Firma Microsoft definierte und von ihr favorisierte Architektur, die aus funktionaler Sicht Heterogenität (einigermaßen) überwindet,
- jedoch z.T. erhebliche Leistungseinbußen gegenüber einer DBS-Hersteller-spezifischen Anbindung verzeichnet.

• ODBC umfasst u.a.

- eine Programmierschnittstelle vom CLI-Typ und
- eine Definition des unterstützten SQL-Sprachumfangs (im Vergleich zu ISO SQL2).

• DBS-Anbieter

- implementieren sogenannte ODBC-Treiber (Umsetzung von Funktionen und Daten auf herstellerspezifische Schnittstellen),
- die gemäß den ebenfalls in der ODBC-Architektur definierten Windows-internen Schnittstellen in die Windows-Betriebssysteme integriert werden können.

• ODBC

- wird von praktisch allen relevanten DBS-Herstellern unterstützt und
- stellt einen **herstellerspezifischen De-facto-Standard** dar,
- der für die **unterschiedlichen Windows-Betriebssysteme** auf der Anwendungsseite Gültigkeit hat.

Beispiel Microsoft – Open Data Base Connectivity (ODBC) –

```
RETCODE retcode; /* Return Code */
HENV henv; HDBC hdbc; /* Environment und Connection Handle */
HSTMT hstmt; /* Statement Handle */

UCHAR szName[33], szAbtName[33]; long lBonus;
SDWORD cbName, cbAbtName, cbBonus;

retcode = SQLAllocEnv (&henv); /* Anlegen Anwendungskontext */
retcode = SQLAllocConnect (henv, &hdbc); /* Anlegen Verbindungskontext */
retcode = SQLAllocStmt (hdbc, &hstmt); /* Anlegen Anweisungskontext */

retcode = SQLConnect (hdbc, "DEMO-DB", SQL_NTS, "PePe", SQL_NTS,
"GEHEIM", SQL_NTS); /* Verbindung aufbauen */
retcode = SQLSetConnectOption (hdbc, SQL_ACCESS_MODE,
SQL_MODE_READ_ONLY; /* Eigenschaften */

retcode = SQLExecDirect (hstmt, "UPDATE Mitarbeiter SET Bonus =
0.2 * Gehalt", SQL_NTS); /* Ausführen */
retcode = SQLExecDirect (hstmt, "SELECT M.Name, M.Bonus, A.Abname
FROM Mitarbeiter M, Abteilung A
WHERE A.AbtNr = M.AbtNr", SQL_NTS);

retcode = SQLBindCol (hstmt, 1, SQL_C_DEFAULT, szName, 33, &cbName);
retcode = SQLBindCol (hstmt, 2, SQL_C_DEFAULT, szAbtName, 33,
&cbAbtName); /* Variablen binden */
retcode = SQLBindCol (hstmt, 3, SQL_C_DEFAULT, szBonus, sizeof(long),
&cbBonus);

retcode = SQLFetch (hstmt); /* Zeile anfordern */

retcode = SQLTransact (henv, hdbc, SQL_COMMIT);

/* Freigabe der dynamisch angeforderten Kontexte */
retcode = SQLFreeStmt (hstmt); retcode = SQLDisconnect (hdbc);
retcode = SQLFreeConnect (hdbc); retcode = SQLFreeEnv (henv);
```

DB-Zugriff via JDBC

• Java Database Connectivity Data Access API (JDBC)⁶

- unabhängiges, standardisiertes CLI, basierend auf SQL:1999
- bietet Schnittstelle für den Zugriff auf (objekt-) relationale DBS aus Java-Anwendungen
- besteht aus zwei Teilen
 - Core Package: Standardfunktionalität mit Erweiterungen (Unterstützung von SQL:1999-Datentypen, flexiblere ResultSets, ...)
 - Optional Package: Ergänzende Funktionalität (Connection Pooling, verteilte Transaktionen, ...)

• Allgemeines Problem

Verschiedene DB-bezogene APIs sind aufeinander abzubilden



• Überbrückung/Anpassung durch Treiber-Konzept

- setzen JDBC-Aufrufe in die DBS-spezifischen Aufrufe um
- Treiber werden z.B. vom DBS-Hersteller zur Verfügung gestellt
- Treiber-Unterstützung kann auf vier verschiedene Arten erfolgen

6. Standard: JDBC API 3.0 Specification Final Release
<http://java.sun.com/products/jdbc>

JDBC – wichtige Funktionalität

• Laden des Treiber

- kann auf verschiedene Weise erfolgen, z.B. durch explizites Laden mit dem Klassenlader:

```
Class.forName (DriverClassName)
```

• Aufbau einer Verbindung

- Connection-Objekt repräsentiert die Verbindung zum DB-Server
- Beim Aufbau werden URL der DB, Benutzername und Paßwort als Strings übergeben:

```
Connection con = DriverManager.getConnection (url, login, pwd);
```

• Anweisungen

- Mit dem Connection-Objekt können u.a. Metadaten der DB erfragt und Statement-Objekte zum Absetzen von SQL-Anweisungen erzeugt werden
- Statement-Objekt erlaubt das Erzeugen einer SQL-Anweisung zur direkten (einmaligen) Ausführung

```
Statement stmt = con.createStatement();
```

- PreparedStatement-Objekt erlaubt das Erzeugen und Vorbereiten von (parametrisierten) SQL-Anweisungen zur wiederholten Ausführung

```
PreparedStatement pstmt = con.prepareStatement (  
    "select * from personal where gehalt >= ?");
```

- Ausführung einer Anfrageanweisung speichert ihr Ergebnis in ein spezifiziertes ResultSet-Objekt

```
ResultSet res = stmt.executeQuery ("select name from personal");
```

• Schließen von Verbindungen, Statements usw.

```
stmt.close();  
con.close();
```

JDBC – Anweisungen

- **Anweisungen (Statements)**

- Sie werden in einem Schritt vorbereitet und ausgeführt
- Sie entsprechen dem Typ EXECUTE IMMEDIATE im dynamischen SQL
- JDBC-Methode erzeugt jedoch ein Objekt zur Rückgabe von Daten

- **executeUpdate-Methode**

wird zur direkten Ausführung von UPDATE-, INSERT-, DELETE- und DDL-Anweisungen benutzt

```
Statement stat = con.createStatement ();
int n = stat.executeUpdate ("update personal
                           set gehalt = gehalt * 1.1
                           where gehalt < 5000.00");
// n enthält die Anzahl der aktualisierten Zeilen
```

- **executeQuery-Methode**

führt Anfragen aus und liefert Ergebnismenge zurück

```
Statement stat1 = con.createStatement ();
ResultSet res1 = stat1.executeQuery (
    "select pnr, name, gehalt from personal where
    gehalt >=" + gehalt);

// Cursor-Zugriff und Konvertierung der DBS-Datentypen in
// passende Java-Datentypen erforderlich (siehe Cursor-Behandlung)
```

JDBC – Prepared-Anweisungen

- **PreparedStatement-Objekt**

```
PreparedStatement pstmt;
double gehalt = 5000.00;
pstmt = con.prepareStatement (
    "select * from personal where gehalt >= ?");
```

- Vor der Ausführung sind dann die aktuellen Parameter einzusetzen mit Methoden wie setDouble, setInt, setString usw. und Indexangabe

```
pstmt.setDouble (1, gehalt);
```
- Neben setXXX () gibt es Methoden getXXX () und updateXXX () für alle Basistypen von Java

- **Ausführen einer Prepared-Anweisung als Anfrage**

```
ResultSet res1 = pstmt.executeQuery ();
```

- **Vorbereiten und Ausführung einer Prepared-Anweisung zur DB-Aktualisierung**

```
pstmt = con.prepareStatement (
    "delete from personal
    where name = ?");
// set XXX-Methode erlaubt die Zuweisung von aktuellen Werten
pstmt.setString (1, "Maier")

int n = pstmt.executeUpdate ();

// Methoden für Prepared-Anweisungen haben keine Argumente
```

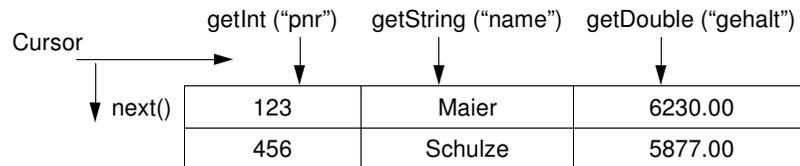
JDBC – Ergebnismengen und Cursor

• Select-Anfragen und Ergebnisübergabe

- Jede JDBC-Methode, mit der man Anfragen an das DBS stellen kann, liefert ResultSet-Objekte als Rückgabewert

```
ResultSet res = stmt.executeQuery (
    "select pnr, name, gehalt from personal where
    gehalt >=" + gehalt);
```

- Cursor-Zugriff und Konvertierung der DBS-Datentypen in passende Java-Datentypen erforderlich
- JDBC-Cursor ist durch die Methode next() der Klasse ResultSet implementiert



- Zugriff aus Java-Programm

```
while (res.next() ) {
    System.out.print (res.getInt ("pnr") + "\t");
    System.out.print (res.getString ("name") + "\t");
    System.out.println (res.getDouble ("gehalt") );
}
```

• JDBC definiert drei Typen von ResultSets

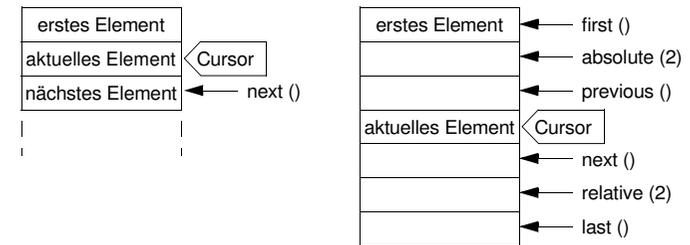
• ResultSet: forward-only

Default-Cursor vom Typ INSENSITIVE: nur next()

JDBC – Ergebnismengen und Cursor (2)

• ResultSet: scroll-insensitive

Scroll-Operationen sind möglich, aber DB-Aktualisierungen verändern ResultSet nach seiner Erstellung nicht



• ResultSet: scroll-sensitive

- Scroll-Operationen sind möglich, wobei ein nicht-INSENSITIVE Cursor benutzt wird
- Semantik der Operation, im Standard nicht festgelegt, wird vom darunterliegenden DBMS übernommen, die vom Hersteller definiert wird!
- Oft wird die sogen. KEYSET_DRIVEN-Semantik⁷ (Teil des ODBC-Standards) implementiert.

• Aktualisierbare ResultSets

```
Statement s1 = con1.createStatement (ResultSet.TYPE_SCROLL_
    SENSITIVE, ResultSet.CONCUR_UPDATABLE);
ResultSet res= s1.executeQuery (. . .); . . .
res.updateString ("name", "Müller"); . . .
res.updateRow ();
```

- Zeilen können in aktualisierbaren ResultSets geändert und gelöscht werden. Mit res.insertRow () wird eine Zeile in res und gleichzeitig auch in die DB eingefügt.

7. Bei Ausführung der Select-Anweisung wird der ResultSet durch eine Menge von Zeigern auf die sich qualifizierenden Zeilen repräsentiert. Änderungen und Löschungen nach Erstellen des ResultSet werden dadurch sichtbar gemacht, Einfügungen aber nicht!

JDBC – Zugriff auf Metadaten

• Allgemeine Metadaten

- Welche Information benötigt ein Browser, um seine Arbeit beginnen zu können?
- JDBC besitzt eine Klasse DatabaseMetaData, die zum Abfragen von Schema- und anderer DB-Information herangezogen wird

• Informationen über ResultSets

- JDBC bietet die Klasse ResultSetMetaData
 - ResultSet rs1 = stmt1.executeQuery ("select * from personal");
 - ResultSetMetaData rsm1 = rs1.getMetaData ();
- Es müssen die Spaltenanzahl sowie die einzelnen Spaltennamen und ihre Typen erfragt werden können (z. B. für die erste Spalte)
 - int AnzahlSpalten = rsm1.getColumnCount ();
 - String SpaltenName = rsm1.getColumnName (1);
 - String TypName = rsm1.getColumnName (1);
- Ein Wertzugriff kann dann erfolgen durch
 - rs1.getInt (2), wenn
 - rsm1.getColumnName (2)
 - den String "Integer" zurückliefert.

JDBC – Fehler und Transaktionen

• Fehlerbehandlung

- Spezifikation der Ausnahmen, die eine Methode werfen kann, bei ihrer Deklaration (throw exception)
- Ausführung der Methode in einem try-Block, Ausnahmen werden im catch-Block abgefangen

```
try {  
    . . . Programmcode, der Ausnahmen verursachen kann  
}  
catch (SQLException e) {  
    System.out.println ("Es ist ein Fehler aufgetreten \n");  
    System.out.println ("Msg: " + e.getMessage ());  
    System.out.println ("SQLState: " + e.getSQLState ());  
    System.out.println ("ErrorCode: " + e.getErrorCode ());  
};
```

• Transaktionen

- Bei Erzeugen eines Connection-Objekts (z.B. con1) ist als Default der Modus **autocommit** eingestellt
- Um Transaktionen als Folgen von Anweisungen abwickeln zu können, ist dieser Modus auszuschalten
 - con1.setAutoCommit(false);
- Für eine Transaktion können sogen. Konsistenzebenen (isolation levels) wie TRANSACTION_SERIALIZABLE, TRANSACTION_REPEATABLE_READ usw. eingestellt werden
 - con1.setTransactionIsolation (
Connection.TRANSACTION_SERIALIZABLE);

• Beendigung oder Zurücksetzen

```
con1.commit();  
con1.rollback();
```

• Programm kann mit mehreren DBMS verbunden sein

- selektives Beenden/Zurücksetzen von Transaktionen pro DBMS
- kein globales atomares Commit möglich

DB-Zugriff via JDBC – Beispiel 1

```
import java.sql.*;
public class Select {
    public static void main (String [] args) {
        Connection con = null;
        PreparedStatement pstmt;
        ResultSet res;
        double gehalt = 5000.00;
        try {
            Class.forName ("sun.jdbc.odbc.JdbcOdbcDriver");
            con = java.sql.DriverManager.getConnection (
                "jdbc:odbc:personal", "user", "passwd");
            pstmt = con.prepareStatement (
                "select pnr, name, gehalt from personal where gehalt >= ?");
            pstmt.setDouble (1, gehalt);
            ...
            res = pstmt.executeQuery ();
            while (res.next () ) {
                System.out.print (res.getInt ("pnr") + "\t");
                System.out.print (res.getString ("name") + "\t");
                System.out.println (res.getDouble ("gehalt") );
            }
            res.close ();
            pstmt.close ();
        } // try
        catch (SQLException e) {
            System.out.println (e) ;
            System.out.println (e.getSQLState () );
            System.out.println (e.getErrorCode () );
        }
        catch (ClassNotFoundException e) {
            System.out.println (e) ;
        }
    } // main
} // class Select
```

DB-Zugriff via JDBC – Beispiel 2

```
import java.sql.*;
public class Insert {
    public static void main (String [] args) {
        Connection con = null;
        PreparedStatement pstmt;
        try {
            Class.forName ("sun.jdbc.odbc.JdbcOdbcDriver");
            con = java.sql.DriverManager.getConnection (
                "jdbc:odbc:personal", " ", " ");
            pstmt = con.prepareStatement (
                "insert into personal values (?, ?, ?)");
            pstmt.setInt (1, 222);
            pstmt.setString (2, "Schmitt");
            pstmt.setDouble (3, 6000.00);
            pstmt.executeUpdate ();
            pstmt.close ();
            con.close ();
        } // try
        catch (SQLException e) {
            System.out.println (e);
            System.out.println (e.getSQLState () );
            System.out.println (e.getErrorCode () );
        }
        catch (ClassNotFoundException e) {System.out.println (e);
        }
    }
    ...
    pstmt = con.prepareStatement (
        "update personal set gehalt = gehalt * 1.1 where gehalt < ?");
    pstmt.setDouble (1, 10000.00);
    pstmt.executeUpdate ();
    pstmt.close ();
    ...
    pstmt = con.prepareStatement ("delete from personal where pnr = ?");
    pstmt = setInt (1, 222);
    pstmt.executeUpdate ();
    pstmt.close ();
```

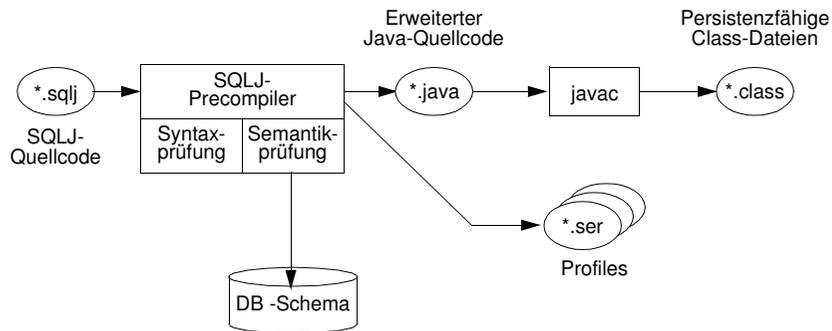
SQLJ

• SQLJ

- Teil 0 der SQLJ-Spezifikation beschreibt die Einbettung von SQL in Java-Anwendungen (bereits ANSI-Standard)
- besitzt bessere Lesbarkeit, Verständlichkeit und Wartbarkeit durch kurze und prägnante Schreibweise
- zielt auf die Laufzeiteffizienz von eingebettetem SQL ab, ohne die Vorteile des DB-Zugriffs via JDBC aufzugeben

• Abbildung auf JDBC durch Precompiler

- Überprüfung der Syntax sowie (gewisser Aspekte) der Semantik von SQL-Anweisungen (Anzahl und Typen von Argumenten usw.) zur Übersetzungszeit, was Kommunikation mit dem DBMS zur Laufzeit erspart
- Ersetzung der SQLJ-Anweisungen durch Aufrufe an das SQLJ-Laufzeitmodul (Package sqlj.runtime.*)
- Erzeugung sog. Profiles, serialisierbare Java-Klassen, welche die eigentlichen JDBC-Anweisungen enthalten



- Abwicklung von DB-Anweisungen vom SQLJ-Laufzeitmodul dynamisch über die Profiles, die wiederum über einen JDBC-Treiber auf die DB zugreifen
- Anpassung an ein anderes DBMS geschieht durch Austausch der Profiles (sog. Customizing)

SQLJ (2)

- Er werden nur einige **Unterschiede zu eingebettetem SQL und JDBC** aufgezeigt

• Verbindung zum DBMS

- erfolgt über sog. Verbindungskontexte (ConnectionContext)
- Sie basieren auf JDBC-Verbindungen und werden auch so genutzt (URL, Nutzername, Paßwort)
- SQLJ-Programm kann **mehrere Verbindungskontexte** über verschiedene JDBC-Treiber aufbauen; sie erlauben den parallelen Zugriff auf mehrere DBMS oder aus mehreren Threads/Prozessen auf das gleiche DBMS

• SQL-Anweisungen sind im Java-Programm Teil einer SQLJ-Klausel

```
#SQL { select p.pnr into :persnr
        from personal p
        where p.beruf = :beruf
        and p.gehalt > :gehalt} ;
```

- Austausch von Daten zwischen SQLJ und Java-Programm erfolgt über Wirtssprachenvariablen
- Parameterübergabe kann vorbereitet werden
- ist viel effizienter als bei JDBC (mit ?-Platzhaltern)

• Iteratoren

- analog zu JDBC-ResultSets
- Definition von Iteratoren (Cursor), aus denen entsprechende Java-Klassen generiert werden, über die auf die Ergebnismenge zugegriffen wird

• SQLJ und JDBC

Ebenso wie statische und dynamische SQL-Anweisungen in einem Programm benutzt werden können, können SQLJ-Anweisungen und JDBC-Aufrufe im selben Java-Programm auftreten.

SQLJ (3)

• Nutzung eines Iterators in SQLJ

```
import java.sql.*
...
#SQL iterator GetPerslter (int personalnr, String nachname);
Get Perslter iter1;
#SQL iter1 = { select  p.pnr as "personalnr",
                    p.name as "nachname"
                from    personal p
                where   p.beruf = :Beruf
                    and p.gehalt = :Gehalt};

int Id ;
String Name ;
while (iter1.next ()) {
    Id = iter1. personalnr ();
    Name = iter1.nachname ();
    ... Verarbeitung ...
}
iter1.close ();
```

Die as-Klausel wird benutzt, um die SQL-Attributnamen im Ergebnis mit den Spaltennamen im Iterator in Beziehung zu setzen

• SQLJ liefert für eine Anfrage ein **SQLJ-Iterator-Objekt** zurück

- SQLJ-Precompiler generiert Java-Anweisungen, die eine Klasse GetPerslter⁸ definieren
- Klasse GetPerslter kann als Ergebnisse Zeilen mit zwei Spalten (Integer und String) aufnehmen
- Deklaration gibt den Spalten Java-Namen (personalnr und nachname) und definiert implizit Zugriffsmethoden personalnr () und nachname (), die zum Iterator-Zugriff benutzt werden

8. Sie implementiert das Interface `sqlj.runtime.NamedIterator` (spezialisiert vom Standard-Java-Interface `java.util.Iterator`)

SQLJ (4)

• DB-seitige Nutzung von Java mit SQLJ⁹

- Teil 1 des SQLJ-Standards beschreibt, wie man Stored Procedures mit Java realisieren kann
- Sprache für Stored Procedures bisher nicht standardisiert, Wildwuchs von Implementierungen
- erste Sprache für portable Stored Procedures
- automatisiertes Installieren/Entfernen von Stored Procedures in/aus DBMS (Einsatz sog. Deployment Descriptors)

• DB-seitige Verwendung von Java-Datentypen

- Teil 2 des SQLJ-Standards beschreibt Verfahren, wie Java-Datentypen als SQL-Datentypen verwendet werden können
- Umgekehrt können für herkömmliche SQL-Typen Wrapper-Klassen automatisch generiert werden

• SQLJ-Standard

- Teil 1 und 2 sind noch nicht verabschiedet
- Es existieren aber bereits nicht-standardkonforme Implementierungen

9. Man spricht auch von Server-sided Java, von der Marketing-Abteilung von Sun auch als "300% Java" bezeichnet, also jeweils 100% für die 3 Schichten einer Standard-C/S-Architektur