



Skript zur Vorlesung
Datenbanksysteme I
Wintersemester 2017/2018

Kapitel 2: Das Relationale Modell

Vorlesung: Prof. Dr. Christian Böhm

Übungen: Dominik Mautz

Skript © 2017 Christian Böhm

<http://dmm.dbs.ifi.lmu.de/dbs>



Charakteristika

- Einführungskapitel:
Viele Informationen darstellbar als Tabelle
- Die Tabelle (Relation) ist das ausschließliche Strukturierungsmittel des relationalen Datenmodells
- Edgar F. Codd, 1970.
A relational model of data for large shared data banks. Comm. of the ACM 13.06.1970
- Grundlage vieler kommerzieller und freier DBS:

ORACLE®



DB2 / Informix





Domain

- Ein Wertebereich (oder Typ)
- Logisch zusammengehörige Menge von Werten
- Beispiele:
 - $D_1 = \text{Integer}$
 - $D_2 = \text{String}$
 - $D_3 = \text{Date}$
 - $D_4 = \{\text{rot, gelb, grün, blau}\}$
 - $D_5 = \{1, 2, 3\}$
- Kann *endliche* oder *unendliche* Kardinalität $|\dots|$ haben:
 - $|D_4| = 4$; $|D_5| = 3$;
 - $|D_1| = \text{unendlich}$; ebenso $|D_2|$ und $|D_3|$.



Kartesisches Produkt

- Bedeutung kartesisches Produkt (Kreuzprodukt) von k Mengen?

Menge von allen möglichen Kombinationen der Elemente der Mengen

- Beispiel ($k = 2$):

$$D_1 = \{1, 2, 3\}, D_2 = \{a, b\}$$

$$D_1 \times D_2 = \{(1,a), (1,b), (2,a), (2,b), (3,a), (3,b)\}$$

- Beispiel ($k = 3$):

$$D_1 = D_2 = D_3 = \mathcal{N}$$

$$D_1 \times D_2 \times D_3 = \{(1,1,1), (1,1,2), (1,1,3), \dots, (1,2,1), \dots\}$$



Relation in der Mathematik

- Mathematische Definition:
Relation R ist Teilmenge des kartesischen Produktes von k Domains D_1, D_2, \dots, D_k

$$R \subseteq D_1 \times D_2 \times \dots \times D_k$$

- Beispiel ($k = 2$):
 $D_1 = \{1, 2, 3\}, D_2 = \{a, b\}$

$$R_1 = \{\} \text{ (leere Menge)}$$

$$R_2 = \{(1, a), (2, b)\}$$

$$R_3 = \{(1, a), (2, a), (3, a)\}$$

$$R_4 = D_1 \times D_2 = \{(1, a), (1, b), (2, a), (2, b), (3, a), (3, b)\}$$



Relation in der Mathematik

- Weiteres Beispiel:

$$D_1 = D_2 = \mathcal{N}$$

$$\text{Relation } R_1 = \{(1,1),(1,2),(1,3),\dots,(2,2),(2,3),\dots, \\ (3,3),(3,4),\dots(4,4),(4,5),(4,6),\dots\}$$

Wie heißt diese mathematische Relation?

$$\leq \quad R_1 = \{(x, y) \in \mathcal{N} \times \mathcal{N} \mid x \leq y\}$$

- Es gibt endliche und unendliche Relationen
(wenn mindestens eine Domain unendlich ist).
- In Datenbanksystemen: Nur endliche Relationen
Unendlich: Nicht darstellbar .
- Die Anzahl der Tupel einer Relation heißt *Kardinalität* $|\dots|$



Relation in der Mathematik

- Die einzelnen Domains lassen sich als **Spalten einer Tabelle** verstehen und werden als **Attribute** bezeichnet
- Für $R \subseteq D_1 \times \dots \times D_k$ ist k der **Grad (Stelligkeit)**
- Die Elemente der Relation heißen Tupel:
(1,a), (2,a), (3,a) sind drei Tupel vom Grad $k = 2$
- Relation ist Menge von Tupeln
d.h. die Reihenfolge der Tupel **spielt keine Rolle**:
 $\{(0,a), (1,b)\} = \{(1,b), (0,a)\}$
- Reihenfolge der Attribute ist von Bedeutung:
 $\{(a,0), (b,1)\} \neq \{(0,a), (1,b)\}$



Relationen-Schema

Alternative Definition in DBS:

Relation ist Ausprägung eines **Relationen-Schemas**.

- Geordnetes Relationenschema:
 - k -Tupel aus Domains (Attribute)
 - Attribute werden anhand ihrer **Position** im Tupel referenziert
 - Attribute können zusätzlich einen Attributnamen haben

$$R = (A_1: D_1, \dots A_k: D_k)$$

- Domänen-Abbildung (ungeordnetes Rel.-Sch.):
 - Relationenschema R ist **Menge** von Attributnamen:
 - Jedem Attributnamen A_i ist Domäne D_i zugeordnet:
 - Attribute werden anhand ihres **Namens** referenziert

$$R = \{A_1, \dots A_k\} \text{ mit } \text{dom}(A_i) = D_i, 1 \leq i \leq k$$



Relationen-Schema

- Beispiel: Städte-Relation

Städte	Name	Einwohner	Land
	München	1.211.617	Bayern
	Bremen	535.058	Bremen
	Passau	49.800	Bayern

- Als geordnetes Relationenschema:

Schema: $R = (\text{Name: String, Einwohner: Integer, Land: String})$

Ausprägung: $r = \{(\text{München}, 1.211.617, \text{Bayern}), (\text{Bremen}, 535.058, \text{Bremen}), (\text{Passau}, 49.800, \text{Bayern})\}$

- Als Relationenschema mit Domänenabbildung:

Schema: $R = \{\text{Name, Einwohner, Land}\}$

mit $\text{dom}(\text{Name}) = \text{String}$, $\text{dom}(\text{Einwohner}) = \text{Integer}$, ...

Ausprägung: $r = \{t_1, t_2, t_3\}$

mit $t_1(\text{Name}) = \text{München}$, $t_1(\text{Einwohner}) = 1.211.617, \dots$



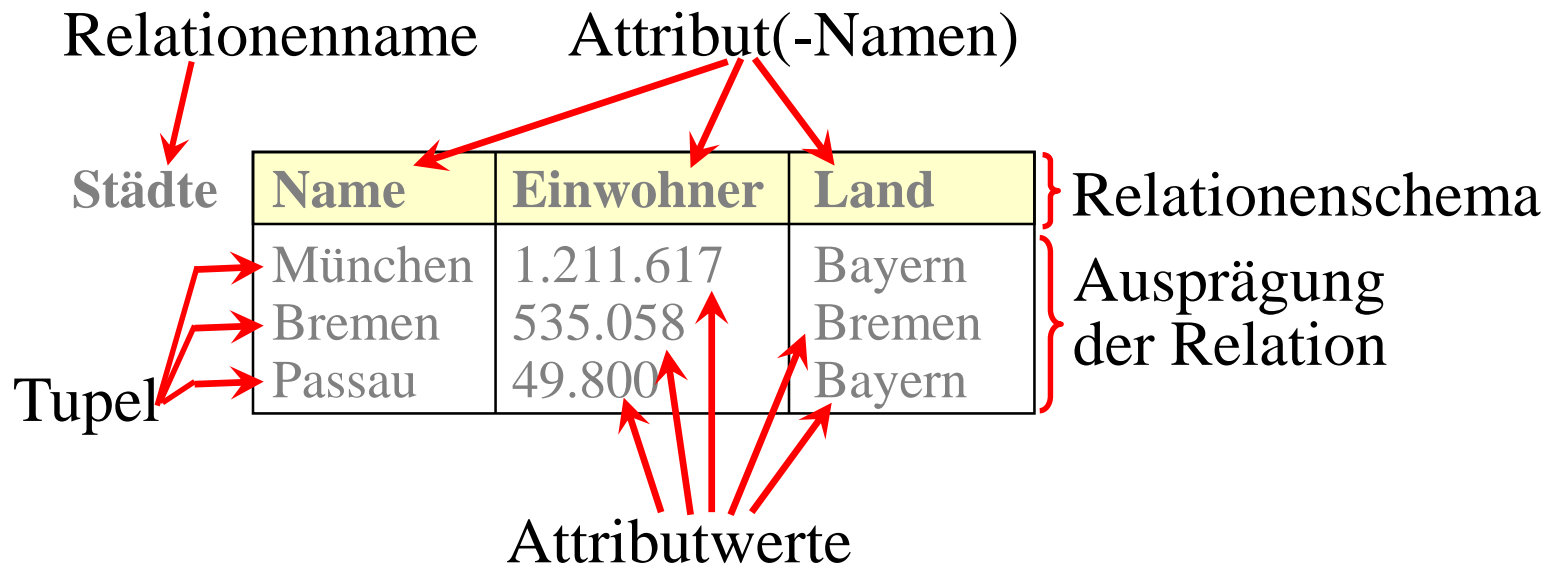
Diskussion

- Vorteil von geordnetem Relationenschema:
 - Prägnanter aufzuschreiben.
Wichtig z.B. beim Einfügen neuer Tupel:
 $t_3 = (\text{Passau}, 49.800, \text{Bayern})$
vergleiche: $t_3(\text{Name}) = \text{Passau}$; $t_3(\text{Einwohner}) = \dots$
- Nachteil von geordnetem Relationenschema:
 - Einschränkungen bei logischer Datenunabhängigkeit:
Applikationen sensibel bzgl. Einfügung neuer Attribute (nur am Ende!)
- Definitionen prinzipiell gleichwertig
- Wir verwenden beide Ansätze



Begriffe

- Relation: Ausprägung eines Relationenschemas
- Datenbankschema: Menge von Relationenschemata
- Datenbank: Menge von Relationen (Ausprägungen)





Duplikate

- Relationen sind Mengen von Tupeln.
Konsequenzen:
 - Reihenfolge der Tupel irrelevant (wie bei math. Def)
 - Es gibt keine Duplikate (gleiche Tupel) in Relationen:
 $\{(0,a), (0,a), (0,a), (1,b)\} = \{(0,a), (1,b)\}$
- Frage: Gilt dies auch für die Spalten beim ungeordneten Relationenschema $R = \{A_1, \dots, A_k\}$?
 - Reihenfolge der Spalten ist **irrelevant**
(das ist gerade das besondere am ungeordneten RS)
 - Duplikate **treten nicht auf, weil alle Attribut-Namen verschieden sein müssen**



Schlüssel

- Tupel müssen eindeutig identifiziert werden
- Warum? Z.B. für Verweise:

Mitarbeiter

PNr	Name	Vorname	Abteilung
001	Huber	Erwin	
002	Mayer	Hugo	
003	Müller	Anton	

Abteilungen

ANr	Abteilungsname
01	Buchhaltung
02	Produktion
03	Marketing

- Objektidentifikation in Java:
Mit Referenz (Adresse im Speicher)
- Im relationalen Modell werden Tupel anhand von Attributwerten identifiziert
- Ein/mehrere Attribute als **Schlüssel** kennzeichnen
- Konvention: Schlüsselattribut(e) unterstreichen!



Schlüssel

Beispiel: **PNr** und **ANr** werden Primärschlüssel:

Mitarbeiter

<u>PNr</u>	Name	Vorname	Abteilung
001	Huber	Erwin	
002	Mayer	Hugo	
003	Müller	Anton	

Abteilungen

<u>ANr</u>	Abteilungsname
01	Buchhaltung
02	Produktion
03	Marketing

- Damit müssen diese Attributswerte eindeutig sein!
- Verweis durch Wert dieses Schlüsselattributs:

Mitarbeiter

<u>PNr</u>	Name	Vorname	Abteilung
001	Huber	Erwin	01
002	Mayer	Hugo	01
003	Müller	Anton	02

Abteilungen

<u>ANr</u>	Abteilungsname
01	Buchhaltung
02	Produktion
03	Marketing



Zusammengesetzter Schlüssel

- Oft ist ein einzelnes Attribut nicht ausreichend, um die Tupel eindeutig zu identifizieren
- Beispiel:

Lehrveranstaltung

<u>VNr</u>	Titel	<u>Semester</u>
012	Einführung in die Informatik	WS 2001/02
012	Einführung in die Informatik	WS 2002/03
013	Medizinische Informationssyst.	WS 2001/02
...

- Schlüssel: (VNr, Semester)
- Anmerkung: Warum ist dies ein schlechtes DB-Design?
Nicht redundanzfrei:
Der Titel ist mehrfach in der Datenbank gespeichert.
→ hierzu mehr in Kapitel 6+7



Schlüssel: Formale Definition

Definition:

- Eine Teilmenge S der Attribute eines Relationenschemas R ($S \subseteq R$) heißt **Schlüssel**, wenn gilt:

1) Eindeutigkeit

Keine Ausprägung von R kann zwei verschiedene Tupel enthalten, die sich in **allen** Attributen von S gleichen.

2) Minimalität

Es existiert keine **echte** Teilmenge $T \subsetneq S$, die bereits die Bedingung der Eindeutigkeit erfüllt.

Anm.: Der Teilmengenbegriff umfasst die Menge selbst, also jede Menge ist Teilmenge von sich selbst. Eine Teilmenge einer Menge S , die ungleich S ist, heißt *echte* Teilmenge. In Symbolen: $T \subsetneq S \Leftrightarrow T \subseteq S \wedge T \neq S$



Schlüssel: Formale Definition

Manche Lehrbücher definieren in noch formalerer Notation:

1) Eindeutigkeit:

\forall möglichen Ausprägungen r und Tupel $t_1, t_2 \in r$ gilt:

$$t_1 \neq t_2 \Rightarrow t_1[S] \neq t_2[S].$$

2) Minimalität:

\forall Attributmengen T , die (1) erfüllen, gilt:

$$T \subseteq S \Rightarrow T = S.$$

Hierbei bezeichne $t[S]$ ein Tupel t eingeschränkt auf die Attribute aus S (alle anderen Attribute gestrichen).

Wir schreiben später auch $\pi_S(t)$ für $t[S]$ (*Projektion*, s. Kap. 3)



Superschlüssel / Minimale Menge

- Eine Menge $S \subseteq R$ heißt Superschlüssel (oder Oberschlüssel, engl. Superkey), wenn sie die Eindeutigkeitseigenschaft erfüllt
- Der Begriff des Superschlüssels impliziert keine Aussage über die Minimalität
- In der Mathematik wird allgemein eine Menge M als **minimale Menge bezüglich einer Eigenschaft B** bezeichnet, wenn es keine echte Teilmenge von M gibt, die ebenfalls B erfüllt.
- Damit können wir auch definieren:
Ein Schlüssel ist ein minimaler Superschlüssel
(minimale Menge $S \subseteq R$ mit Eindeutigkeits-Eigenschaft)



Schlüssel: Beispiele

- Gegeben sei die folgende Relation:

Lehrveranst.	LNr	VNr	Titel	Semester
$(t_1=)$	1	012	Einführung in die Informatik	WS 2001/02
$(t_2=)$	2	012	Einführung in die Informatik	WS 2002/03
$(t_3=)$	3	013	Medizinische Informationssyst.	WS 2001/02
...

- $\{VNr\}$ ist kein Schlüssel
Nicht eindeutig: $t_1 \neq t_2$ **aber** $t_1[VNr] = t_2[VNr] = 012$
- $\{Titel\}$ ist kein Schlüssel
(gleiche Begründung)
- $\{Semester\}$ ist kein Schlüssel
Nicht eindeutig: $t_1 \neq t_3$ **aber** $t_1[Semester] = t_3[Semester]$



Schlüssel: Beispiele

Lehrveranst.	LNr	VNr	Titel	Semester
$(t_1=)$	1	012	Einführung in die Informatik	WS 2001/02
$(t_2=)$	2	012	Einführung in die Informatik	WS 2002/03
$(t_3=)$	3	013	Medizinische Informationssyst.	WS 2001/02

- $\{\text{LNr}\}$ ist Schlüssel !!!
Eindeutigkeit: Alle $t_i[\text{LNr}]$ sind paarweise verschieden,
d.h. $t_1[\text{LNr}] \neq t_2[\text{LNr}]$, $t_1[\text{LNr}] \neq t_3[\text{LNr}]$, $t_2[\text{LNr}] \neq t_3[\text{LNr}]$
Minimalität: Trivial, weil 1 Attribut kürzeste Möglichkeit
- $\{\text{LNr}, \text{VNr}\}$ ist kein Schlüssel (aber Superschlüssel)
Eindeutigkeit: Alle $t_i[\text{LNr}, \text{VNr}]$ paarweise verschieden.
Nicht minimal, da **echte** Teilmenge $\{\text{LNr}\} \subset \{\text{LNr}, \text{VNr}\}$ (\neq) die
Eindeutigkeit bereits gewährleistet, s.o.



Schlüssel: Beispiele

Lehrveranst.

($t_1=$)

($t_2=$)

($t_3=$)

LNr	VNr	Titel	Semester
1	012	Einführung in die Informatik	WS 2001/02
2	012	Einführung in die Informatik	WS 2002/03
3	013	Medizinische Informationssyst.	WS 2001/02
...

- {VNr, Semester} **ist Schlüssel !!!**

Eindeutigkeit: Alle t_i [VNr, Semester] paarw. verschieden:

- t_1 [VNr, Semester] = (012, WS 2001/02)
 - t_2 [VNr, Semester] = (012, WS 2002/03)
 - t_3 [VNr, Semester] = (013, WS 2001/02)
- } \neq
} \neq
} \neq

Minimalität:

Weder {VNr} noch {Semester} gewährleisten Eindeutigkeit (siehe vorher). Dies sind alle echten Teilmengen.



Primärschlüssel

- Minimalität bedeutet **nicht**:
Schlüssel mit den wenigsten Attributen
- Sondern Minimalität bedeutet:
Keine überflüssigen Attribute sind enthalten
(d.h. solche, die zur Eindeutigkeit nichts beitragen)
- Manchmal gibt es mehrere verschiedene Schlüssel
 - {LNr}
 - {VNr, Semester} → **Schlüsselkandidat** (SQL: **unique**)
- Später ist wichtig, *alle* Schlüsselkandidaten zu ermitteln.
- Man wählt einen dieser Kandidaten aus als sogenannter **Primärschlüssel** (SQL: **primary key**)
- Attribut(e) das auf einen Schlüssel einer anderen Relation verweist, heißt **Fremdschlüssel** (SQL: **foreign key**)



Schlüssel: Semantische Eigenschaft

- Die Eindeutigkeit bezieht sich **nicht** auf die aktuelle Ausprägung einer Relation r
- Sondern immer auf die **Semantik** der realen Welt

Mitarbeiter	PNr	Name	Gehalt
	001	Müller	1700 €
	002	Mayer	2172 €
	003	Huber	3189 €
	004	Schulz	2171 €

- Bei der aktuellen Relation wären sowohl {PNr} als auch {Name} und {Gehalt} eindeutig.
- Aber es ist möglich, dass mehrere Mitarbeiter mit gleichem Namen und/oder Gehalt eingestellt werden
- {PNr} ist **für jede mögliche** Ausprägung eindeutig



Tabellendefinition in SQL

- Definition eines Relationenschemas:

```
CREATE TABLE n
```

← *n* Name der Relation

```
(
```

```
    a1 d1 c1,
```

← Definition des ersten Attributs

```
    a2 d2 c2,
```

```
    ...
```

```
    ak dk ck
```

← Definition des Attributs Nr. *k*

```
)
```

- hierbei bedeuten...
 - *a_i* der Name des Attributs Nr. *i*
 - *d_i* der Typ (die Domain) des Attributs
 - *c_i* ein optionaler Constraint für das Attribut
- Wirkung: Definition eines Relationenschemas mit einer leeren Relation als Ausprägung.



Basis-Typen in SQL

Der SQL-Standard kennt u.a. folgende Datentypen:

- **integer** oder auch **integer4**, **int**
- **smallint** oder **integer2**
- **float** (p) oder auch **float**
- **decimal** (p, q) und **numeric** (p, q)
mit p Stellen, davon q Nachkommast.
- **character** (n), **char** (n) für Strings fester Länge n
- **character varying** (n), **varchar** (n): variable Strings
- **date**, **time**, **timestamp** für Datum und Zeit



Zusätze bei Attributdefinitionen

- Einfache Zusätze (Integritätsbedingungen) können unmittelbar hinter einer Attributdefinition stehen:
 - **not null**: Das Attribut darf nicht undefiniert sein in DBS: undefinierte Werte heißen **null**-Werte
 - **primary key**: Das Attribut ist Primärschlüssel (nicht bei zusammengesetzten Schlüsseln)
 - **unique**:
Das Attribut ist Schlüsselkandidat
 - **references** $t_1(a_1)$:
Ein Verweis auf Attribut a_1 von Tabelle t_1
 - **default** w_1 : Wert w_1 ist Default, wenn unbesetzt.
 - **check** f :
Die Formel f wird bei jeder Einfügung überprüft, z.B.:
check $A \leq 100$

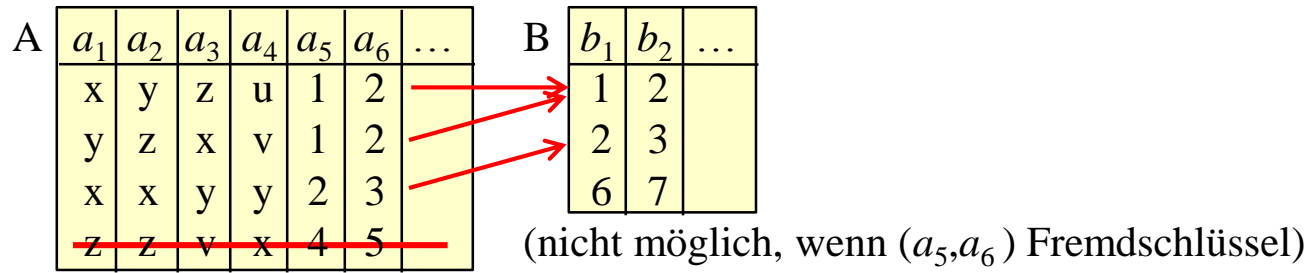


Integritätsbedingungen

- Zusätze, die keinem einzelnen Attribut zugeordnet sind, stehen mit Komma abgetrennt in extra Zeilen
 - **primary key** (A_1, A_2, \dots):
Zusammengesetzter Primärschlüssel
 - **unique** (A_1, A_2, \dots):
Zusammengesetzter Schlüsselkandidat
 - **foreign key** (A_1, A_2, \dots) **references** $t_1 (B_1, B_2, \dots)$
Verweis auf zusammengesetzten Schlüssel in Rel. T_1
Anmerkung: Fehlt die Angabe (B_1, B_2, \dots) hinter t_1 so wird automatisch (A_1, A_2, \dots) eingesetzt.
 - **check f**
- Anmerkung: SQL ist case-insensitiv:
Im Ggs. zu Java hat die Groß-/Kleinschreibung weder bei Schlüsselworten noch bei Bezeichnern Bedeutung



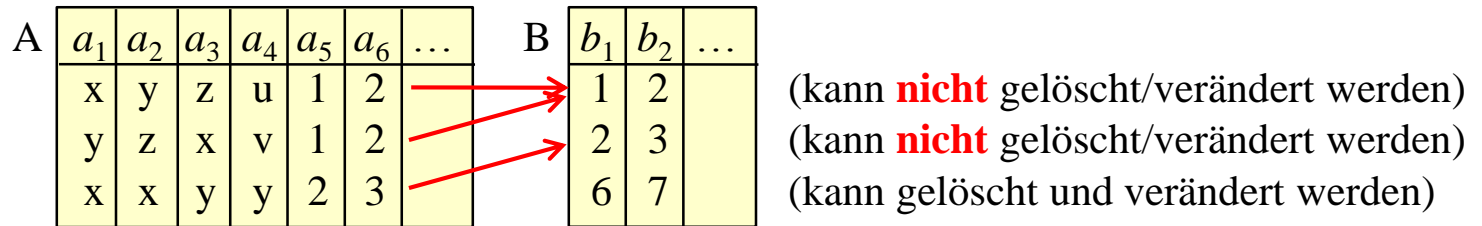
Schlüssel-Definitionen



- **primary key** (a_1, a_2) ,
definiert den Primärschlüssel.
- **unique** (a_3, a_4) ,
definiert einen weiteren Schlüsselkandidaten.
- **foreign key** (a_5, a_6) **references** B (b_1, b_2)
definiert einen Fremdschlüssel.
 - Tupel in A ohne gültigen Partner in B nicht erlaubt
 - Ohne weiteren Zusatz nicht möglich, Tupel in B, auf die durch in Tupel in A verwiesen wird, zu löschen oder die Werte von b_1, b_2 zu verändern.



Schlüssel-Definitionen



Löschen eines Tupels in B mit Referenzen nicht möglich.

Es gibt aber verschiedene Zusätze:

- **foreign key (a_5, a_6) references B (b_1, b_2)
on delete cascade**

Löschen eines Tupels in B führt auch zum Löschen der entsprechenden Tupel in A

- **on update cascade**

Verändern eines Tupels in B führt zum Verändern in A

- **on delete set null**

„hängende Verweise“ werden ggf. auf **null** gesetzt.



Beispiel Tabellendefinition

- Zusammengesetzter Primärschlüssel {VNr, Semester}:

```
create table Lehrveranst  
(  
  LNr          integer          not null,  
  VNr          integer          not null,  
  Titel        varchar(50),  
  Semester     varchar(20)      not null,  
  primary key (VNr, Semester)  
)
```

- Alternative mit einfachem Primärschlüssel {LNr}:

```
create table Lehrveranst2  
(  
  LNr          integer          primary key,  
  VNr          integer          not null,  
  Titel        varchar(50),  
  Semester     varchar(20)      not null  
)
```



Beispiel Tabellendefinition

- Tabelle für Dozenten:

```
create table Dozenten
(
  DNr      integer      primary key,
  Name     varchar(50),
  Geburt   date,
)
```

- Verwendung von Fremdschlüsseln:

```
create table Haelt
(
  Dozent   integer      references Dozenten (DNr)
                        on delete cascade,
  VNr      integer      not null,
  Semester varchar(20) not null,
  primary key (Dozent, VNr, Semester),
  foreign key (VNr, Semester) references Lehrveranst
)
```



Beispiel Tabellendefinition

- Das Schlüsselwort **on delete cascade** in *Hael*t führt dazu, dass bei Löschen eines *Dozenten* auch entsprechende Tupel in *Hael*t gelöscht werden
- Weitere Konstrukte der Data Definition Language:
 - **drop table n_1**
Relationen-Schema n_1 wird mit allen evtl. vorhandenen Tupeln gelöscht.
 - **alter table n_1 add ($a_1 d_1 c_1, a_2 d_2 c_2, \dots$)**
 - Zusätzliche Attribute oder Integritätsbedingungen werden (rechts) an die Tabelle angehängt
 - Bei allen vorhandenen Tupeln Null-Werte
 - **alter table n_1 drop (a_1, a_2, \dots)**
 - **alter table n_1 modify ($a_1 d_1 c_1, a_2 d_2 c_2, \dots$)**