# 3. Anwendungsprogrammier-Schnittstelle

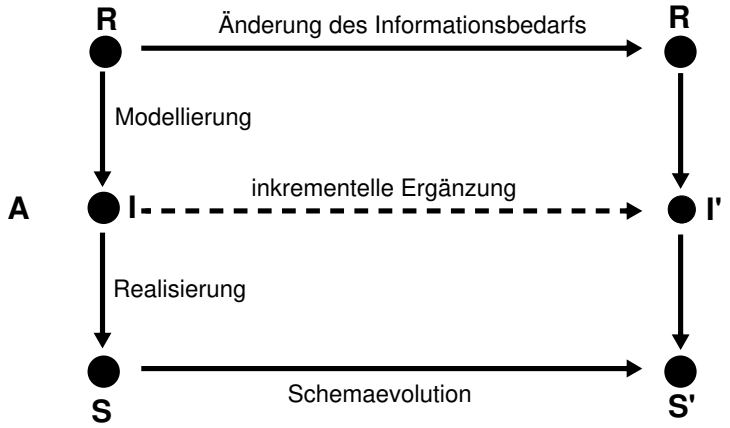
- **Weitere Möglichkeiten der Datendefinition (DDL)**[1]
  - Schemaevolution
  - Indexierung
- **Sichtkonzept**
  - Semantik von Sichten
  - Aktualisierung von Sichten
- **Kopplung mit einer Wirtssprache**
  - Übersicht und Aufgaben
- **Eingebettetes statisches SQL**
  - Cursor-Konzept
  - SQL-Programmiermodell
  - Rekursion
  - Erweiterung des Cursor-Konzeptes
  - Ausnahme- und Fehlerbehandlung
- **Aspekte der Anfrageübersetzung**
- **Dynamisches SQL**
  - Eingebettetes dynamisches SQL
  - Call-Level-Interface
- **PSM**
- **Anhang: Weitere Aspekte**
  - Aufbau/Abbau von DBS-Verbindungen
  - Open Data Base Connectivity (ODBC)

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



# Evolution einer Miniwelt

- **Grobe Zusammenhänge**




**R**: Realitätsausschnitt (Miniwelt)

**I**: Informationsmodell
(zur Analyse und Dokumentation der Miniwelt)

**S**: DB-Schema der Miniwelt
(Beschreibung aller Objekt- und Beziehungstypen sowie aller Integritäts- und Zugriffskontrollbedingungen)

**A**: Abbildung aller wichtigen Objekte und Beziehungen sowie ihrer Integritäts- und Datenschutzaspekte
➥ Abstraktionsvorgang

- **Schemaevolution:**
  - Änderung, Ergänzung oder Neudefinition von Typen und Regeln
  - nicht alle Übergänge von S nach S' können automatisiert durch das DBS erfolgen
    ➥ gespeicherte Objekt- und Beziehungsmengen dürfen den geänderten oder neu spezifizierten Typen und Regeln nicht widersprechen

## Schemaevolution

- **Wachsender oder sich ändernder Informationsbedarf**
  - Erzeugen/Löschen von Tabellen (und Sichten)
  - Hinzufügen, Ändern und Löschen von Spalten
  - Anlegen/Ändern von referentiellen Beziehungen
  - Hinzufügen, Modifikation, Wegfall von Integritätsbedingungen

➥ Hoher Grad an logischer Datenunabhängigkeit ist sehr wichtig!

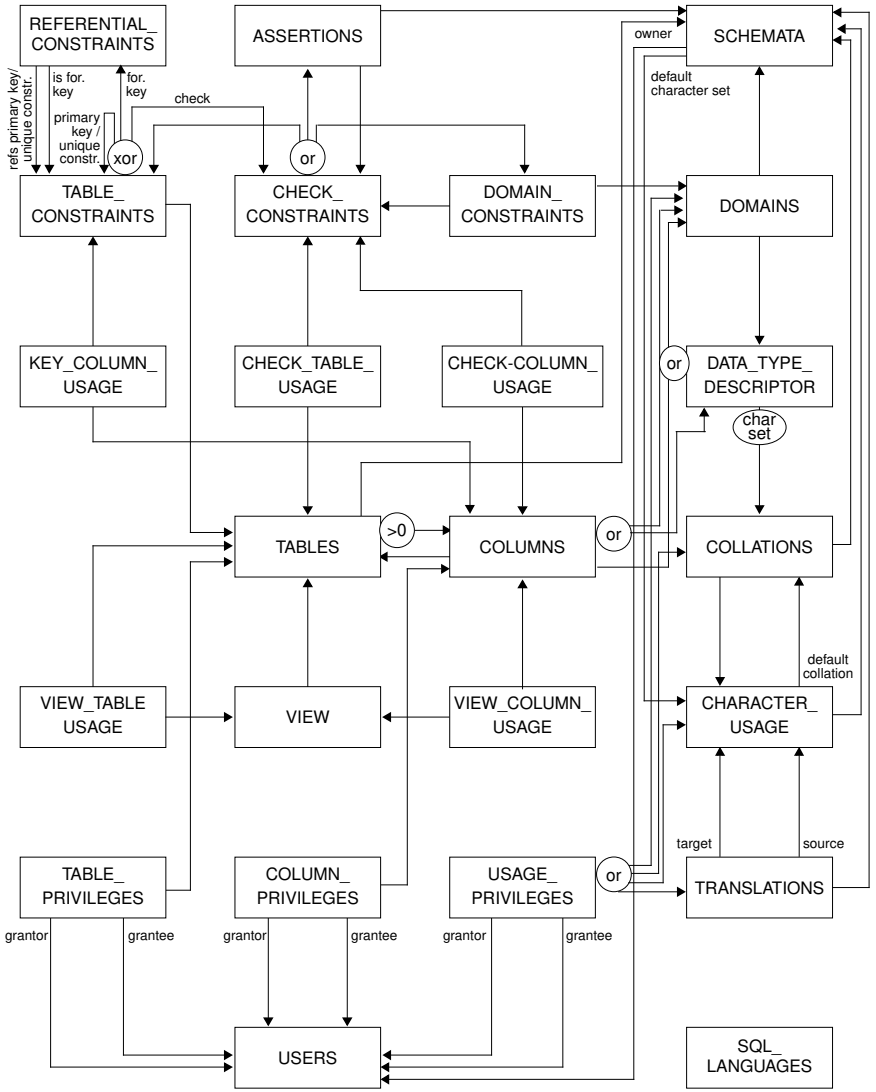
- **Zusätzliche Änderungen im DB-Schema**
  durch veränderte Anforderungen bei der DB-Nutzung
  - Dynamisches Anlegen von Zugriffspfaden
  - Aktualisierung der Zugriffskontrollbedingungen
- **Durchführung der Schemaevolution**
  - Aktualisierung von Tabellenzeilen des SQL-Definitionsschemas
  - “tabellengetriebene” Verarbeitung der Metadaten durch das DBS
- **Dynamische Änderung einer Tabelle**
  Bei Tabellen können dynamisch (während ihrer Lebenszeit) Schemaänderungen durchgeführt werden

```
ALTER  TABLE  base-table
   {  ADD [COLUMN] column-def
    | ALTER [COLUMN] column
              {SET default-def  | DROP DEFAULT}
    | DROP [COLUMN] column {RESTRICT | CASCADE}
    | ADD  base-table-constraint-def
    | DROP  CONSTRAINT constraint {RESTRICT | CASCADE}}
```

➥ Welche Probleme ergeben sich?



## SQL-Definitionsschema



## Schemaevolution (2)

**E1: Erweiterung der Tabellen Abt und Pers durch neue Spalten**

```
ALTER  TABLE   Pers
       ADD   Svnr INT UNIQUE
ALTER  TABLE   Abt
       ADD   Geh-Summe INT
```

| Abt | Anr | Aname | Ort |
|---|---|---|---|
| | K51 | PLANUNG | KAISERSLAUTERN |
| | K53 | EINKAUF | FRANKFURT |
| | K55 | VERTRIEB | FRANKFURT |

| Pers | Pnr | Name | Alter | Gehalt | Anr | Mnr |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 406 | COY | 47 | 50 700 | K55 | 123 |
| | 123 | MÜLLER | 32 | 43 500 | K51 | - |
| | 829 | SCHMID | 36 | 45 200 | K53 | 777 |
| | 574 | ABEL | 28 | 36 000 | K55 | 123 |

**E2: Verkürzung der Tabelle Pers um eine Spalte**

```
ALTER TABLE Pers
        DROP COLUMN Alter RESTRICT
```

- Wenn die Spalte die einzige der Tabelle ist, wird die Operation zurückgewiesen.
- Da RESTRICT spezifiziert ist, wird die Operation zurückgewiesen, wenn die Spalte in einer Sicht oder einer Integritäts-bedingung (Check) referenziert wird.
- CASCADE dagegen erzwingt die Folgelöschung aller Sichten und Check-Klauseln, die von der Spalte abhängen.



## Schemaevolution (3)

- **Löschen von Objekten**

```
DROP        {TABLE base-table | VIEW view |
             DOMAIN domain | SCHEMA schema }
            {RESTRICT | CASCADE}
```

- Falls Objekte (Tabellen, Sichten, ...) nicht mehr benötigt werden, können sie durch die DROP-Anweisung aus dem System entfernt werden.
- Mit der CASCADE-Option können 'abhängige' Objekte (z. B. Sichten auf Tabellen oder anderen Sichten) mitentfernt werden
- RESTRICT verhindert Löschen, wenn die zu löschende Tabelle noch durch Sichten oder Integritätsbedingungen referenziert wird

**E3: Löschen von Tabelle Pers**

```
DROP   TABLE   Pers RESTRICT
```

PersConstraint sei definiert auf Pers:

```
1. ALTER TABLE Pers
        DROP CONSTRAINT PersConstraint CASCADE

2. DROP TABLE Pers RESTRICT
```

## Indexierung

- **Einsatz von Indexstrukturen**
  - Beschleunigung der Suche: Zugriff über Spalten (Schlüsselattribute)
  - Kontrolle von Integritätsbedingungen (relationale Invarianten)
  - Zeilenzugriff in der logischen Ordnung der Schlüsselwerte
  - Gewährleistung der Clustereigenschaft für Tabellen

    ➥ **aber:** erhöhter Aktualisierungsaufwand und Speicherplatzbedarf

- **Einrichtung von Indexstrukturen**
  - Datenunabhängigkeit des Relationenmodells erlaubt ein Hinzufügen und Löschen
  - jederzeit möglich, um z. B. bei veränderten Benutzerprofilen das Leistungsverhalten zu optimieren
  - “beliebig” viele Indexstrukturen pro Tabelle und mit unterschiedlichen Spaltenkombinationen als Schlüssel möglich
  - Steuerung der Eindeutigkeit der Schlüsselwerte, der Clusterbildung
  - Freiplatzanteil (PCTFREE) in jeder Indexseite beim Anlegen erleichtert das Wachstum

    ➥ **Spezifikation:** DBA oder Benutzer

- **Nutzung eines vorhandenen Index**

  ➥ Entscheidung durch DBS-Optimizer

- Im SQL-Standard keine Anweisung vorgesehen, jedoch in realen Systemen (z. B. IBM DB2):

```
CREATE   [UNIQUE]  INDEX  index
         ON base-table (column [ORDER] [,column[ORDER]] ...)
         [CLUSTER] [PCTFREE]
```



## Indexierung (2)

**E4: Erzeugung einer Indexstruktur mit Clusterbildung auf der Spalte Anr von Abt**

```
CREATE   UNIQUE   INDEX   Persind1
         ON  Abt (Anr) CLUSTER
```

- Realisierung z. B. durch B*-Baum (oder Hashing mit verminderter Funktionalität)
- **UNIQUE:** keine Schlüsselduplikate im Index
- **CLUSTER:** zeitoptimale sortiert-sequentielle Verarbeitung (Scan-Operation)

**E5: Erzeugung einer Indexstruktur auf den Spalten Anr (absteigend) und Gehalt (aufsteigend) von Pers.**

```
CREATE   INDEX   Persind2
         ON   Pers (Anr DESC,  Gehalt ASC)
```

- **Typische Implementierung eines Index: B*-Baum** (wird von allen DBS angeboten!)

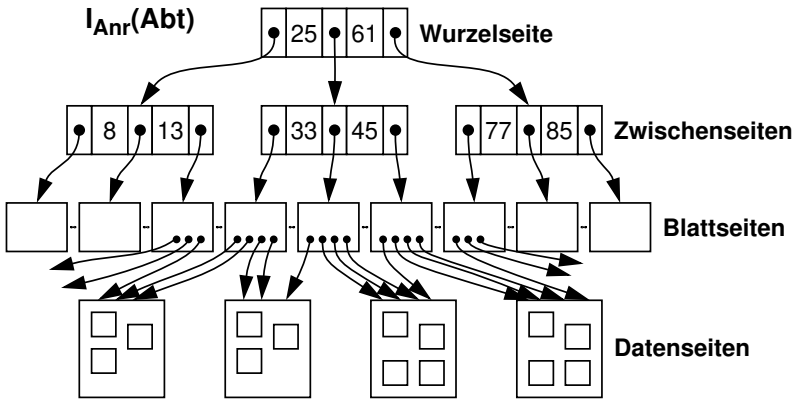
  ➥ dynamische Reorganisation durch Aufteilen (Split) und Mischen von Seiten

- **Wesentliche Funktionen**
  - direkter Schlüsselzugriff auf einen indexierten Satz
  - sortiert sequentieller Zugriff auf alle Sätze (unterstützt Bereichsanfragen, Verbundoperation usw.)

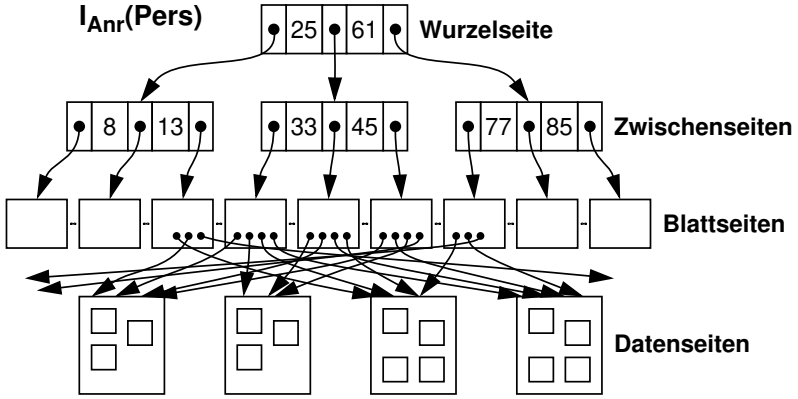
- **Balancierte Struktur**
  - unabhängig von Schlüsselmenge
  - unabhängig von Einfügereihenfolge

## Indexierung (3)

- **Index mit Clusterbildung**




- **Index ohne Clusterbildung**

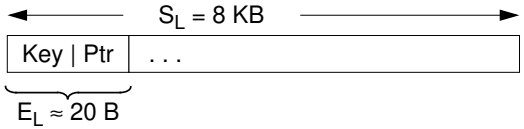





## Indexierung (4)

- **Vereinfachtes Zahlenbeispiel zum B*-Baum**

Seitenformat im B*-Baum




# Einträge/Seite = ES $\leq \frac{S_L}{E_L}$

$h_B$ = Baumhöhe

$N_T$ = # Zeilenreferenzen im B*-Baum

$N_B$ = # Blattseiten im B*-Baum

$$N_{Tmin} = 2 \cdot \left(\frac{ES}{2}\right)^{h_B - 1} \leq N_T \leq ES^{h_B} = N_{Tmax}$$

➥ Welche Werte ergeben sich für $h_B = 3$ ?

# Sichtkonzept

- **Ziel: Festlegung**
  - welche Daten Benutzer sehen wollen
    (Vereinfachung, leichtere Benutzung)
  - welche Daten sie nicht sehen dürfen (Datenschutz)
  - einer zusätzlichen Abbildung
    (erhöhte Datenunabhängigkeit)
- **Sicht (*View*):** mit Namen bezeichnete, aus Tabellen abgeleitete, virtuelle Tabelle (Anfrage)
- **Korrespondenz zum externen Schema** bei ANSI/SPARC
  (Benutzer sieht jedoch i. allg. mehrere Sichten (Views) und Tabellen)

```
CREATE VIEW view [ (column-commalist ) ]
    AS table-exp
        [WITH [ CASCADED | LOCAL] CHECK OPTION]
```

**D5: Sicht, die alle Programmierer mit einem Gehalt < 30 TDM umfaßt.**

```
CREATE VIEW
    Arme_Programmierer (Pnr, Name, Beruf, Gehalt, Anr)
    AS  SELECT Pnr, Name, Beruf, Gehalt, Anr
        FROM Pers
        WHERE Beruf = 'Programmierer' AND Gehalt <  30 000
```

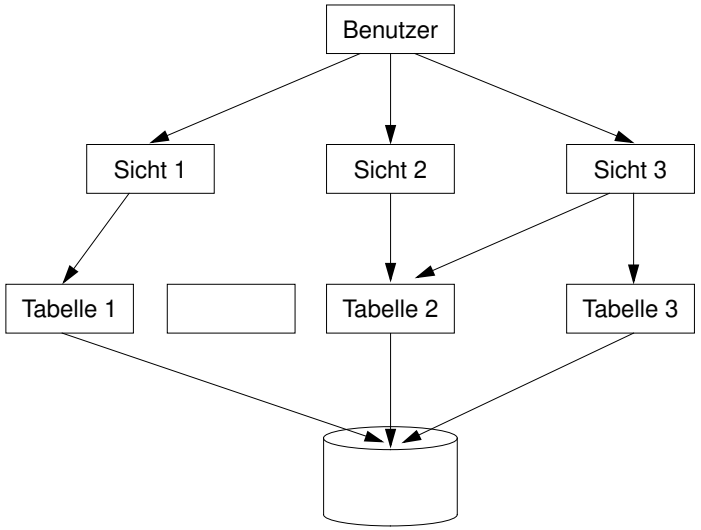
**D6: Sicht für den Datenschutz**

```
CREATE VIEW  Statistik (Beruf, Gehalt)
    AS  SELECT Beruf, Gehalt
        FROM Pers
```



# Sichtkonzept (2)

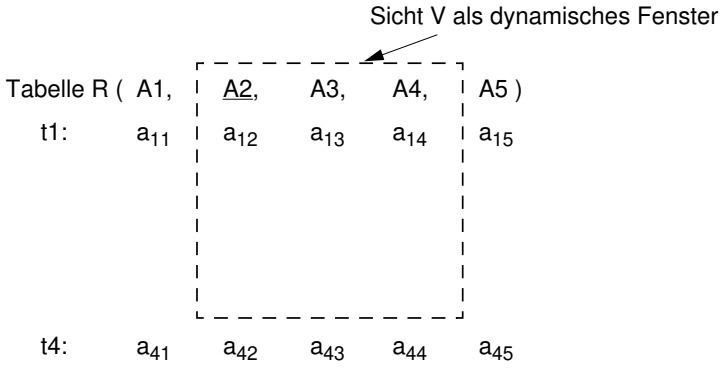
- **Sichten zur Gewährleistung von Datenunabhängigkeit**



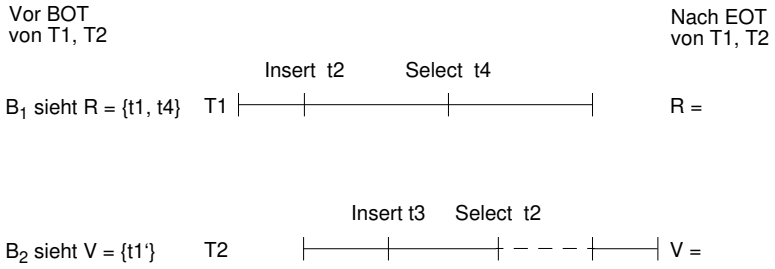

- **Eigenschaften von Sichten**
  - Sicht kann wie eine Tabelle behandelt werden
  - Sichtsemantik:
    „dynamisches Fenster“ auf zugrundeliegende Tabellen
  - Sichten auf Sichten sind möglich
  - eingeschränkte Änderungen:
    aktualisierbare und nicht-aktualisierbare Sichten

## Sichtkonzept (3)

- **Zum Aspekt: Semantik von Sichten**




- **Sichtbarkeit von Änderungen - Wann und Was?**
  Wann werden welche geänderten Daten in der **Tabelle/Sicht** für die **anderen** Benutzer sichtbar?






## Sichtkonzept (4)

- **Abbildung von Sicht-Operationen auf Tabellen**
  - Sichten werden i. allg. nicht explizit und permanent gespeichert, sondern Sicht-Operationen werden in äquivalente Operationen auf Tabellen umgesetzt
  - Umsetzung ist für Leseoperationen meist unproblematisch

  Anfrage (Sichtreferenz):

```
SELECT Name, Gehalt
FROM Arme_Programmierer
WHERE Anr = 'K55'
```

  Ersetzung durch:

```
SELECT Name, Gehalt
FROM
WHERE Anr = 'K55'
```

- **Abbildungsprozeß auch über mehrere Stufen durchführbar**

  Sichtendefinitionen:

```
CREATE VIEW V  AS SELECT  ... FROM R WHERE P
CREATE VIEW W  AS SELECT  ... FROM V WHERE Q
```

  Anfrage:

```
SELECT ... FROM W WHERE  C
```

  Ersetzung durch

```
SELECT ... FROM V WHERE Q AND C
```

  und

```
SELECT ... FROM R WHERE Q AND P AND C
```

## Sichtkonzept (5)

- **Einschränkungen der Abbildungsmächtigkeit**
  - keine Schachtelung von Aggregat-Funktionen und Gruppenbildung (GROUP-BY)
  - keine Aggregat-Funktionen in WHERE-Klausel möglich

Sichtendefinition:

```
CREATE VIEW Abtinfo (Anr, Gsumme) AS
    SELECT Anr, SUM (Gehalt)
    FROM Pers
    GROUP BY Anr
```

Anfrage:

```
SELECT AVG (Gsumme) FROM Abtinfo
```

Ersetzung durch

```
SELECT
FROM Pers
GROUP BY Anr
```

- **Löschen von Sichten:**

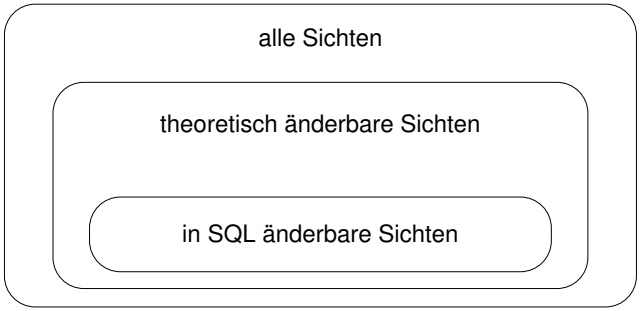
**DROP VIEW** Arme_Programmierer
CASCADE

- Alle referenzierenden Sichtdefinitionen und Integritätsbedingungen werden mitgelöscht
- RESTRICT würde eine Löschung zurückweisen, wenn die Sicht in weiteren Sichtdefinitionen oder CHECK-Constraints referenziert werden würde.



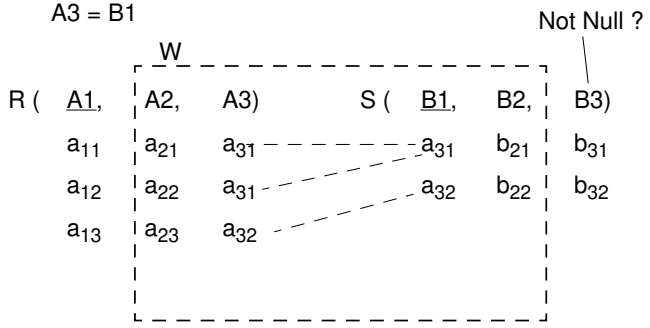
## Sichtkonzept (6)

- **Änderbarkeit von Sichten**




- Sichten über mehr als eine Tabelle sind i. allg. nicht aktualisierbar!

$W = \Pi_{A2,A3,B1,B2}\,(R \bowtie_{A3 = B1} S)$




Einfügen ?

Ändern?

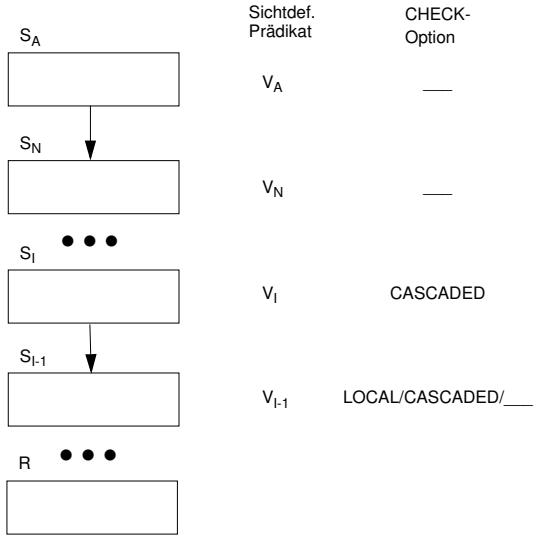
- **Änderbarkeit in SQL**
  - nur eine Tabelle (Basisrelation oder Sicht)
  - Schlüssel muß vorhanden sein
  - keine Aggregatfunktionen, Gruppierung und Duplikateliminierung

## Sichtkonzept (7)

- **Überprüfung der Sichtdefinition:** WITH CHECK OPTION
  - Einfügungen und Änderungen müssen das die Sicht definierende Prädikat erfüllen. Sonst: Zurückweisung
  - nur auf aktualisierbaren Sichten definierbar

- **Zur Kontrolle der Aktualisierung von Sichten,** die wiederum auf Sichten aufbauen, wurde die CHECK-Option verfeinert. Für jede Sicht sind drei Spezifikationen möglich:
  - Weglassen der CHECK-Option
  - WITH CASCADED CHECK OPTION oder äquivalent WITH CHECK OPTION
  - WITH LOCAL CHECK OPTION

- **Vererbung der Prüfbedingung durch CASCADED**






## Sichtkonzept (8)

- **Annahmen**
- Sicht $S_A$ mit dem die Sicht definierenden Prädikat $V_A$ wird aktualisiert
- $S_I$ ist die höchste Sicht im Abstammungspfad von $S_A$, die die Option CASCADED besitzt
- Oberhalb von $S_I$ tritt keine LOCAL-Bedingung auf

- **Aktualisierung von $S_A$**
  - als Prüfbedingung wird von $S_I$ aus an $S_A$ “vererbt”: $V = V_I \wedge V_{I-1} \wedge \ldots \wedge V_1$

    ➥ Erscheint irgendeine aktualisierte Zeile von $S_A$ nicht in $S_I$, so wird die Operation zurückgesetzt
  - Es ist möglich, daß Zeilen aufgrund von gültigen Einfüge- oder Änderungsoperationen aus $S_A$ verschwinden

- **Aktualisierte Sicht besitzt WITH CHECK OPTION**
  - Default ist CASCADED
  - Als Prüfbedingung bei Aktualisierungen ergibt sich $V = V_A \wedge V_N \wedge \ldots \wedge V_I \wedge \ldots \wedge V_1$
  - Zeilen können jetzt aufgrund von gültigen Einfüge- oder Änderungsoperationen nicht aus $S_A$ verschwinden

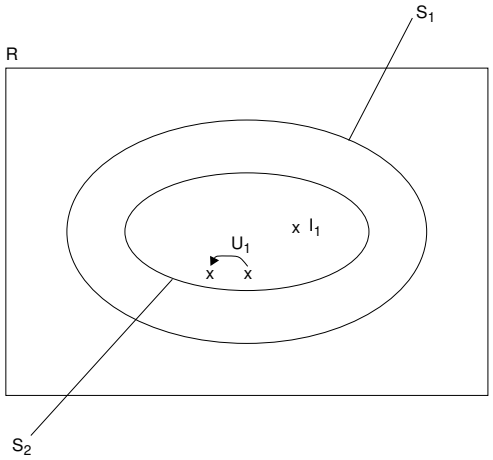
- **LOCAL hat eine undurchsichtige Semantik**
  - Sie wird hier nicht diskutiert
  - Empfehlung: nur Verwendung von CASCADED

## Sichtbarkeit von Änderungen

**Sichtenhierarchie:**

$S_2$ mit $V_1 \wedge V_2$

$S_1$ mit $V_1$ und CASCADED




**Aktualisierungsoperationen in $S_2$**

$I_1$ und $U_1$ erfüllen das $S_2$-definierende Prädikat $V_1 \wedge V_2$

$I_2$ und $U_2$ erfüllen das $S_1$-definierende Prädikat $V_1$

$I_3$ und $U_3$ erfüllen das $S_1$-definierende Prädikat $V_1$ nicht

**Welche Operationen sind erlaubt?**

| | | |
|---|---|---|
| Insert in S2: | $I_1$ | ✔ |
| | $I_2$ | |
| | $I_3$ | |
| Update in S2: | $U_1$ | ✔ |
| | $U_2$ | |
| | $U_3$ | |

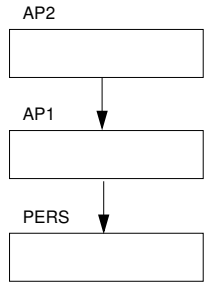
Ohne Check-Option werden alle Operationen akzeptiert !



## Sichtkonzept (9)

- **Beispiel**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tabelle | Pers | | |
| Sicht 1 auf Pers | AP1 | mit | Beruf = ‘Prog.’ AND Gehalt < ‘30K’ |
| Sicht 2 auf AP1 | AP2 | mit | Gehalt > ‘20K’ |




| Sichtdef. Prädikat | CHECK-Optionen 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| > ‘20K’ | — | — | CASC | CASC |
| < ‘30K’ | — | CASC | — | CASC |

- **Operationen**

a) INSERT INTO AP2
VALUES (. . . , ‘15K’)

b) UPDATE AP2
SET Gehalt = Gehalt + ‘5K’
WHERE Anr = ‘K55’

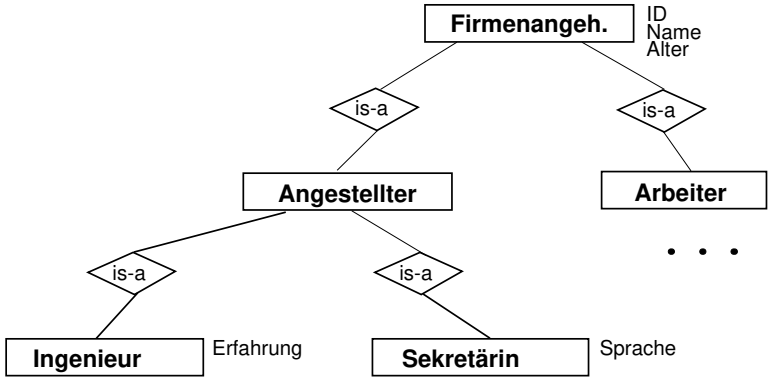
c) UPDATE AP2
SET Gehalt = Gehalt - ‘3K’

- **Welche Operationen sind bei den verschiedenen CHECK-Optionen gültig?**

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| a | | | | |
| b | | | | |
| c | | | | |

## Generalisierung mit Sichtkonzept

- **Ziel: Simulation einiger Aspekte der Generalisierung**




- **Einsatz des Sichtkonzeptes**

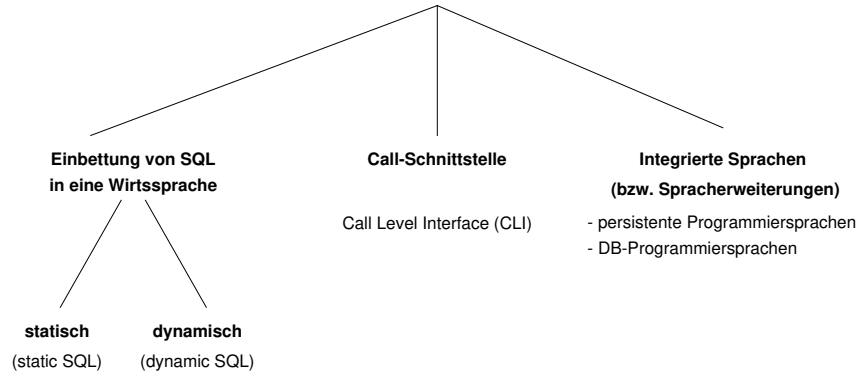
```
CREATE  TABLE  Sekretärin
        (ID             INT,
         Name           CHAR(20),
         Alter          INT,
         Sprache        CHAR(15)
         • • •);

INSERT INTO  Sekretärin
   VALUES (436,  'Daisy',  21,  'Englisch');
```

```
CREATE  TABLE  Ingenieur
        (ID             INT,
         Name           CHAR(20),
         Alter          INT,
         Erfahrung      CHAR(15)
         • • • );

INSERT INTO  Ingenieur
   VALUES (123,  'Donald',  37,  'SUN');
```

```
CREATE  VIEW  Angestellter
        AS   SELECT     ID,  Name,  Alter
             FROM       Sekretärin
             UNION
             SELECT     ID,  Name,  Alter
             FROM       Ingenieur;

CREATE  VIEW  Firmenangehöriger
        AS   SELECT     ID,  Name,  Alter
             FROM       Angestellter
             UNION
             SELECT     ID,  Name,  Alter
             FROM       Arbeiter;
```



# Kopplung mit einer Wirtssprache

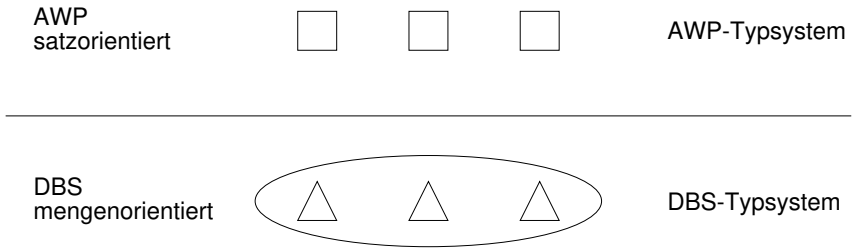



- **Call-Schnittstelle**
  (prozedurale Schnittstelle, CLI)
  - DB-Funktionen werden durch Bibliothek von Prozeduren realisiert
  - Anwendung enthält lediglich Prozeduraufrufe
- **Einbettung von SQL** (Embedded SQL, ESQL)
  - Spracherweiterung um spezielle DB-Befehle (EXEC SQL ...)
  - komfortablere Programmierung als mit CLI
- **statische Einbettung**
  - Vorübersetzer (Pre-Compiler) 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

## 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 im AWP?

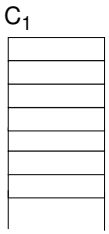
- **Cursor-Deklaration**

```
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
```

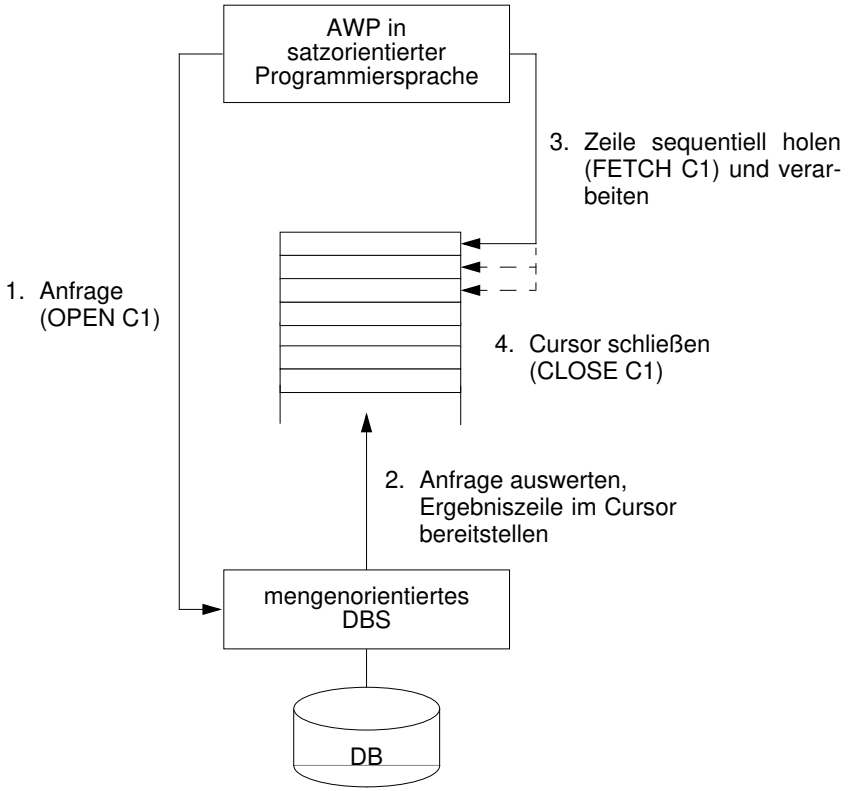



- **Reihenfolge der Ergebniszeilen**
  - systembestimmt
  - benutzerspezifiziert (ORDER BY)



## Cursor-Konzept (2)

- **Veranschaulichung der Cursor-Schnittstelle**




- **Wann wird die Ergebnismenge angelegt?**
  - schritthaltende Auswertung durch das DBS?
    Verzicht auf eine explizite Zwischenspeicherung ist nur bei einfachen Anfragen möglich
  - 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)

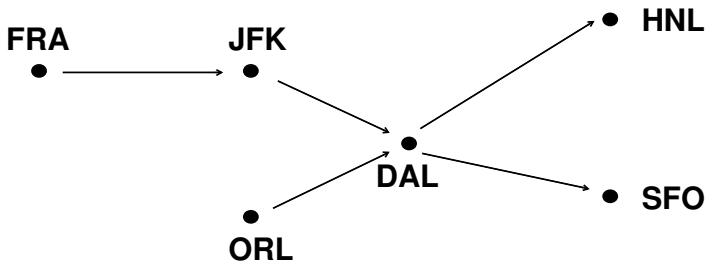
- **Aktualisierung mit Bezugnahme auf eine Position**
  - Wenn die Zeilen, die ein Cursor verwaltet (*active set*), eindeutig Zeilen einer Tabelle entsprechen, können sie über Bezugnahme durch den Cursor geändert werden.
  - Keine Bezugnahme bei INSERT möglich !

```
positioned-update ::=
        UPDATE table SET update-assignment-commalist
        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;
    }
```

## 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 ?

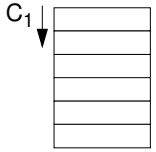
```
SELECT   Ab,  An, . . .
FROM     Flüge
WHERE    Ab =  'FRA'   AND   An =  'HNL'
```

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

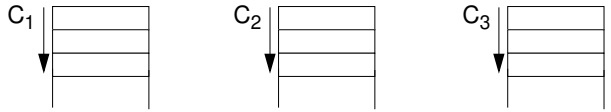


## SQL-Programmiermodell

1) **ein Cursor**: π, σ, ⋈, ∪, - ,. . . , Agg, Sort, . . .

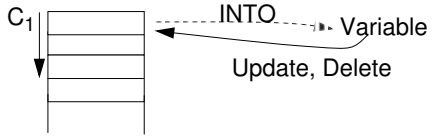



2) **mehrere Cursor**: π, σ, Sort, ...

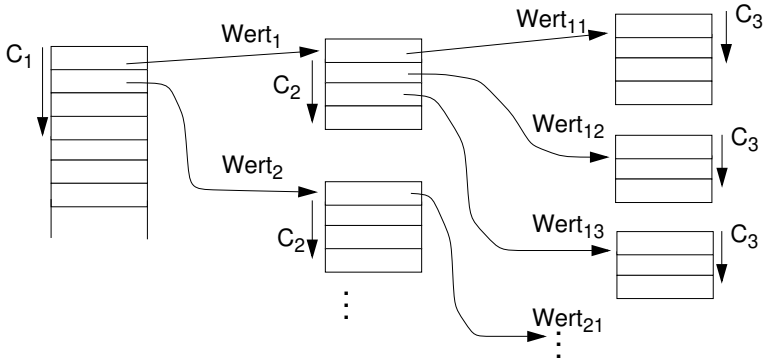



Verknüpfung der gesuchten Zeilen im AP

3) **Positionsbezogene Aktualisierung**




4) **abhängige Cursor**



## Beispiel: Stücklistenauflösung

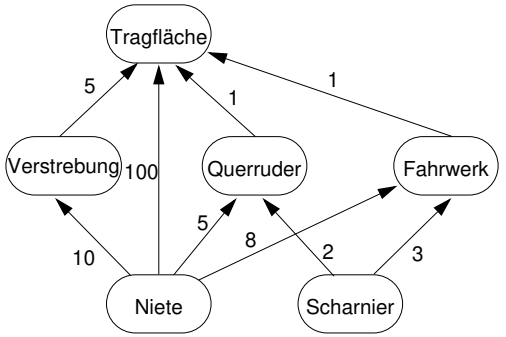
- Tabelle Struktur (Otnr, Utnr, Anzahl)
- Aufgabe: Ausgabe aller Endprodukte sowie deren Komponenten
- max. Schachtelungstiefe sei bekannt (hier: 2)

```
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 (Bsp.):**

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-Instanziierung 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**



## Ausnahme- und Fehlerbehandlung

- **Indikatorkonzept:**

  Indikatorvariablen zum Erkennen von Nullwerten

```
        EXEC SQL FETCH C INTO :X INDICATOR : X_Indic
bzw.    EXEC SQL FETCH C INTO :X :X_indic, :Y :Y_Indic;
```

- **mögliche Werte einer Indikatorvariable**

  = 0: zugehörige Wirtsprogrammvariable hat regulären Wert
  = -1: es liegt ein Nullwert vor
  > 0: zugehörige Wirtsprogrammvariable enthält abgeschnittene Zeichenkette

- **Beispiel:**

```
exec sql begin declare section;
     int pnummer, mnummer, mind;
exec sql end declare section;

/* Überprüfen von Anfrageergebnissen */
exec sql select Mnr into :mnummer :mind
          from Pers
          where Pnr = :pnummer;
if (mind == 0) { /* kein Nullwert */
else { /* Nullwert */ }

/* ermöglicht die Kennzeichnung von Nullwerten */
exec sql insert into Pers (Pnr, Mnr)
          values ( :pnummer, :mnummer indicator :mind);
```

## Ausnahme- und Fehlerbehandlung (2)

- **SQL-Implementierungen verwenden meist vordefinierten Kommunikationsbereich zwischen DBS und AP: SQL Communication Area**

  **EXEC SQL INCLUDE SQLCA;**

  enthält u.a. Integer-Variable SQLCODE

- **SQL92 nutzt neben SQLCODE (aus Kompatibilität zu SQL89) neue Variable SQLSTATE**
  - standardisierte Fehler-Codes
  - nähere Angaben zu Fehlersituationen in einem Diagnostik-Bereich des DBS

  ➥ Anweisung GET DIAGNOSTICS

- **WHENEVER-Anweisung**

  **EXEC SQL WHENEVER <Bedingung> <Aktion>;**

  - Vordefinierte Bedingungen: NOT FOUND, SQLWARNING, SQLERROR
  - Aktionen: STOP, CONTINUE, GOTO <label>
  - WHENEVER ist Anweisung an Vorübersetzer, nach jeder SQL-Anweisung entsprechende SQLCODE- bzw. SQLSTATE-Prüfung einzubauen



## Wirtssprachen-Einbettung und Übersetzung

- **Prinzipielle Möglichkeiten**

  **- 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

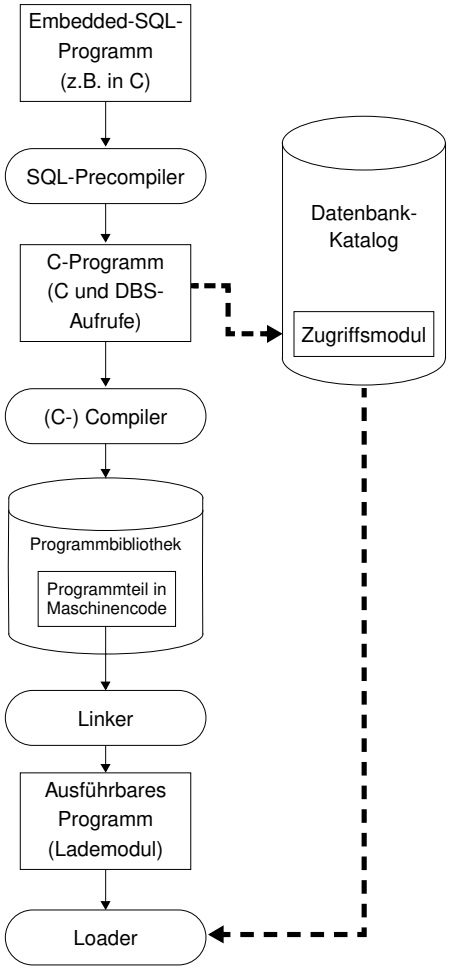
  - **Aufruftechnik**
    DB-Anweisung wird durch expliziten Funktionsaufruf an das Laufzeitsystem des DBS übergeben, z. B.
    CALL DBS (‘open C1’))
    - Es sind prinzipiell keine DBS-spezifischen Vorkehrungen bei der AP-Übersetzung erforderlich!
    - Verschiedene Formen der Standardisierung:
      Call-Level-Interface (CLI), JDBC

- Eingebettetes SQL verlangt **Maßnahmen bei der AP-Übersetzung**
  - typischerweise Einsatz eines Vorübersetzers PC (Precompiler)[1]
  - PC erzeugt für DB-Anweisungen spezielle Call-Aufrufe im AP, so daß das modifizierte AP mit dem Wirtssprachencompiler C übersetzt werden kann

- **Vorbereitung der DB-Anweisung:**
  Was passiert wann?

1. 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



## Aspekte der Anfrageauswertung - zentrale Probleme

- **Deskriptive, mengenorientierte DB-Anweisungen**
  - **Was**-Anweisungen sind in zeitoptimale 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

- **Welche Auswertungstechnik soll gewählt werden?**
  Spektrum von Verfahren mit folgenden Eckpunkten:
  - **Maximale Vorbereitung**
    - Für die DB-Anweisungen von AP wird ein zugeschnittenes Programm (Zugriffsmodul) zur Übersetzungszeit (ÜZ) erzeugt
    - Zur Ausführung einer DB-Anweisung (Laufzeit (LZ)) wird der Zugriffsmodul geladen und abgewickelt. Dabei wird durch Aufrufe des DBVS (genauer: des Zugriffssystems) das Ergebnis ableitet
  - **Keine Vorbereitung**
    - Technik ist typisch für Call-Schnittstellen (dynamisches SQL)
    - Allgemeines Programm (Interpreter) akzeptiert DB-Anweisungen als Eingabe und erzeugt durch Aufrufe des Zugriffssystems Ergebnis

- **Wahl des Bindezeitpunktes**
  - Wann werden die für die Abwicklung einer DB-Anweisung erforderlichen Operationen von DB-Schema abhängig?
  - Übersetzungszeit vs Laufzeit

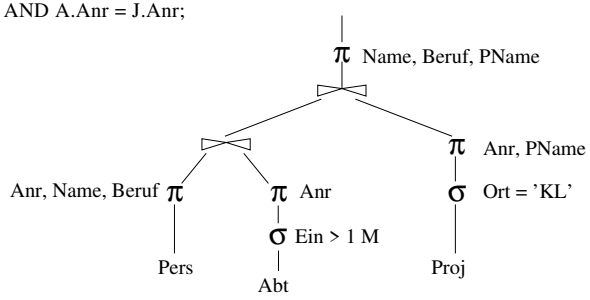
## Aspekte der Anfrageauswertung

- **Problemdarstellung - Beispiel**

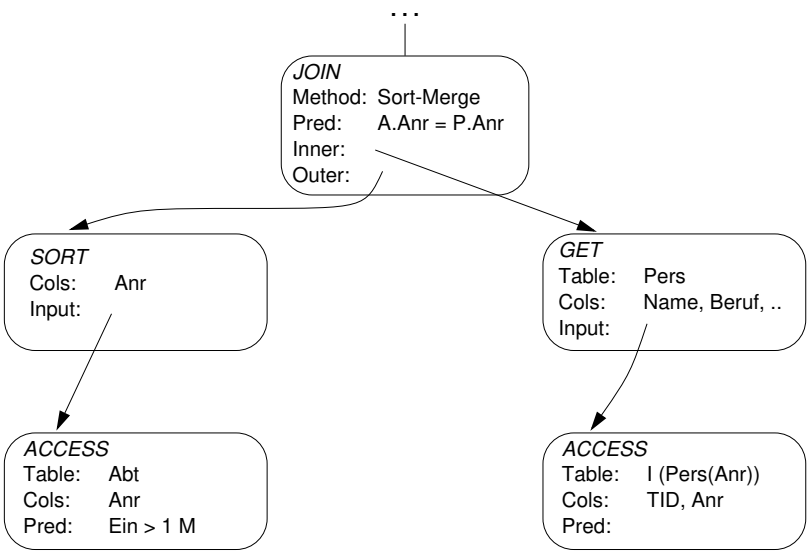
**SQL:**

```
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**
(mit algebraischer Optimierung)




- **Ausschnitt aus einen möglichen Zugriffsplan**






## Auswertung von DB-Anweisungen

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

**1. Lexikalische und syntaktische Analyse**

- Erstellung eines Anfragegraphs (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

**4. Standardisierung und Vereinfachung**

dienen der effektiveren Übersetzung und frühzeitigen Fehlererkennung

- Überführung des AG in eine Normalform
- Elimination von Redundanzen

## Auswertung von DB-Anweisungen (2)

**5. Restrukturierung und Transformation**

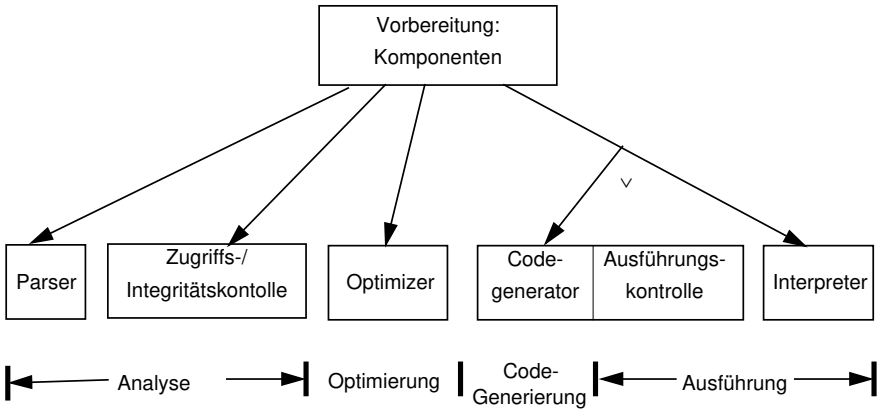
Restrukturierung zielt auf globale Verbesserung des AG ab; bei der Transformation werden ausführbare Operationen eingesetzt

- 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

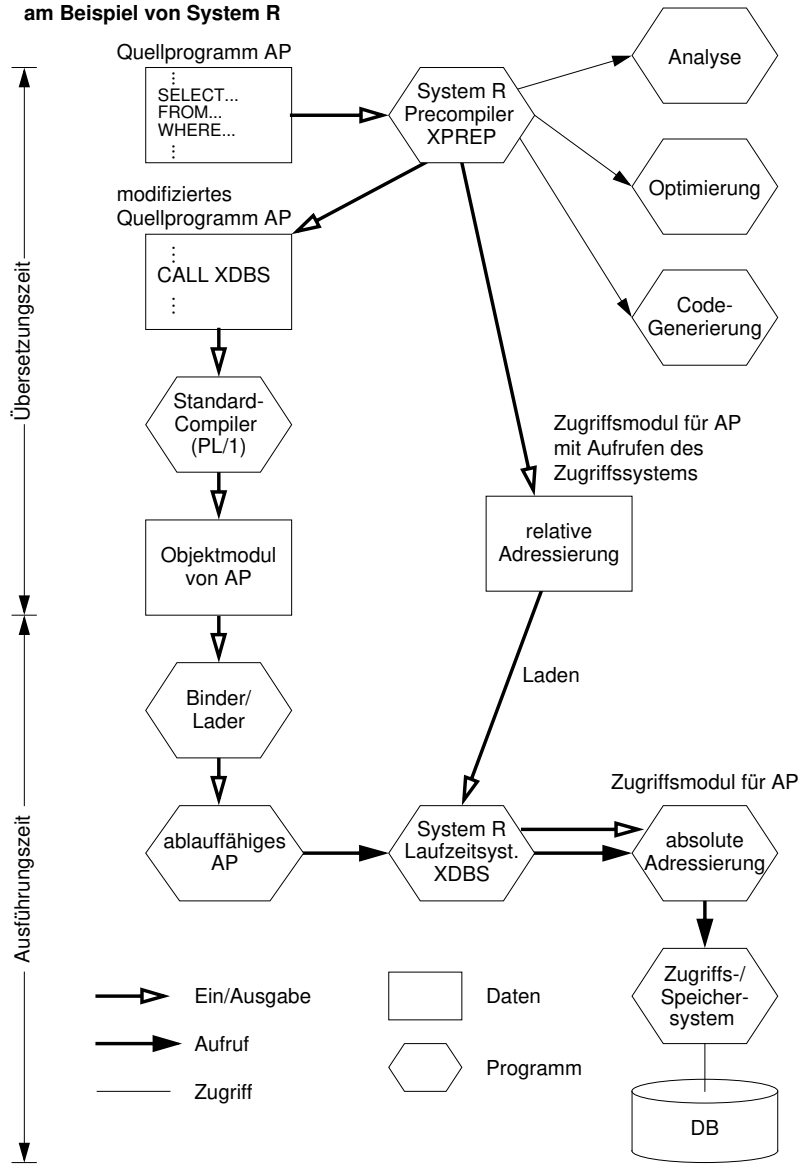
**6. Code-Generierung**

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






## Vorbereitung und Ausführung von DB-Anweisungen



## Auswertung von DB-Anweisungen (3)

- **Verschiedene Ansätze der Vorbereitung einer DB-Anweisung (zur Übersetzungszeit des AP)**
  - keine Vorbereitung
    DB-Anweisung wird aktueller Parameter einer Call-Anweisung im AP
  - Erstellung des Anfragegraphs (1-3)
  - Erstellung eines Zugriffsplans (1-5)
  - Erstellung eines Zugriffsmoduls (1-6)

- **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** |
|---|---|---|---|---|
| **Vorbereitung** | Analyse | Optimierung | Code-Gen. | **Ausführung** |
| Zugriffsmodul | | | | |
| Zugriffsplan | | | | |
| Anfragegraph | | | | |
| keine | | | | |



## Auswertung von DB-Anweisungen (4)

- **Vorbereitung erzeugt Bindung an DB-Schema (Abhängigkeiten!)**

- **Was heißt „Binden“?**

**AP:**

```
SELECT  Pnr, Name, Gehalt
FROM    Pers
WHERE   Beruf = ‘Programmierer‘
```

**DB-Katalog:**

SYSREL:
Tabellenbeschreibungen: Pers, . . .

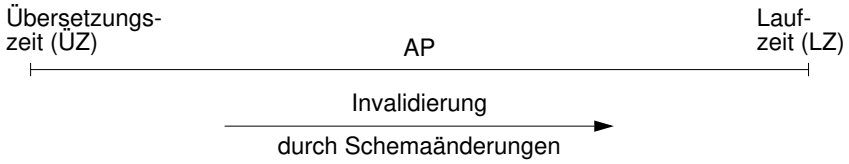
SYSATTR:
Attributbeschreibungen: Pnr, Name, Gehalt, . . .

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!

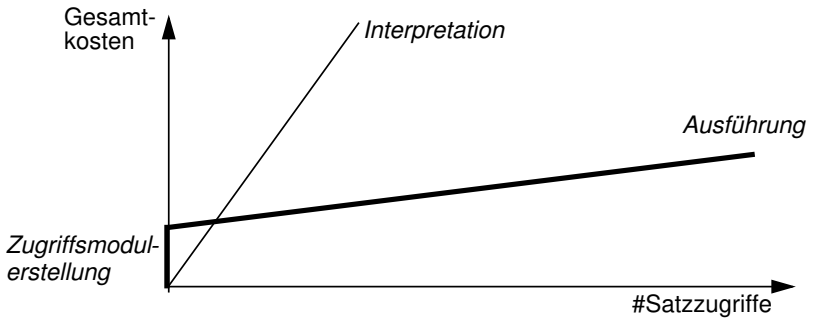
## Auswertung von DB-Anweisungen (5)

- **Maximale Vorbereitung einer DB-Anweisung**
  - aufwendige Optimierung und Erstellung eines Zugriffsmoduls
  - maximale Auswirkungen von Schemaänderungen, welche die DB-Anweisung betreffen
  - Änderungen des DB-Zustandes nach der Übersetzung werden nicht berücksichtigt (neue Zugriffspfade, geänderte Statistiken etc.)

    ➥ Invalidierung des Zugriffsmoduls und erneute Erstellung

- **Mischformen**
  - bestimmte Abhängigkeiten und Bindungen werden vermieden
  - jedoch: Invalidierungsmechanismus prinzipiell erforderlich

- **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






# 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 DBVS

    ➥ **Dynamisches SQL** erlaubt Behandlung solcher Fälle

- **Eigenschaften**
  - Vorbereitung einer SQL-Anweisung kann erst zur Laufzeit beginnen
  - Bindung an das DB-Schema erfolgt zum spätest möglichen Zeitpunkt
    - DB-Operationen beziehen sich stets auf den aktuellen DB-Zustand
    - größte Flexibilität und Unabhängigkeit vom DB-Schema

    ➥ Bindung zur Übersetzungszeit (statisches SQL) muß Möglichkeit der Invalidierung/Neuübersetzung vorsehen

  - Vorbereitung und Ausführung einer SQL-Anweisung
    - erfolgt typischerweise durch Interpretation
    - Leistungsproblem: wiederholte Ausführung derselben Anweisung (DB2 UDB bewahrt Zugriffspläne zur Wiederverwendung im Cache auf)
    - Übersetzung und Code-Generierung ist jedoch prinzipiell möglich!

## Dynamisches SQL (2)

- **Mehrere Sprachansätze**
  - Eingebettetes dynamisches SQL
  - Call-Level-Interface (CLI): kann ODBC-Schnittstelle[1] implementieren
  - Java Database Connectivity[2] (JDBC) ist eine dynamische SQL-Schnittstelle zur Verwendung mit Java (wird nicht behandelt)
    - 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**
  - Übergabe dynamisch berechneter SQL-Anweisungen (LZ)
  - Trennung von Vorbereitung und Ausführung
    - einmalige Vorbereitung mit Parametermarkern (Platzhalter für Parameter)
    - n-malige Ausführung
  - Explizite Bindung von Parametermarkern an Wirtsvariable
    - Variable sind zur ÜZ nicht bekannt!
    - Variablenwert wird zur Ausführungszeit vom Parameter übernommen

1. Die Schnittstelle Open Database Connectivity (ODBC) wird von Microsoft definiert.
2. '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:
  PREPARE, DESCRIBE, EXECUTE und EXECUTE IMMEDIATE

- **SQL-Anweisungen werden vom Compiler wie Zeichenketten behandelt**
  - Deklaration DECLARE STATEMENT
  - Anweisungen enthalten Parametermarker (?) 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)

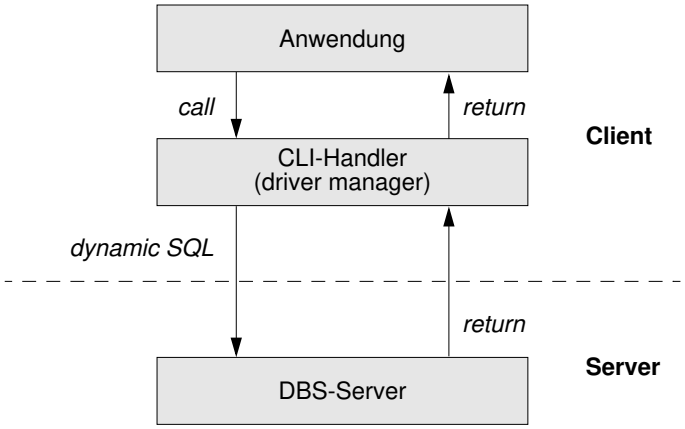
```
Anweisung = 'INSERT INTO Pers VALUES (?, ?, ...)';
exec sql prepare SQLanw from :Anweisung;
exec sql allocate descriptor 'Eingabeparameter';
exec sql describe input SQLanw into sql descriptor 'Eingabeparameter';
exec sql get descriptor 'Eingabeparameter' :n = COUNT;
for (i = 1; i < n; i ++)
  {
  exec sql get descriptor 'Eingabeparameter'
        value :i, :t = type, ...;
  exec sql set descriptor 'Eingabeparameter'
        value :i, data = :d, indicator = :ind;
  }
  exec sql execute SQLanw
        using sql descriptor 'Eingabeparameter';
```

## Call-Level-Interface

- **Spezielle Form von dynamischem SQL**
  - Schnittstelle ist als Sammlung von über 40 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 Source-Code bereitgestellt werden
    - Wichtig zur Realisierung von kommerzieller AW-Software bzw. Tools

    ➥ Schnittstelle wird sehr häufig im der Praxis eingesetzt!

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



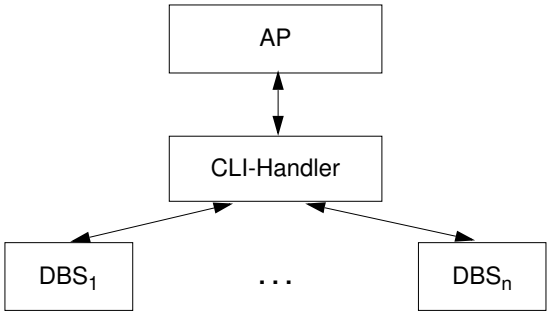



## Call-Level-Interface (2)

- **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, 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 gesicherte Prozeduren 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 für ein AP durch die CLI-Implementierung verwaltet wird
  - gestattet Austausch von Verarbeitungsinformationen



## Call-Level-Interface (4)

- **4 Arten von Handles**
  - **Umgebungskennung** repräsentiert den globalen Zustand der Applikation
  - **Verbindungskennung**
    - separate Kennung: n Verbindungen zu einem oder mehreren DBS
    - Freigabe/Rücksetzen von Transaktionen
    - Steuerung von Transaktionseigenschaften (Isolationsgrad)
  - **Anwendungskennung**
    - mehrfache Definition auch mehrfache Nutzung
    - Ausführungszustand einer SQL-Anweisung; sie faßt Informationen zusammen, die bei statischem SQL in SQLCA, SQLDA und Cursorn 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) ;
}
```



## 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)

## 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 proc1 ( )
    {
    BEGIN
    INSERT INTO Pers VALUES (...);
    INSERT INTO Abt VALUES (...);
    END;
    }
    ```

  - Aufruf aus AWP

    ```
    . . .
    EXEC SQL CALL proc1 ( );
    . . .
    ```

- **Vorteile**

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



## SQL/PSM – Prozedurale Spracherweiterungen

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

# Zusammenfassung

- **Schemaevolution**
  Änderung/Erweiterung von Spalten, Tabellen, Integritätsbedingungen, ...
- **Sichtenkonzept**
  - Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit
  - Flexibler Datenschutz
  - Erhöhte Datenunabhängigkeit
  - Rekursive Anwendbarkeit
  - Eingeschränkte Aktualisierungsmöglichkeiten
- **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 Pre-Compiler
  - relativ einfache Programmierung
  - Aufbau aller SQL-Befehle muß zur Übersetzungszeit festliegen
  - es können zur Laufzeit nicht verschiedene Datenbanken dynamisch angesprochen werden



# Zusammenfassung (2)

- **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
- **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 ($\rightarrow$ einfacheres Debugging)
- **PSM**
  - zielt auf Leistungsverbesserung vor allem in Client/Server-Umgebung ab
  - erhöht die Verarbeitungsmächtigkeit des DBS

## Verwaltung von Verbindungen

- **Zugriff auf DB erfordert i. allg. zunächst, eine Verbindung herzustellen, vor allem in Client/Server-Umgebungen**
  - Aufbau der Verbindung mit CONNECT, Abbau mit DISCONNECT
  - jeder Verbindung ist eine Session zugeordnet
  - Anwendungen kann Verbindungen (Sessions) zu mehreren Datenbanken offenhalten
  - Umschalten der „aktiven“ Verbindung durch SET CONNECTION

**CONNECT TO** target [AS connect-name] [USER user-name]

**SET CONNECTION** { connect-name | DEFAULT }

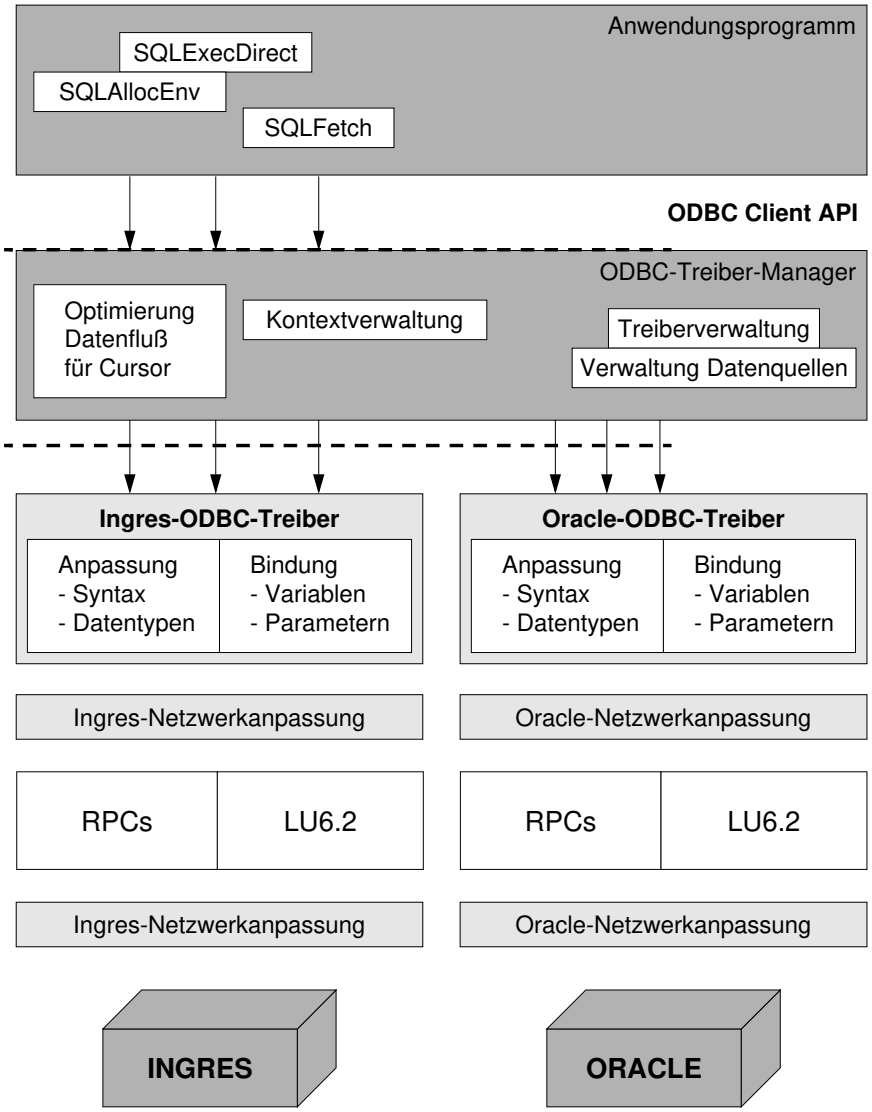
**DISCONNECT** { CURRENT | connect-name | ALL }



## 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
## - ODBC-Architektur -






## 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 = SQLSetConnect Option (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.Abtname
                                 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);
```