Hasso Plattner Institut

IT Systems Engineering | Universität Potsdam

Datenbanksysteme I

Integrität und Trigger

9.5.2011

Felix Naumann

Motivation – Aktive Datenbanken

- Einzufügende Daten können fehlerhaft sein
  - Typographische Fehler, logische Fehler
- Lösung 1: Bessere Anwendung schreiben
  - Aber: Konsistenz und Korrektheit sind schwer zu prüfen (komplexe Bedingungen, abhängig von Daten).
- Lösung 2: Aktive Elemente im DBMS
  - Einmal spezifiziert
  - Ausgeführt wenn nötig
  - „Integritätsbedingungen“ (*integrity constraints*)

Überblick

- Schlüssel und Fremdschlüssel
- Bedingungen auf Attributen und Tupel
- Zusicherungen und Trigger

Schlüssel

Wichtigste Bedingung: Ein oder mehrere Attribute bilden einen Schlüssel.

- Falls S die Schlüsselmenge ist, müssen sich zwei Tupel in mindestens einem Attributwert der Schlüsselmenge unterscheiden.
- Spezifikation im **`CREATE TABLE`** Ausdruck
  - Primärschlüssel: **`PRIMARY KEY`**
  - Schlüssel: **`UNIQUE`**

Primärschlüssel

- Maximal ein Primärschlüssel pro Relation
  - Zwei Tupel müssen sich in mindestens einem Attributwert der Primärschlüsselattribute unterscheiden.
  - Tupel dürfen keinen NULL-Werte in den Primärschlüsselattributen haben.
- Bei einem Attribut: Deklaration direkt in Attributliste
  - ```
    CREATE TABLE Schauspieler(
            Name CHAR(30) PRIMARY KEY,
            Adresse VARCHAR(255),
            Geschlecht CHAR(1),
            Geburtstag DATE);
    ```
- Bei mehreren Attributen: Deklaration nach den Attributen
  - ```
    CREATE TABLE Schauspieler(
            Name CHAR(30),
            Adresse VARCHAR(255),
            Geschlecht CHAR(1),
            Geburtstag DATE,
            PRIMARY KEY (Name, Adresse);
    ```

Sekundärschlüssel

Spezifikation mit **UNIQUE**

- Syntax wie für **PRIMARY KEY**
  - Direkt beim Attribut
  - Als separate Attributliste

Bedeutung etwas anders

- Es darf mehrere **UNIQUE** Deklarationen geben
- **UNIQUE** erlaubt NULL-Werte
  - und NULL ≠ NULL (bzw. UNKNOWN)
  - ⇒ Zwei Tupel können in **UNIQUE** Attributen übereinstimmen (nämlich bei NULL-Werten)
-
```
CREATE TABLE Schauspieler(
    Name CHAR(30),
    Adresse VARCHAR(255),
    Geschlecht CHAR(1),
    Geburtstag DATE UNIQUE,
    UNIQUE (Name, Adresse);
```

Schlüsselbedingungen erzwingen

Schlüsselbedingungen müssen stets gelten.

- Relevant nur bei **`INSERT`** und **`UPDATE`**
  - Bei **`DELETE`** kann nix passieren.
- Effiziente Prüfung mittels Index
  - Deshalb legen DBMS meist automatisch Indizes für Primärschlüsselattribute an.
  - Optional auch für **`UNIQUE`** Attribute
    - **`CREATE UNIQUE INDEX JahrIndex ON Filme(Jahr);`**
    - Wie **`CREATE INDEX JahrIndex ON Filme(Jahr)`**, aber mit neuer **`UNIQUE`** Bedingung auf Jahr.
  - Bei Einfügen oder Ändern: Prüfen ob neuer Schlüsselwert bereits vorhanden ist.
- Ineffiziente Prüfung (falls kein Index vorhanden ist)
  - Binäre Suche falls Daten sortiert sind
  - Sequentielle Suche sonst

Fremdschlüssel

Werte in bestimmten Attributen sollen „sinnvoll“ sein.

- Z.B.: Der Attributwert für ProduzentID sollte auf einen bestimmten, vorhandenen Manager verweisen.
- Referentielle Integrität – *dangling tuples*
- Ein Attribut oder eine Attributmenge kann als **`FOREIGN KEY`** deklariert werden, die eine entsprechende Attributmenge einer zweiten Relation referenziert.
  - Die referenzierte Attributmenge muss **`UNIQUE`** oder **`PRIMARY KEY`** sein.
  - Gemeinsame Werte der Fremdschlüsselattribute müssen als gemeinsame Werte des referenzierten Schlüssels auftauchen.
- Ausnahme: Ein Fremdschlüssel darf den Wert NULL annehmen
  - Das Schlüsselattribut muss nicht einen NULL-Wert besitzen (und darf es meist auch nicht).

Fremdschlüssel

Syntax

- Auf einem Attribut:
  - **REFERENCES** *Relation*(*Attribut*)
- Auf mehreren Attributen:
  - **FOREIGN KEY** (*Attribute*) **REFERENCES** *Relation*(*Attribute*)

- Manager(Name, Adresse, ManagerID, Gehalt)
- Studios(Name, Adresse, VorsitzenderID)
  - ```
    CREATE TABLE Studios(
            Name CHAR(30) PRIMARY KEY,
            Adresse VARCHAR(255),
            VorsitzenderID INT REFERENCES Manager(ManagerID));
    ```
  - ```
    CREATE TABLE Studios(
            Name CHAR(30) PRIMARY KEY,
            Adresse VARCHAR(255),
            VorsitzenderID INT,
            FOREIGN KEY (VorsitzenderID) REFERENCES
    Manager(ManagerID));
    ```

Referentielle Integrität erzwingen

Drei Varianten

- Verletzende Änderungen ablehnen (SQL default)
- Kaskadierung
- Null-Werte

Beispiel

- Manager(Name, Adresse, ManagerID, Gehalt)
- Studios(Name, Adresse, VorsitzenderID)
  -
```
CREATE TABLE Studios(
        Name CHAR(30) PRIMARY KEY,
        Adresse VARCHAR(255),
        VorsitzenderID INT REFERENCES
                        Manager(ManagerID));
```

Referentielle Integrität erzwingen

Default: Änderungen ablehnen

- Für jede VorsitzenderID muss es auch einen ManagerID geben.
- **INSERT** Studio mit neuer (nicht-NULL) VorsitzenderID, die nicht in Manager gespeichert ist
  - Abgelehnt
- **UPDATE** eines Studios mit einer neuen VorsitzenderID, die nicht in Manager gespeichert ist
  - Abgelehnt
- **DELETE** eines Manager-Tupels, dessen ManagerID auch eine (oder mehr) VorsitzenderID ist
  - Abgelehnt
- **UPDATE** der ManagerID eines Manager-Tupels, die auch eine (oder mehr) VorsitzenderID ist
  - Abgelehnt

Referentielle Integrität erzwingen

Kaskadierung

- Idee: Änderungen im Schlüssel werden im Fremdschlüssel nachgezogen.
- **INSERT** Studio mit neuer (nicht-NULL) VorsitzenderID, die nicht in Manager gespeichert ist
  - Abgelehnt
- **UPDATE** eines Studios mit einer neuen VorsitzenderID, die nicht in Manager gespeichert ist
  - Abgelehnt
- **DELETE** eines Manager-Tupels, dessen ManagerID auch eine (oder mehr) VorsitzenderID ist
  - OK, aber alle abhängigen Studios werden ebenfalls gelöscht.
- **UPDATE** der ManagerID eines Manager-Tupels, die auch eine (oder mehr) VorsitzenderID ist
  - OK, die VorsitzenderIDs in Studios werden ebenfalls geändert.

Referentielle Integrität erzwingen

NULL setzen

- Idee: Bei Änderungen im Schlüssel wird der Wert des Fremdschlüssels auf NULL gesetzt.
- **INSERT** Studio mit neuer (nicht-NULL) VorsitzenderID, die nicht in Manager gespeichert ist
  - Abgelehnt
- **UPDATE** eines Studios mit einer neuen VorsitzenderID, die nicht in Manager gespeichert ist
  - Abgelehnt
- **DELETE** eines Manager-Tupels, dessen ManagerID auch eine (oder mehr) VorsitzenderID ist
  - OK, aber VorsitzenderID aller abhängigen Studios werden auf NULL gesetzt.
- **UPDATE** der ManagerID eines Manager-Tupels, die auch eine (oder mehr) VorsitzenderID ist
  - OK, aber die VorsitzenderIDs in Studios werden auf NULL gesetzt.

Referentielle Integrität erzwingen

SQL Syntax

- Vorgehensweise kann individuell spezifiziert werden
-
```
CREATE TABLE Studios(
    Name CHAR(30) PRIMARY KEY,
    Adresse VARCHAR(255),
    VorsitzenderID INT REFERENCES Manager(ManagerID)
        ON DELETE SET NULL
        ON UPDATE CASCADE
);
```
  - „Vorsichtige“ Strategie
    - Studios werden nicht gelöscht
    - Studios behalten falls möglich ihren Vorsitzenden.

Integritätschecks verschieben

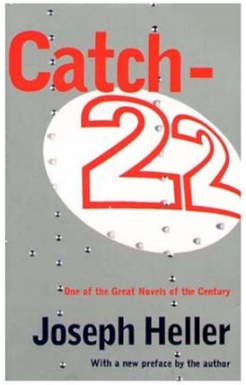
Es ist nicht immer möglich, Tupel einzufügen, die der referentiellen Integrität gehorchen.

- **INSERT INTO Studios**
  VALUES (‚Redlight‘, ‚New York‘, 23456);
  - Problem: Manager 23456 wurde (noch) nicht angelegt
- **INSERT INTO Studios(Name, Adresse)**
  VALUES (‚Redlight‘, ‚New York‘);
  - OK, da NULL-Werte nicht auf referentielle Integrität geprüft werden müssen.
  - Später dann (nach Einfügen des Managertupels):
    UPDATE Studios SET VorsitzenderID = 23456
    WHERE Name = ‚Redlight‘;
- Bessere Lösung: Erst den Manager, dann das Studio einfügen.

Integritätschecks verschieben

Es kann zyklische referentielle Integritätsbedingungen geben.

- Manager sind nur Vorsitzende von Studios
  - ManagerID ist Fremdschlüssel und referenziert VorsitzenderID.
- Es kann nach wie vor kein Studio ohne vorhandenes Managertupel eingefügt werden.
- Es kann nun auch kein Manager ohne vorhandenes Studio eingefügt werden.
- Catch 22!
- Lösung
  - Mehrere Änderungsoperationen zu einer „Transaktion“ zusammenfassen (mehr später: „Transaktionsmanagement“)
  - Integritätschecks bis ans Ende der Transaktion verschieben



Integritätschecks verschieben

- Jeder Constraint kann als **DEFERRABLE** oder **NOT DEFERRABLE** deklariert werden.
- **NOT DEFERRABLE** ist default
  - Bei jeder Änderung der Datenbank wird die Bedingung geprüft.
- **DEFERRABLE**
  - **INITIALLY DEFERRED**:
    - Verschieben ans Ende der Anfrage
    - oder bis wir Verschiebung aufheben
  - **INITIALLY IMMEDIATE**
    - Zunächst nichts verschieben, bis wir Verschiebung verlangen.
- **CREATE TABLE Studios(**

```
Name CHAR(30) PRIMARY KEY,
Adresse VARCHAR(255),
VorsitzenderID INT UNIQUE REFERENCES
                                Manager(ManagerID)
        DEFERRABLE INITIALLY DEFERRED
);
```

Überblick

- Schlüssel und Fremdschlüssel
- Bedingungen auf Attributen und Tupel
- Zusicherungen und Trigger

Weitere Arten der Nebenbedingungen

- Verbieten Annahme bestimmter Werte
  - Bedingungen auf einzelnen Attributen
    - **`NOT NULL`**
    - **`CHECK`**
  - Bedingungen für ganze Tupel, also auf das Schema
    - **`CHECK`**

NOT NULL


```
CREATE TABLE Studios(
    Name CHAR(30) PRIMARY KEY,
    Adresse VARCHAR(255) NOT NULL,
    VorsitzenderID INT NOT NULL
        REFERENCES Manager(ManagerID)
        ON UPDATE CASCADE
);
```

- Einfügen eines Studios ohne Manager ist nicht mehr möglich.
- Jedes Studio muss eine Adresse haben.
- Die Null-Werte Strategie beim Löschen von Managern ist nicht mehr möglich.

Attribut-basierte CHECK Bedingungen

Verfeinerung der erlaubten Werte für ein Attribut durch Spezifikation einer Bedingung.

- Bedingung beliebig komplex
  - Wie WHERE Klausel
  - Oder sogar als SFW Anfrage
- i.d.R. aber eine einfache Einschränkung der Werte
- CHECK wird geprüft falls ein Attribut einen neuen Wert erhält
  - INSERT
  - UPDATE
- Falls ungültig, scheitert die Änderung

Attribut-basierte CHECK Bedingungen


```
CREATE TABLE Studios(
    Name CHAR(30) PRIMARY KEY,
    Adresse VARCHAR(255) NOT NULL,
    VorsitzenderID INT
           REFERENCES Manager(ManagerID)
           CHECK (VorsitzenderID >= 100000)
    );
```

```
CREATE TABLE Schauspieler (
    Name CHAR(30),
    Adresse VARCHAR(255),
    Geschlecht CHAR(1) CHECK (Geschlecht IN (‚W‘, ‚M‘)),
    Geburtstag DATE );
```

Attribut-basierte CHECK Bedingungen

CHECK Bedingung darf sich auch auf andere Attribute beziehen.

- Nur im Zusammenhang mit einer SQL Anfrage
- ```
  CREATE TABLE Studios(
      Name CHAR(30) PRIMARY KEY,
      Adresse VARCHAR(255) NOT NULL,
      VorsitzenderID INT CHECK (
          VorsitzenderID IN
              (SELECT ManagerID FROM Manager))
      );
  ```
- Simuliert referentielle Integrität
  - Was kann schief gehen?
- UPDATE und INSERT auf der Studios Relation
  - CHECK wird geprüft
- DELETE auf der Manager Relation
  - CHECK wird nicht geprüft; CHECK Bedingung wird ungültig
- D.h.: Andere Relationen kennen diese CHECK Bedingung nicht.
  ```

Tupel-basierte CHECK Bedingungen

Bedingungen können auch für ganze Tupel deklariert werden.

- Wie Primär- und Fremdschlüsselbedingungen kann auch einen CHECK Bedingung in der Liste der Attribute auftauchen.
- Ebenso wie bei Attribut-basierten CHECKs: Beliebige Bedingungen wie eine WHERE Klausel.
- Wird geprüft bei jedem INSERT und jedem UPDATE eines Tupels.
-
```
CREATE TABLE Schauspieler (
    Anrede CHAR(10),
    Name CHAR(30) PRIMARY KEY,
    Adresse VARCHAR(255),
    Geschlecht CHAR(1) CHECK (Geschlecht IN (‚W‘, ‚M‘)),
    Geburtstag DATE,
    CHECK (Geschlecht = ‚W‘ OR Anrede NOT LIKE ‚Frau%‘ );
```
  - Typischer Aufbau einer Bedingung wenn wir mehrere Eigenschaften gemeinsam verbieten wollen (Männlich und Name beginnt mit „Frau…“)

Tupel-basierte CHECK Bedingungen

- Wird nicht geprüft falls eine andere (oder sogar die gleiche) Relation in einer Subanfrage der CHECK Bedingung erwähnt wird und diese eine Änderung erfährt.
  - D.h.: Andere Relationen kennen diese CHECK Bedingung nicht.
  - Solche Probleme gibt es bei ASSERTIONS nicht. Deshalb komplexe Bedingungen lieber als ASSERTION deklarieren,
    - oder (realistischer) in die Anwendungslogik stecken.

Bedingungen ändern

Zur Änderung von Bedingungen müssen Namen vergeben werden.

-
```
CREATE TABLE Schauspieler (
    Anrede CHAR(19),
    Name CHAR(30) CONSTRAINT NamePrimaer PRIMARY KEY,
    Adresse VARCHAR(255),
    Geschlecht CHAR(1) CONSTRAINT NichtGeschlechtslos
        CHECK (Geschlecht IN (‚W‘, ‚M‘)),
    Geburtstag DATE,
    CONSTRAINT AnredeKorrekt
        CHECK (Geschlecht = ‚W‘ OR Anrede NOT LIKE
                ‚Frau%‘ );
```
- Meist vergeben DBMS sowieso interne (aber hässliche) Namen.

Bedingungen ändern

- `SET CONSTRAINT MyConstraint DEFERRED;`
- `SET CONSTRAINT MyConstraint IMMEDIATE;`
- Entfernen
  - `ALTER TABLE Schauspieler DROP CONSTRAINT NamePrimaer;`
  - `ALTER TABLE Schauspieler DROP CONSTRAINT NichtGeschlechtslos;`
  - `ALTER TABLE Schauspieler DROP CONSTRAINT AnredeKorrekt;`
- Hinzufügen
  - `ALTER TABLE Schauspieler ADD CONSTRAINT NamePrimaer PRIMARY KEY (Name);`
  - `ALTER TABLE Schauspieler ADD CONSTRAINT NichtGeschlechtslos CHECK (Geschlecht IN (‚W‘, ‚M‘));`
  - `ALTER TABLE Schauspieler ADD CONSTRAINT AnredeKorrekt CHECK (Geschlecht = ‚W‘ OR name NOT LIKE ‚Frau%‘ );`
  - Diese Bedingungen sind nun alle Tupel-basiert.
  - Attribut-basierte Bedingungen können nicht nachträglich eingefügt werden.

Überblick

- Schlüssel und Fremdschlüssel
- Bedingungen auf Attributen und Tupel
- Zusicherungen und Trigger

Motivation

Bedingungen sollen sich nicht auf bestimmte Tupel beziehen, sondern auf Schemaebene definiert werden (wie Relationen und Sichten).

- Assertion (Zusicherungen)
  - Boole'scher SQL Ausdruck, der stets wahr sein muss
  - Einfache Handhabung für Admin
  - Schwierig, effizient zu implementieren
- Trigger („Auslöser")
  - Aktionen, die bei bestimmten Ereignissen (INSERTs, …) ausgelöst werden
  - Leichter zu implementieren

Assertions

CREATE ASSERTION Name **CHECK** (Bedingung)

- Bedingung muss bei Erzeugung der Assertion bereits gelten.
- Bedingung muss stets gelten; Änderungen, die die Assertion falsch machen, werden abgewiesen.
  - CHECK Bedingung können hingegen falsch werden!
- Zur Formulierung
  - Kein direkter Bezug zu Relationen, deshalb müssen Attribute und Relationen in einer SQL Anfrage eingeführt werden.
- Löschen
  - **DROP ASSERTION Name;**

Assertions – Beispiel

- Manager(Name, Adresse, ManagerID, Gehalt)
- Studios(Name, Adresse, VorsitzenderID)
- Vorsitzende von Studios müssen mindestens 1.000.000 verdienen.
- ```
  CREATE ASSERTION ReicheVorsitzende CHECK
      (NOT EXISTS
              (SELECT *
               FROM Studios, Manager
               WHERE ManagerID = VorsitzenderID
               AND Gehalt < 1000000)
      );
  ```
- Alternative:
  - ```
    CREATE TABLE Studios(
              Name CHAR(30) PRIMARY KEY,
              Adresse VARCHAR(255) NOT NULL,
              VorsitzenderID INT REFERENCES Manager(ManagerID),
              CHECK ( VorsitzenderID NOT IN
                      (SELECT ManagerID FROM Manager
                       WHERE Gehalt < 1000000))
              );
    ```
- Was ist der Unterschied?
  - Änderungen der Manager Relation (Gehalt sinkt) werden nicht erkannt.

Assertions – Beispiel

- Filme(Titel, Jahr, Länge, inFarbe, StudioName, ProduzentID)
-
```
CREATE ASSERTION SummeLaenge CHECK
    (10000 <= ALL
           (SELECT SUM(Länge) FROM Filme
            GROUP BY StudioName)
    );
```
- Ein Studio muss mindestens 10,000 Minuten Filmmaterial haben
- Alternative beim Schema für Filme
  -
```
CHECK  (10000 <= ALL
           (SELECT SUM(Länge) FROM Filme
            GROUP BY StudioName)
```
- Unterschied?
  - Beim Löschen eines Films wird die Bedingung nicht geprüft.
  - Beim Studiowechsel eines Films wird die Bedingung nicht geprüft.

Unterschiede der CHECK Bedingungen

Constraint-Art	**Wo spezifiziert?**	**Wann geprüft?**	**Gilt immer?**
Attribut-basiertes **`CHECK`**	Beim Attribut	Bei **`INSERT`** in Relation oder **`UPDATE`** des Attributs	Nein, falls Subanfragen verwendet werden.
Tupel-basiertes **`CHECK`**	Teil des Relationen-schemas	Bei **`INSERT`** oder **`UPDATE`** eines Tupels	Nein, falls Subanfragen verwendet werden.
Assertion	Teil des Datenbank-schemas	Beliebige Änderung auf einer erwähnten Relation	Ja

Trigger

- Auch: *Event-Condition-Action Rules (ECA-Rules)*
- Unterschiede zu Zusicherungen
  - Gelten nicht immer, sondern werden bei bestimmten Ereignissen (**`INSERT, UPDATE, DELETE`**, Ende einer Transaktion) ausgeführt.
  - Ein Ereignis wird nicht direkt verhindert, es wird lediglich ein bestimmte Bedingung geprüft.
    - Falls falsch, passiert nichts weiter
  - Falls wahr, wird eine Aktion ausgeführt. Die Aktion könnte das Ereignis verhindern oder rückgängig machen. Oder auch etwas völlig anderes tun.

Trigger in SQL

Eigenschaften

- Ausführung der Aktion vor oder nach dem Ereignis
- Die Aktion kann sich auf alte und/oder neue Werte von Tupeln beziehen, die beim Ereignis eingefügt, verändert oder gelöscht werden.
- Mit **`WHEN`** können neben dem Ereignis auch weitere Bedingungen angegeben werden, die gelten müssen um die Aktion durchzuführen.
- Aktion wird durchgeführt
  - Einmal für jedes veränderte Tupel oder
  - einmalig für alle Tupel, die verändert wurden

Trigger – Beispiel


```
CREATE TRIGGER GehaltsTrigger
AFTER UPDATE OF Gehalt ON Manager
REFERENCING
    OLD ROW AS AltesTupel,
    NEW ROW AS NeuesTupel
FOR EACH ROW
WHEN (AltesTupel.Gehalt > NeuesTupel.Gehalt)
    UPDATE Manager
    SET Gehalt = AltesTupel.Gehalt
    WHERE ManagerID = NeuesTupel.ManagerID;
```

Name des Triggers

Ereignis

Für jedes Tupel einmal durchführen

Bedingung (condition)

Aktion

Nur betroffenes Tupel

- Was bewirkt der Trigger?
  - Managergehälter werden nicht gesenkt!
  - Rekursionsverhalten ist DBMS-Hersteller-spezifisch.

Trigger – Alternativen


```
CREATE TRIGGER GehaltsTrigger
AFTER UPDATE OF Gehalt ON Manager
REFERENCING
    OLD ROW AS AltesTupel,
    NEW ROW AS NeuesTupel
FOR EACH ROW
WHEN (AltesTupel.Gehalt > NeuesTupel.Gehalt)
    UPDATE Manager
    SET Gehalt = Alte
    WHERE ManagerID = NeuesTupel.ManagerID;
```

BEFORE

INSERT / DELETE (ohne OF…)

Bei **INSERT** nicht erlaubt

Bei **DELETE** nicht erlaubt

Default: **FOR EACH STATEMENT**
Dann: OLD TABLE / NEW TABLE

WHEN ist optional

Auch mehrere SQL Ausdrücke (**BEGIN … END**)

Trigger - Beispiel


```
CREATE TRIGGER DurchschnittsgehaltTrigger
AFTER UPDATE OF Gehalt ON Manager
REFERENCING
    OLD TABLE AS AlteTupel
    NEW TABLE AS NeueTupel
FOR EACH STATEMENT
WHEN (500000 > (SELECT AVG(Gehalt) FROM Manager))
BEGIN
    DELETE FROM Manager
    WHERE (Name, Adresse, ManagerID, Gehalt) IN NeueTupel;
    INSERT INTO Manager
            (SELECT * FROM AlteTupel)
END;
```

Enthält nur die alten bzw. neuen Tupel.

Wird nach dem UPDATE geprüft-

- Was bewirkt dieser Trigger?
  - Das Durchschnittsgehalt von Managern soll nicht unter 500,000 sinken!
  - Je ein Trigger für **UPDATE**, **INSERT** und **DELETE** nötig.

Zusammenfassung

- Schlüssel
  - **`UNIQUE`**, **`PRIMARY KEY`**, **`NOT NULL`**
- Referentielle Integrität
  - **`REFERENCES`**, **`FOREIGN KEY`**
- Attribut-basiertes **`CHECK`**
- Tupel-basiertes **`CHECK`**
- Zusicherungen (Datenbank-basiertes **`CHECK`**)
  - **`ASSERTION`**
- Trigger