



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITY
MUNICH



DEPARTMENT
INSTITUTE FOR
INFORMATICS



DATABASE
SYSTEMS
GROUP

Skript zur Vorlesung:

Einführung in die Informatik: Systeme und Anwendungen

Sommersemester 2017

Kapitel 3: Datenbanksysteme

Vorlesung: Prof. Dr. Christian Böhm

Übungen: Dominik Mautz

Skript © Christian Böhm

<http://www.dbs.ifi.lmu.de/cms/> Einführung_in_die_Informatik_Systeme_und_Anwendungen

Überblick

3.1 Einleitung

3.2 Das Relationale Modell

3.3 Die Relationale Algebra

3.4 Mehr zu SQL

3.5 Das E/R-Modell

3.6 Normalformen

3.2 Das Relationale Modell

- Charakteristika
 - Die Tabelle (Relation) ist das ausschließliche Strukturierungsmittel des relationalen Datenmodells
 - Edgar F. Codd, 1970
 - Konzept: vgl. Excel-Tabelle
 - Grundlage vieler kommerzieller DBS:

ORACLE®

 Informix

Microsoft
SQL Server™

3.2 Das Relationale Modell

- Domain
 - Ein Wertebereich (oder Typ)
 - Logisch zusammengehörige Menge von Werten
 - Beispiele:
 - $D_1 = \text{Integer}$ (ganze Zahlen {..., -2, -1, 0, 1, 2, ...})
 - $D_2 = \text{String}$ (Zeichenketten, z.B. „Hallo“)
 - $D_3 = \text{Date}$ (Datum, typischerweise: TTMMYYYY)
 - $D_4 = \{\text{rot, gelb, grün, blau}\}$
 - $D_5 = \{1, 2, 3\}$
 - Kann **endliche** oder **unendliche** Kardinalität haben

3.2 Das Relationale Modell

- Kartesisches Produkt

- Bedeutung des kartesisches Produkts (Kreuzprodukts) von k Domains:

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 ($k = 3$):

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

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

3.2 Das Relationale Modell

- Relation

- 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 ($k = 2$):

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

$$R_1 = \{ \} \quad (\text{leere Menge, leere Relation})$$

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

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

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

3.2 Das Relationale Modell

- 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?

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

- Es gibt endliche und unendliche Relationen
(wenn mindestens eine Domain unendlich ist)
- In Datenbanksystemen: Nur endliche Relationen
Unendlich: Nicht darstellbar

3.2 Das Relationale Modell

- Sprechweisen
 - 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:
 $\{(a,0), (b,1)\} \neq \{(0,a), (1,b)\}$

3.2 Das Relationale Modell

- Relationen und Datenbanken
 - Relationen sind die mathematische Formalisierung der ***Tabelle***
 - Jedes Tupel steht für einen Datensatz
 - Die einzelnen Informationen sind in den Attributwerten der Tupel gespeichert
 - Die Attribute können auch benannt sein:
 - $D_1 = \text{Name: String}$
 - $D_2 = \text{Vorname: String}$
 - Zeichenketten und Zahlen sind die häufigsten Domains

3.2 Das Relationale Modell

Alternative Definition:

Relation ist Ausprägung eines **Relationen-Schemas**

- Geordnetes Relationenschema:

- k -Tupel aus Domains (Attribute)
- Attribute können benannt sein
- Attribute werden anhand ihrer **Position** im Tupel referenziert

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

- Domänen-Abbildung (ungeordnetes Relationenschema):

- Relationenschema R ist Menge von Attributnamen:
- Jedem Attributnamen A_i ist Domäne D_i zugeordnet:
- Attribute werden anhand ihres **Namens** referenziert

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

3.2 Das Relationale Modell

- Beispiel: Städte-Relation

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

- Als geordnetes Relationenschema:

Schema: Städte = (Name: String, Einwohner: Integer, Land: String)

Ausprägung: {(München, 1.211.617, Bayern), (Bremen, 535.058, Bremen), (Passau, 49.800, Bayern)}

- Als Relationenschema mit Domänenabbildung:

Schema: Städte = {Name, Einwohner, Land}

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

Ausprägung: $\{t_1, t_2, t_3\}$

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

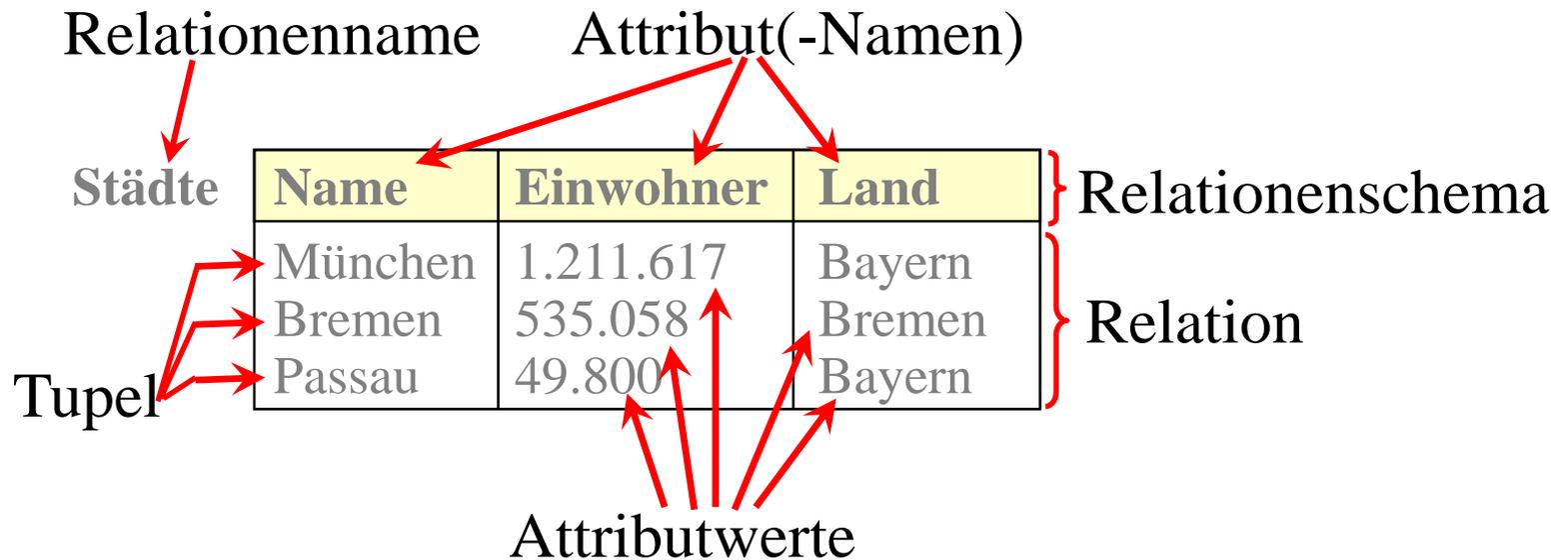
3.2 Das Relationale Modell

- 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 da sonst die Position der vorhandenen Attribute verändert wird)
- Definitionen gleichwertig
(lassen sich ineinander überführen)
- Wir verwenden beide Ansätze

3.2 Das Relationale Modell

- Begriffe

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



3.2 Das Relationale Modell

- 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 $R = \{A_1, \dots, A_k\}$?

- Die Reihenfolge der Spalten ist irrelevant
(das ist gerade das Besondere am ungeordneten RS)
- Duplikate treten nicht auf, weil alle Attribut-Namen verschieden sind

3.2 Das Relationale Modell

- 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!

3.2 Das Relationale Modell

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



3.2 Das Relationale Modell

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

Lehrveranstaltung	VNr	Titel	Semester
	012	Einführung in die Informatik	WS 2001/02
	012	Einführung in die Informatik	WS 2002/03
	013	Medizinische Informationssysteme	WS 2001/02

- Schlüssel: (VNr, Semester)
- Anmerkung: Warum ist dies in diesem Fall ein schlechtes DB-Design?

3.2 Das Relationale Modell

Schlüssel:

Eine Teilmenge S der Attribute eines Relationenschemas R heißt ***Schlüssel***, wenn gilt:

- ***Eindeutigkeit***

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

- ***Minimalität***

Keine echte Teilmenge von S erfüllt bereits die Bedingung der Eindeutigkeit

3.2 Das Relationale Modell

In noch formalerer Notation:

Schlüssel:

- Sei r eine Relation über dem Relationenschema R und $S \subseteq R$ eine Auswahl von Attributen.
- $t[S]$ bezeichne ein Tupel t eingeschränkt auf die Attribute aus S (alle anderen Attribute gestrichen)
- (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:
Für alle Attributmengen S und T , die (1) erfüllen, gilt:
 $T \subseteq S \Rightarrow T = S$

3.2 Das Relationale Modell

- 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 Informationssysteme	WS 2001/02

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

3.2 Das Relationale Modell

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 Informationssystem.	WS 2001/02

- {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
- {LNr, VNr} ist kein Schlüssel
 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.

3.2 Das Relationale Modell

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 Informationssystem.	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)

Minimalität:

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

3.2 Das Relationale Modell

- 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}
 - Diese nennt man auch **Schlüsselkandidaten**
 - Man wählt einen dieser Kandidaten aus als sog. **Primärschlüssel**
(oft den kürzesten, nicht immer)

3.2 Das Relationale Modell

- 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

3.2 Das Relationale Modell

- Definition eines Relationenschemas in SQL

```
CREATE TABLE n
```

```
(
```

```
  a1 d1 c1,
```

```
  a2 d2 c2,
```

```
  ...
```

```
  ak dk ck
```

```
)
```

← *n* Name der Relation

← Definition des ersten Attributs

← Definition des Attributs Nr. *k*

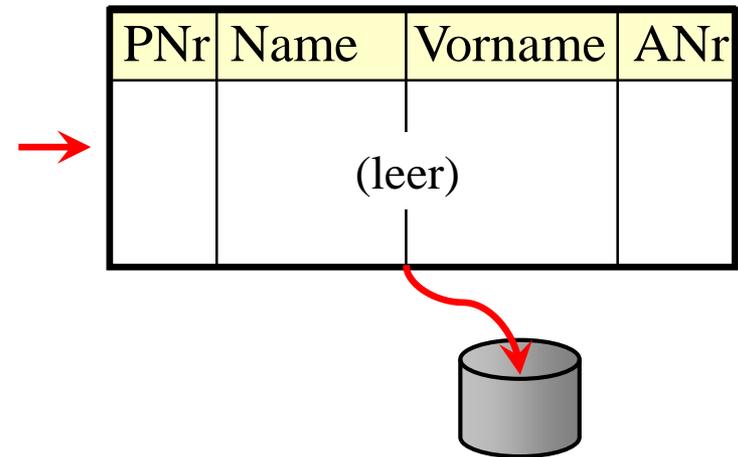
- hierbei bedeuten...

- *a*_{*i*} der Name des Attributs Nr. *i*
- *d*_{*i*} der Typ (die Domain) des Attributs
- *c*_{*i*} ein optionaler Constraint für das Attribut

3.2 Das Relationale Modell

- Was passiert dabei?
 - Es wird eine leere Tabelle angelegt
 - Beispiel:

```
CREATE TABLE Mitarbeiter
(
  PNr  NUMBER (3),
  Name  CHAR (20),
  Vorname CHAR (20),
  ANr  NUMBER (2)
)
```



3.2 Das Relationale Modell

- Der SQL-Standard kennt u.a. folgende Basis-Datentypen (Domains):
 - **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

3.2 Das Relationale Modell

- 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 (nur bei 1-Attribut-Schlüsseln)
 - **check f** :
Die Formel f wird bei jeder Einfügung überprüft
 - **references $t_1 (a_1)$** :
Ein Verweis auf Attribut a_1 von Tabelle t_1
Verschiedene Zusatzoptionen:
 - **on delete cascade**
 - **on delete set null**
 - **default w_1** : Wert w_1 ist Default, wenn unbesetzt.

3.2 Das Relationale Modell

- Integritätsbedingungen

Zusätze, die keinem einzelnen Attribut zugeordnet sind, stehen mit Komma abgetrennt in extra Zeilen

- **primary key** (s_1, s_2, \dots):
Zusammengesetzter Primärschlüssel
- **foreign key** (s_1, s_2, \dots) **references** t_1 (...)
Verweis auf zusammengesetzten Schlüssel in t_1
- **check** f

- Anmerkung:

SQL ist case-insensitiv:

- im Ggs. zu Java hat die Groß-/Kleinschreibung weder bei Schlüsselworten noch bei Bezeichnern Bedeutung

3.2 Das Relationale Modell

Beispiele für Tabellendefinitionen

- 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  
)
```

3.2 Das Relationale Modell

- 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  
)
```

3.2 Das Relationale Modell

- Das Schlüsselwort **on delete cascade** in *Haelt* führt dazu, dass bei Löschen eines *Dozenten* auch entsprechende Tupel in *Haelt* 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** ($a_1 d_1 c_1, a_2 d_2 c_2, \dots$)