



**Hasso  
Plattner  
Institut**

IT Systems Engineering | Universität Potsdam

Datenbanksysteme I  
Integrität und Trigger

12.12.2007

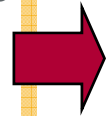
Felix Naumann

# Motivation – Aktive Datenbanken

2

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

3



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



# Schlüssel

4

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

5

- 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

6

## 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  $\text{NULL} \neq \text{NULL}$  (bzw. UNKNOWN)
  - $\Rightarrow$  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

7

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

8

Werte in bestimmten Attributen sollen „sinnvoll“ sein.

- Z.B.: Der Attributwert für ProduzentID sollte auf einen bestimmten, vorhandenen Manager verweisen.
- Referentielle Integrität
- 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

9

## 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

10

## 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

11

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

12

## 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

13

## 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

14

## 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.

## *Dangling Tuples*

15

Tupel, deren Fremdschlüsselwert nicht als Schlüssel in der referenzierten Relation existiert heißen „dangling tuples“.

- Sie verletzen die referentielle Integrität.
- Default Vorgehensweise: Änderungen, die *dangling tuples* erzeugen, sind verboten.
- Kaskadierung: **DELETE** oder **UPDATE** von *dangling tuples*
- NULL-Wert: Fremdschlüssel jedes *dangling tuples* auf NULL setzen.

# Integritätschecks verschieben

16

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

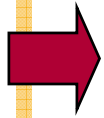
17

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 im nächsten Semester)
  - Integritätschecks bis ans Ende der Transaktion verschieben



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



# Weitere Arten der Nebenbedingungen

20

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

# NOT NULL

21

- **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

22

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

23

- ```
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

24

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

25

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 (**  
    **Name CHAR(30) PRIMARY KEY,**  
    **Adresse VARCHAR(255),**  
    **Geschlecht CHAR(1) CHECK (Geschlecht IN (,W`, ,M`)),**  
    **Geburtstag DATE,**  
    **CHECK (Geschlecht = ,W` OR name NOT LIKE ,Frau%` ) ;**  
- Typischer Aufbau einer Bedingung wenn wir mehrere Eigenschaften gemeinsam verbieten wollen (Männlich und Name beginnt mit „Frau...“)

# Tupel-basierte CHECK Bedingungen

26

- 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 in die Anwendungslogik stecken.

# Bedingungen ändern

27

Zur Änderung von Bedingungen müssen Namen vergeben werden.

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

# Bedingungen ändern

28

- `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.

29

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



# Motivation

30

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

31

## **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

32

- 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

33

- 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 10000 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.

# Unterschiede der CHECK Bedingungen

34

| Constraint-Art           | Wo spezifiziert?           | Wann geprüft?                                                  | Gilt immer?                               |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Attribut-basiertes CHECK | Beim Attribut              | Bei <b>INSERT</b> in Relation oder <b>UPDATE</b> des Attributs | Nein, falls Subanfragen verwendet werden. |
| Tupel-basiertes CHECK    | Teil des Relationenschemas | Bei <b>INSERT</b> oder <b>UPDATE</b> eines Tupels              | Nein, falls Subanfragen verwendet werden. |
| Assertion                | Teil des Datenbankschemas  | Beliebige Änderung auf einer erwähnten Relation                | Ja                                        |

# Trigger

35

- 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

36

## 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

37

```

■ 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

■ Managergehälter werden nicht gesenkt!

Nur betroffenes Tupel

# Trigger – Alternativen

38

```

■ 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;

```

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)

- Managergehälter werden nicht gesenkt!

# Trigger - Beispiel

39

- **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-
- Das Durchschnittsgehalt von Managern soll nicht unter 500000 sinken!
  - Je ein Trigger für UPDATE, INSERT und DELETE nötig.

# Zusammenfassung

40

- Schlüssel
  - **UNIQUE, PRIMARY KEY**
- Referentielle Integrität
  - **REFERENCES, FOREIGN KEY**
- Attribut-basiertes **CHECK**
- Tupel-basiertes **CHECK**
- Zusicherungen (Datenbank-basiertes **CHECK**)
  - **ASSERTION**
- Trigger