3. Datenbankmodelle für den Entwurf

- Grundlagen von Datenbankmodellen
- Entity-Relationship-Modelle
- Objektorientierte Modelle: UML

Grundlagen von Datenbankmodellen

Begriff Datenbankmodell

> *Ein Datenbankmodell ist ein System von Konzepten zur Beschreibung von Datenbanken. Es legt Syntax und Semantik von Datenbankbeschreibungen für ein Datenbanksystem fest.*

Datenbankbeschreibungen = Datenbankschemata

Datenbankmodelle I

Ein Datenbankmodell legt fest

1. *statische Eigenschaften*
   (a) Objekte
   (b) Beziehungen

   inklusive der Standard-Datentypen, die Daten über die Beziehungen und Objekte darstellen können,

2. *dynamische Eigenschaften* wie
   (a) Operationen
   (b) Beziehungen zwischen Operationen,

   sowie

3. *Integritätsbedingungen* an
   (a) Objekte
   (b) Operationen.

Datenbankmodelle II

Klassische Datenbankmodelle sind speziell geeignet für

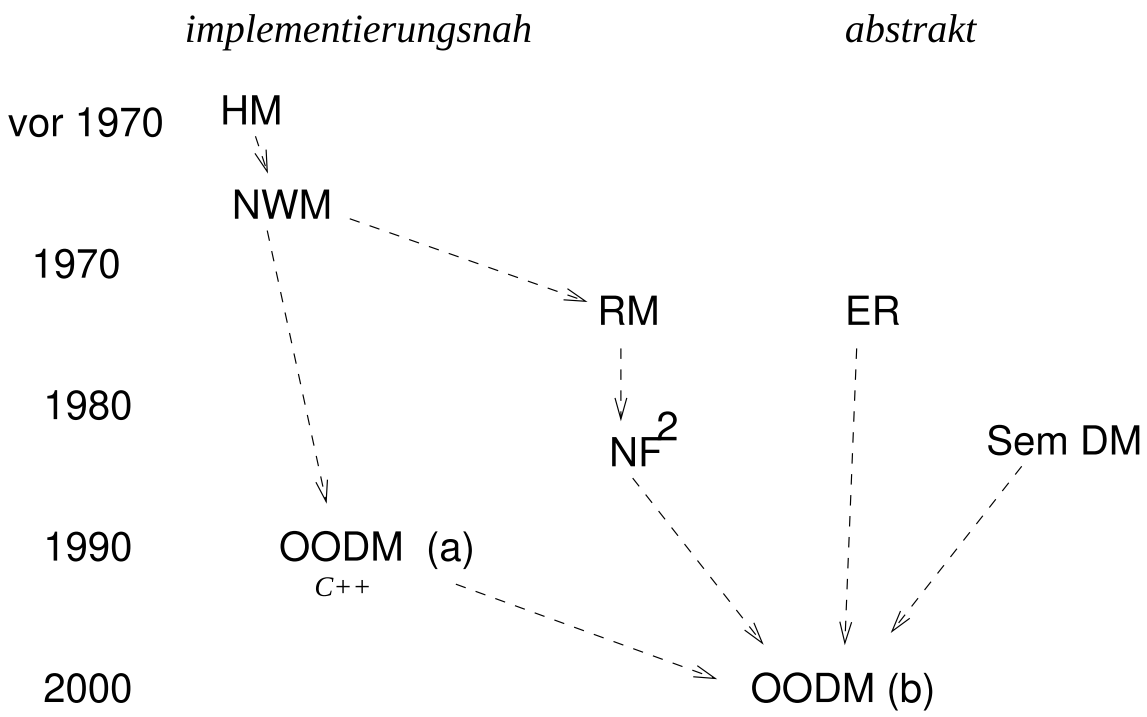
- große Informationsmengen mit relativ starrer Struktur und
- die Darstellung statischer Eigenschaften und Integritätsbedingungen (also die Bereiche 1(a), 1(b) und 3(a)).

Modelle für Daten und Algorithmen in verschiedenen Abstraktionsstufen

Modelle	**Daten**	**Algorithmen**
abstrakter	Entity-Relationship-Modell	Flußdiagramme
konkreter	Hierarchisches Modell	PASCAL
	Netzwerkmodell	FORTRAN
	Relationenmodell	Ada

Neuere Modelle: deduktiv, objektorientiert

Historische Einordnung und Bezüge zwischen einigen der vorgestellten Datenbankmodelle



Semantikfestlegung für Datenbankmodelle

- **Wertebereiche:**

  abstrakte Datentypen

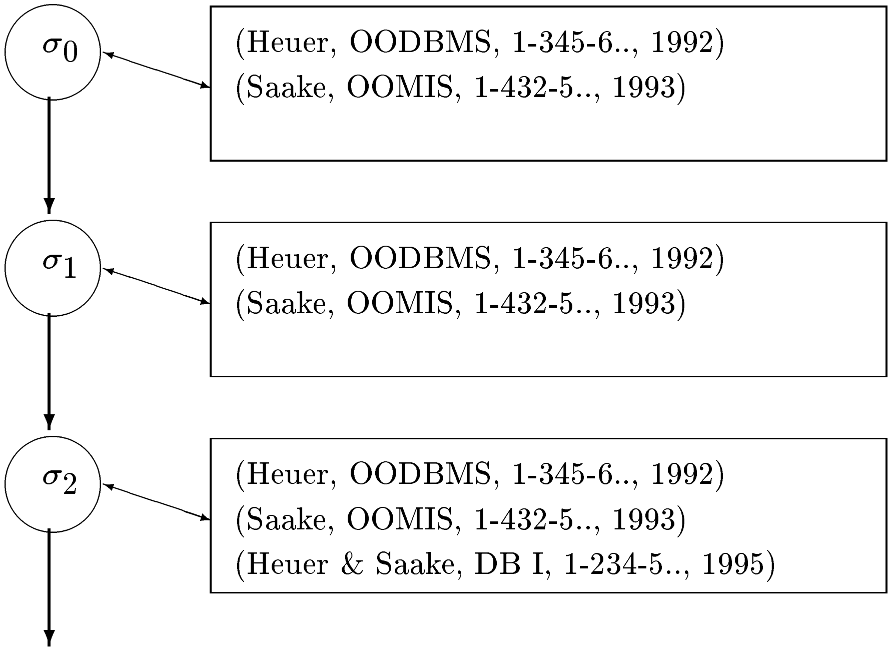
- **Datenbankzustände:**

  Modell einer prädikatenlogischen Beschreibung

- **Gesamtsemantik:**

  Zustandsfolgen

Formalisierung durch Zustandsfolgen



Semantikfestlegung am Beispiel I

Trägermengen für *mögliche Werte*: μ

- $\mu(\mathbf{integer}) = \mathbb{Z}$ (die ganzen Zahlen $\mathbb{Z}$)
- $\mu(\mathbf{string}) = C^*$ (Folgen von Zeichen aus $C = \{a, b, \ldots, z, A, B, \ldots, Z\}$)
- $\mu(\mathbf{set}(z)) = 2^{\mu(z)}$

  (die Potenzmenge über den Werten des Parameterdatentyps z, oder anders ausgedrückt die Mengen aller Teilmengen von möglichen Werten in $\mu(z)$)
- $\mu(\mathbf{tuple}(z_1, \ldots, z_n)) = \mu(z_1) \times \cdots \times \mu(z_n)$

  (das kartesische Produkt der Parameterwertebereiche)

Semantikfestlegung am Beispiel II

Datenbankentwicklung:

$$\hat{\sigma} = \langle \sigma_0, \sigma_1, \ldots, \sigma_i, \ldots \rangle.$$

Bedeutung einer DB-Variablen ($\mathcal{T}$: Zeitachse):

$$\hat{\sigma}(db) \colon \mathcal{T} \rightarrow \mu(\mathbf{typ}(db))$$

Semantikfestlegung am Beispiel III

Beispiel der Bücher-Datenbank:

$$\hat{\sigma}(\texttt{Bücher})\colon \mathcal{T} \to 2^{C^* \times C^* \times C^* \times \mathbb{Z}}$$

Ein konkreter Zustandswert zum Zeitpunkt 42:

$$\hat{\sigma}(\texttt{Bücher})(42) = \{(\texttt{Heuer}, \texttt{OODB}, \texttt{1-453-}, 1992),$$

$$(\texttt{Saake}, \texttt{OOSIS}, \texttt{1-321-}, 1993)\}$$

Entity-Relationship-Modelle

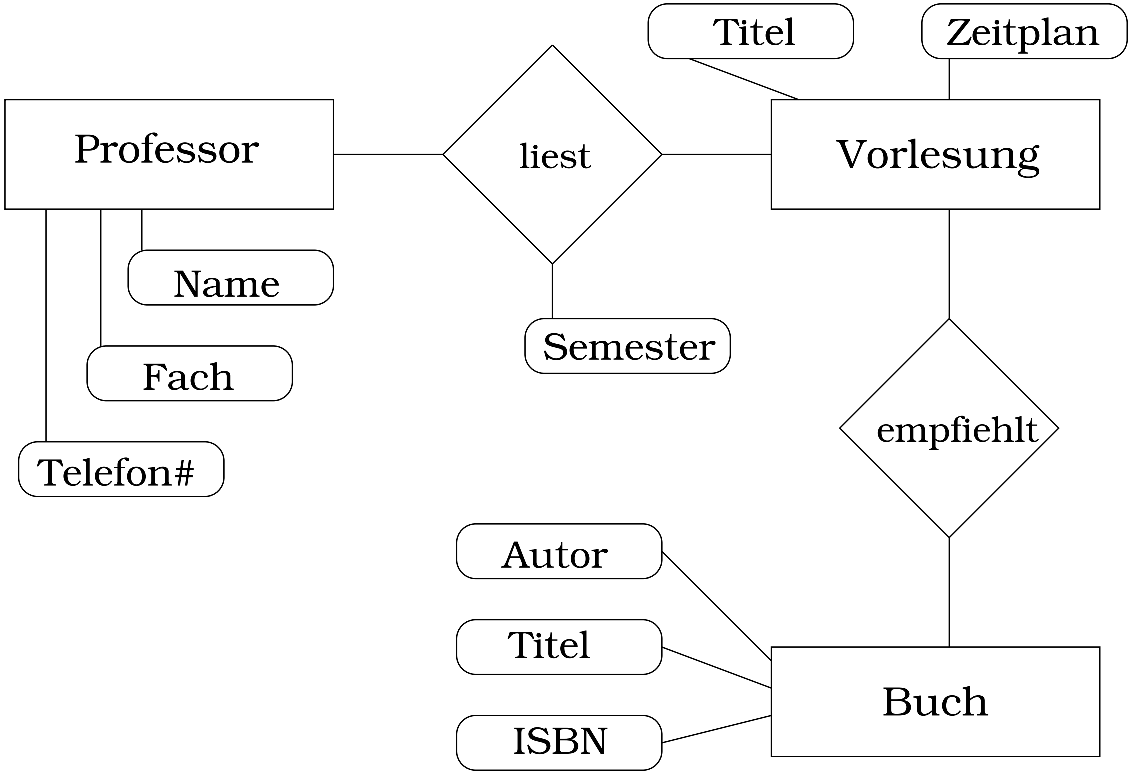
P. P. Chen im Jahre 1976

Entity: Objekt der realen oder der Vorstellungswelt, über das Informationen zu speichern sind
z.B. Vorlesungsveranstaltung, Buch, Lehrperson, . . .
Auch Informationen über Ereignisse: Prüfungen, . . .

Relationship: Beziehung zwischen Entities, z.B. eine Lehrperson hält eine Vorlesung

Attribut: Eigenschaft von Entities oder Beziehungen, z.B. die ISBN eines Buchs, der Titel einer Vorlesung, oder das Semester, in dem eine Vorlesung gehalten wird

Ein einfaches Beispiel



ER-Modellierungskonzepte und ihre Semantik I

Werte

$\mu(\mathbf{int})$: der Wertebereich $\mathbb{Z}$ (die ganzen Zahlen) mit $+, -, \times, \div, =, <, ...$

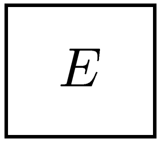
$\mu(\mathbf{string})$: der Wertebereich C^* (Folgen von Zeichen aus der Menge C) mit $+, =, <, ...$

...

$\mu(D)$: Interpretation von D, *m*ögliche Werte einer Entity-Eigenschaft

ER-Modellierungskonzepte und ihre Semantik II

Entities: *Entity-Typen*, etwa $E_1, E_2, \ldots$



$\mu(E)$ Menge der *m*öglichen Entities vom Typ E
wird hier nicht festgelegt (etwa Menge isomorph zu natürlichen Zahlen)

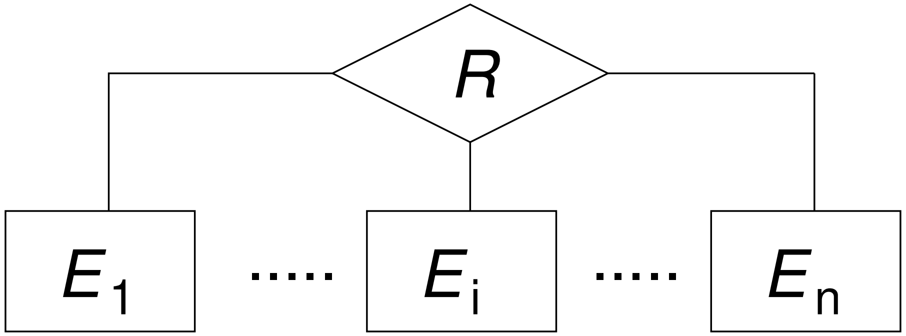
$\sigma(E)$ Menge der *aktuellen* Entities vom Typ E in einem Zustand σ
(σ, *Sigma*, für **s***tate* (Zustand))

Aktuelle Entities müssen mögliche Elemente sein: $\sigma(E) \subseteq \mu(E)$
Ferner gefordert: $\sigma(E)$ endlich

ER-Modellierungskonzepte und ihre Semantik III

Beziehungen: *Beziehungstypen*

Notation n-stelliger Beziehungstypen:



ER-Modellierungskonzepte und ihre Semantik IV

mögliche Ausprägungen:

$$\mu(R) = \mu(E_1) \times \cdots \times \mu(E_n)$$

aktuelle Beziehungen nur zwischen aktuellen Entities:

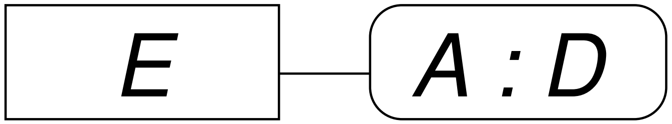
$$\sigma(R) \subseteq \sigma(E_1) \times \cdots \times \sigma(E_n)$$

Rollennamen:

$$\texttt{verheiratet}(\texttt{Frau} : \texttt{Person}, \texttt{Mann} : \texttt{Person})$$

ER-Modellierungskonzepte und ihre Semantik V

Attribute:

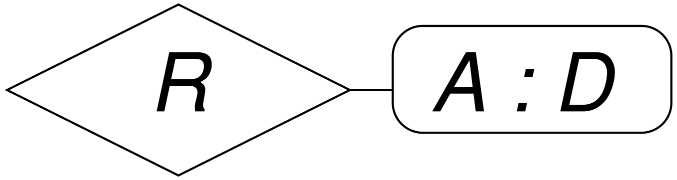


Semantik einer Attributdeklaration : Ein Attribut A eines Entity-Typen E ist im Zustand σ eine Abbildung

$$\sigma(A) : \sigma(E) \rightarrow \mu(D)$$

ER-Modellierungskonzepte und ihre Semantik VI

Beziehungsattribute:



Semantik:

$$\sigma(A) : \sigma(R) \rightarrow \mu(D)$$

Textuelle Notation:

$$E(A_1 : D_1, \ldots , A_m : D_m)$$

bzw.

$$R(E_1, \ldots , E_n; A_1, \ldots , A_p)$$

Semantik eines ER-Schemas

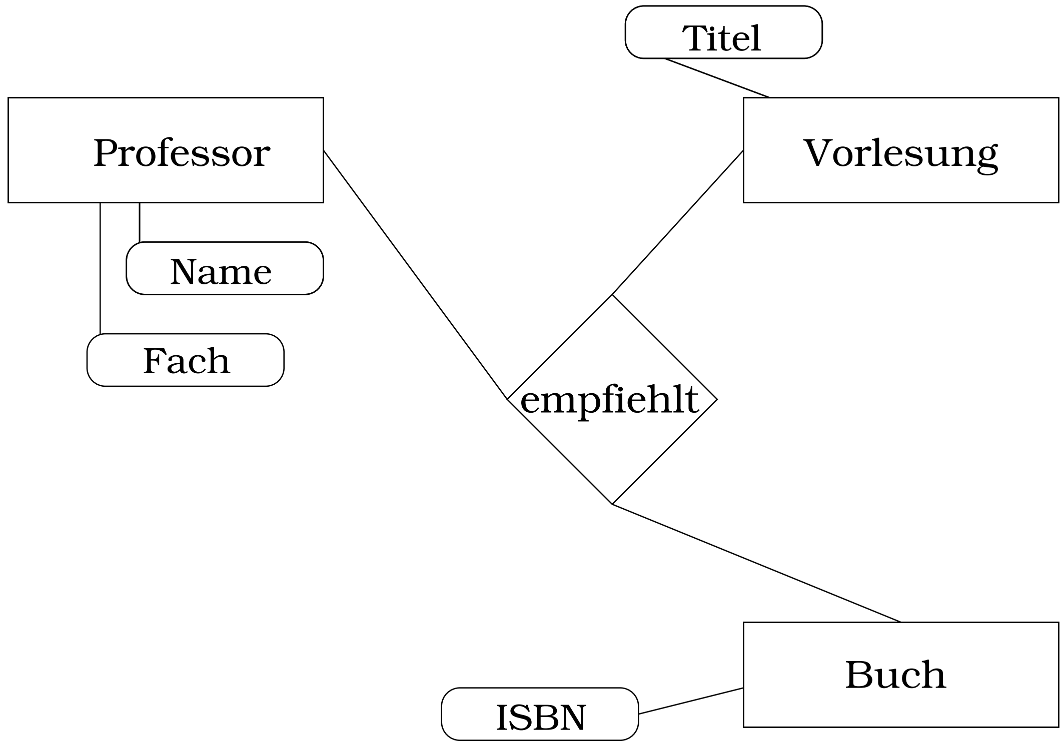
Jeder Zustand σ eines ER-Schemas ist eine Zuordnung

$$\begin{array}{rcl} E & \mapsto & \sigma(E) \subseteq \mu(E) \\ R(E_1, \ldots, E_n; \ldots) & \mapsto & \sigma(R) \subseteq \sigma(E_1) \times \ldots \times \sigma(E_n) \\ E(\ldots, A_i : D, \ldots) & \mapsto & \sigma(A_i) : \sigma(E) \to \mu(D), \ldots \\ R(\ldots; \ldots, A_i : D, \ldots) & \mapsto & \sigma(A_i) : \sigma(R) \to \mu(D), \ldots \end{array}$$

bei gegebener fester Interpretation μ der Datentypen durch Wertebereiche und der Entity-Typen durch vorgegebene Mengen möglicher Entities.

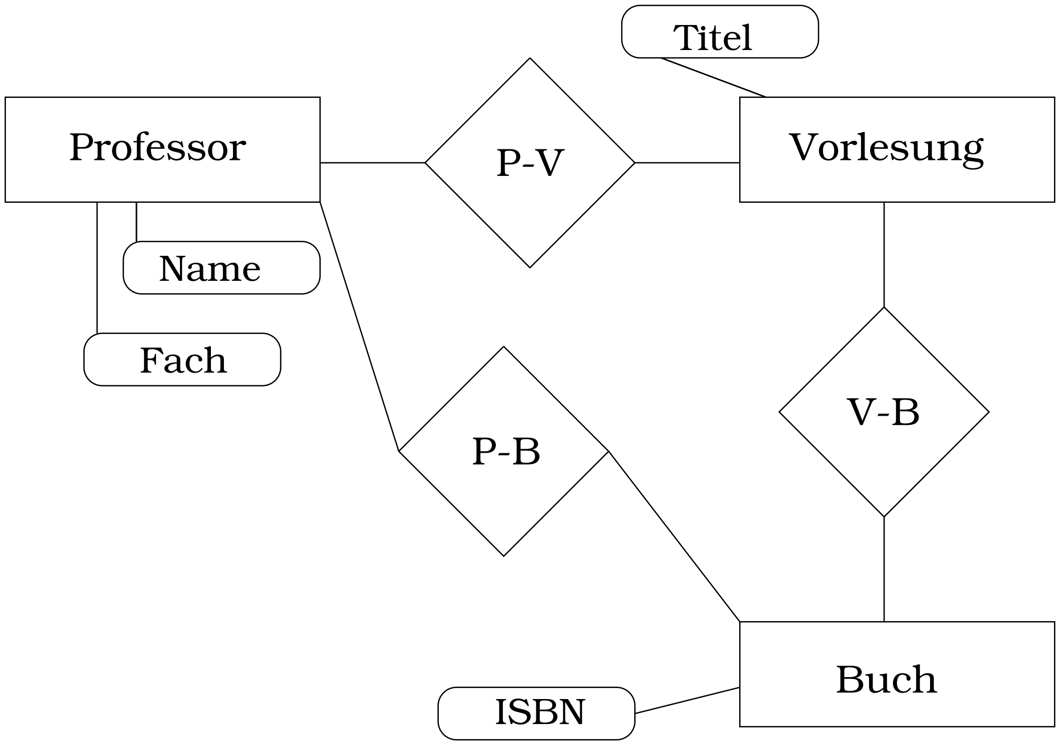
Zweistellige versus mehrstellige Beziehungen

Dreistellige Beziehung



Zweistellige versus mehrstellige Beziehungen II

Mögliche Umwandlung in zweistellige Beziehungen



Ausprägungen im Beispiel

Korrekte Ausprägung der dreistelligen Beziehung

empfiehlt	Professor	Vorlesung	Buch (ISBN)
	Heuer	DB 1	1-234-..
	Heuer	DB 2	9-876-..
	Saake	DB 1	9-876-..
	Saake	DB 2	9-876-..

Ausprägungen im Beispiel II

Ausprägungen der drei 2-stelligen Beziehungstypen

P-V	Prof.	Vorl.
	Heuer	DB 1
	Heuer	DB 2
	Saake	DB 1
	Saake	DB 2

P-B	Prof.	Buch
	Heuer	1-234-..
	Heuer	9-876-..
	Saake	9-876-..

V-B	Vorl.	Buch
	DB 1	1-234-..
	DB 2	9-876-..
	DB 1	9-876-..

... entsprechen aber auch:

empfiehlt	Professor	Vorlesung	Buch (ISBN)
	Heuer	DB 1	1-234-..
	Heuer	DB 1	9-876-..
	Heuer	DB 2	9-876-..
	Saake	DB 1	9-876-..
	Saake	DB 2	9-876-..

Ausprägungen im Beispiel III

Jetzt außerdem möglich:

P-V	Prof.	Vorl.
	Heuer	DB 1
	Heuer	DB 2
	Saake	DB 1
	Saake	DB 2

P-B	Prof.	Buch
	Heuer	1-234-..
	Heuer	9-876-..
	Saake	9-876-..

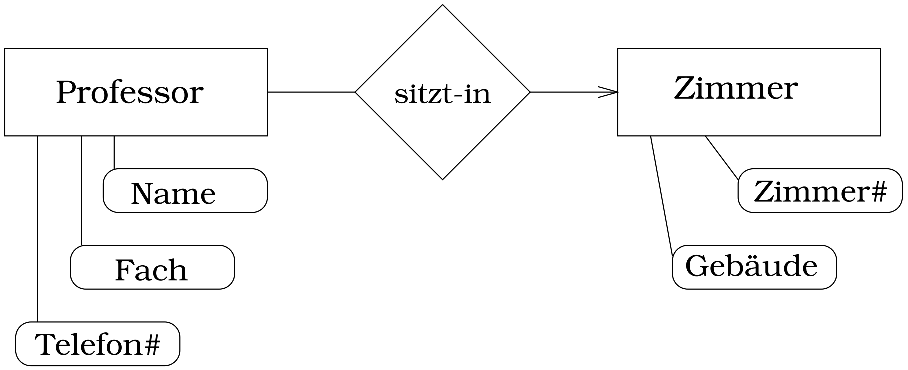
V-B	Vorl.	Buch
	DB 1	1-234-..
	DB 2	9-876-..
	DB 1	9-876-..
	DB 3	4-242-..

Funktionale Beziehungen

Textuell:

$$R : E_1 \to E_2$$

Graphisch:



Bedeutung:

$$\sigma(R) : \sigma(E_1) \to \sigma(E_2)$$

Identifizierung durch Schlüssel

Für Entity-Typ $E(A_1, \ldots, A_m)$ sei Teilmenge $\{S_1, \ldots, S_k\}$ der gesamten Attribute gegeben, die *Schlüsselattribute*.

Es gilt: $\{S_1, \ldots, S_k\} \subseteq \{A_1, \ldots, A_m\}$.

In jedem Datenbankzustand identifizieren die aktuellen Werte der Schlüsselattribute eindeutig Instanzen des Entity-Typs E:

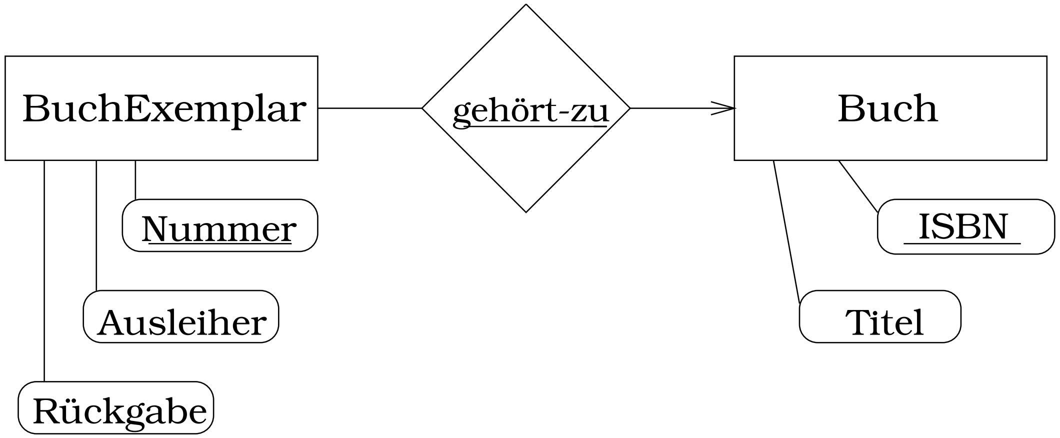
$$\forall e_1, e_2 \in \sigma(E) : (\sigma(S_1)(e_1) = \sigma(S_1)(e_2) \wedge \ldots \wedge \sigma(S_k)(e_1) = \sigma(S_k)(e_2)) \implies (e_1 = e_2)$$

Notation: markieren durch Unterstreichung:

$$E(\ldots, \underline{S_1}, \ldots, \underline{S_i}, \ldots)$$

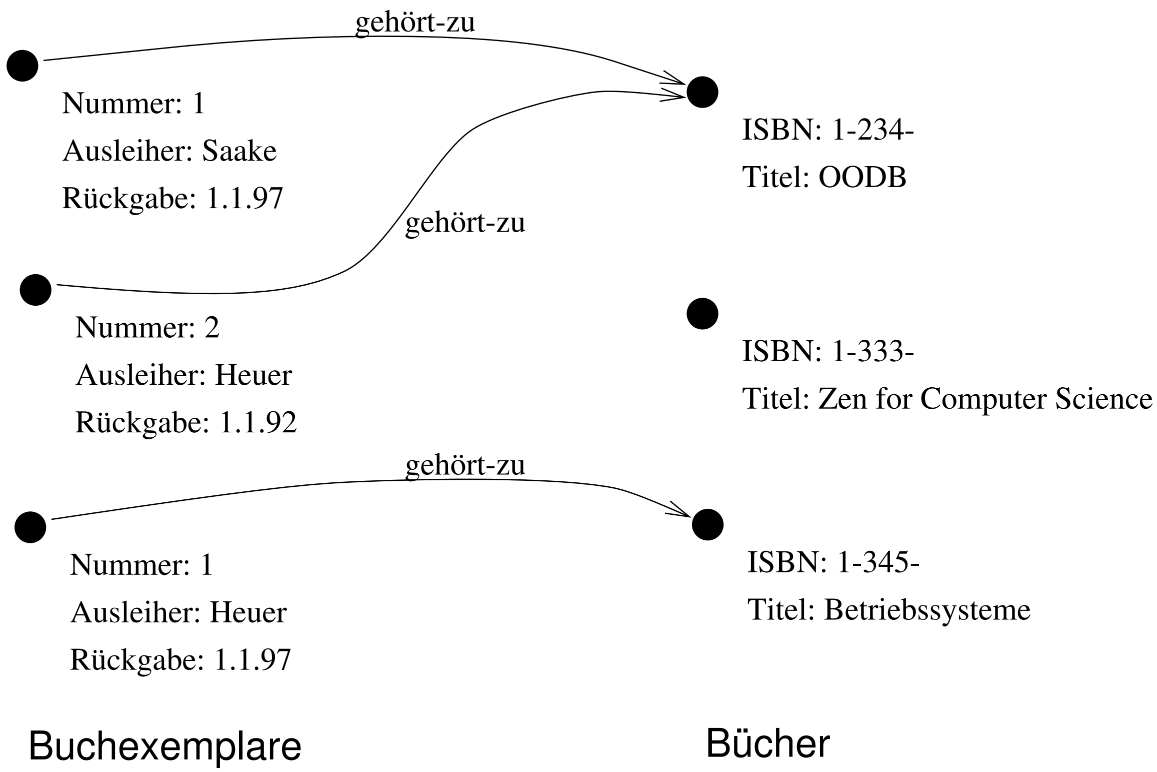
Abhängige Entity-Typen I

abhängiger Entity-Typ:
Identifikation über funktionale Beziehung



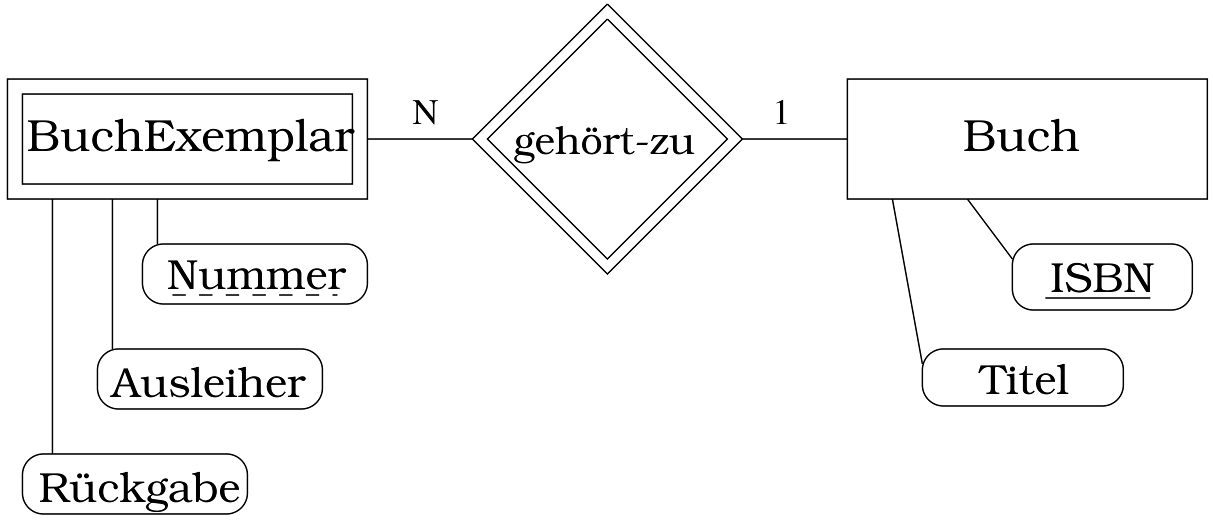
Abhängige Entities im ER-Modell:
Funktionale Beziehung als Schlüssel

Abhängige Entity-Typen II

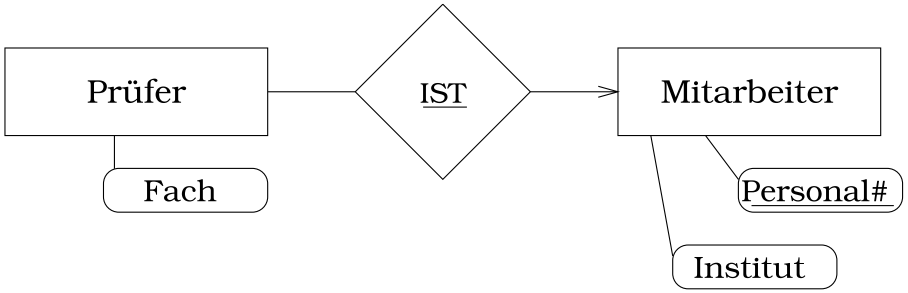


Mögliche Ausprägung für abhängige Entities

Abhängige Entity-Typen: Alternative Notation



Die IST-Beziehung



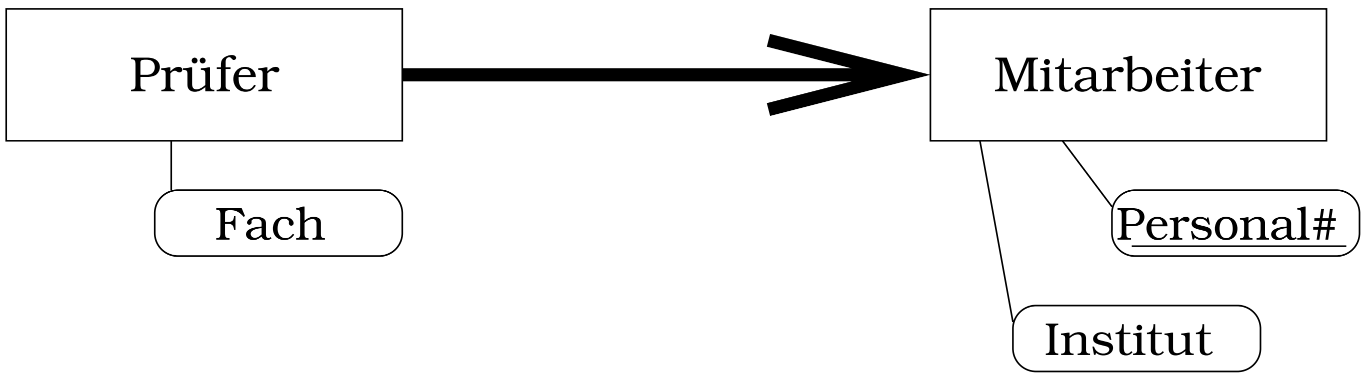
- Jeder Prüfer-Instanz ist genau einer Mitarbeiter-Instanz zugeordnet: Spezialfall eines abhängigen Entity-Typs!
- Nicht jeder Mitarbeiter ist zugleich Prüfer.
- Attribute des Entity-Typs `Mitarbeiter` treffen auch auf Prüfer zu: “vererbte” Attribute.

  $\texttt{Prüfer(}\underbrace{\texttt{Name,Personal\#}}_{\textit{von Mitarbeiter}}\texttt{,Fach)}$

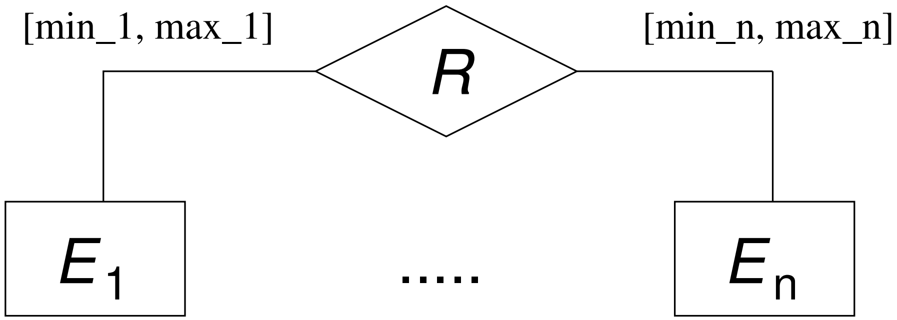
  Nicht nur Deklarationen vererben sich, sondern auch aktuelle Werte.
- Bedeutung:

$$\sigma(E_1) \subseteq \sigma(E_2)$$

Die IST-Beziehung: Alternative Notation



Kardinalitäten I



- Notation für Kardinalitätsangaben an einem Beziehungstyp

$$R(E_1, \ldots, E_i[min_i, max_i], \ldots, E_n)$$

- Kardinalitätsbedingung: $min_i \leq |\{r \mid r \in R \wedge r.E_i = e_i\}| \leq max_i$
- Spezielle Wertangabe für max_i ist $*$

Kardinalitäten II

- $[0, *]$ ist Standardannahme.
- Die Angabe $R(E_1[0, 1], E_2)$ entspricht einer (partiellen) funktionalen Beziehung $R : E_1 \rightarrow E_2$, da jede Instanz aus E_1 maximal einer Instanz aus E_2 zugeordnet ist.

  Eine totale funktionale Beziehung wird durch $R(E_1[1, 1], E_2)$ modelliert.

Kardinalitäten: Beispiele

- Beispiele

  `arbeitet_in(Mitarbeiter[0,1],Raum[0,3])`

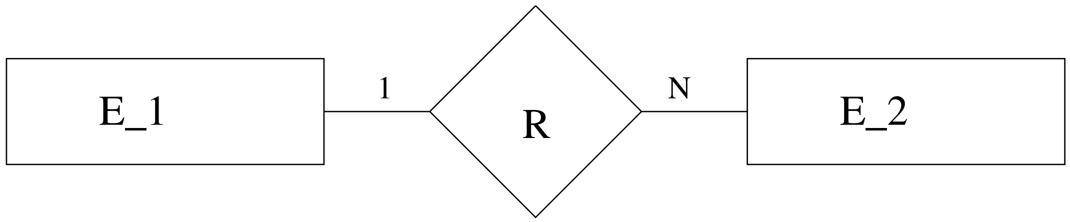
  Jedem Mitarbeiter ist in der Regel ein Raum zugeordnet, aber einige (externe) Mitarbeiter haben kein Arbeitszimmer. Pro Zimmer arbeiten maximal drei Mitarbeiter.

  `verantwortlich_für(Mitarbeiter[0,*],Rechner[1,1])`

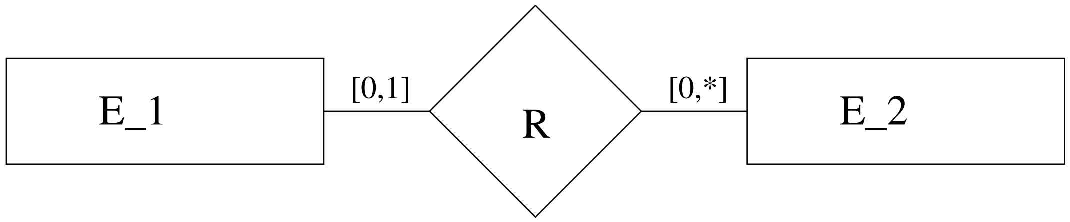
  Jedem `Rechner` ist genau ein `Mitarbeiter` zugeordnet, der für die Betreuung `verantwortlich` ist.

- Für die Beziehung E_1 IST E_2 gilt: IST$(E_1[1,1], E_2[0,1])$.

Vereinfachte Kardinalitätsangaben für binären Beziehungstyp



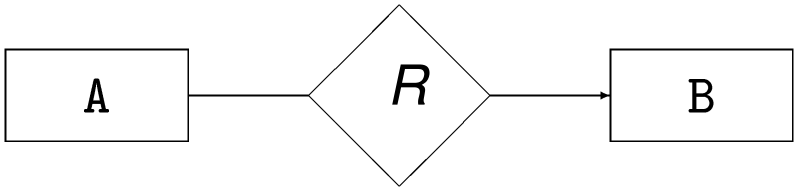
ist äquivalent zu



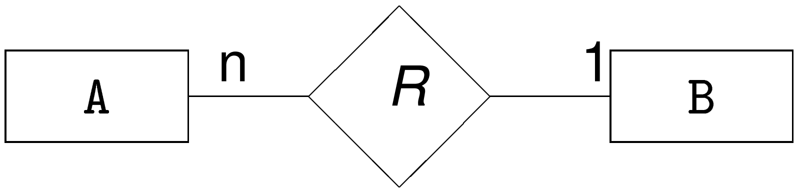
Die Angabe N entspricht $*$

Alternative Notationen für Kardinalitäten

- **Standard-Entity-Relationship-Modell:**
  Pfeile

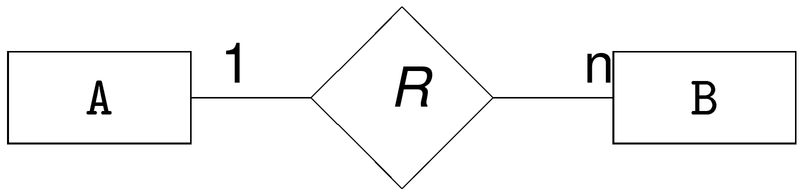


- **Standard-ER-Modell mit Kardinalitäten:**
  Numerische Werte statt Pfeilen



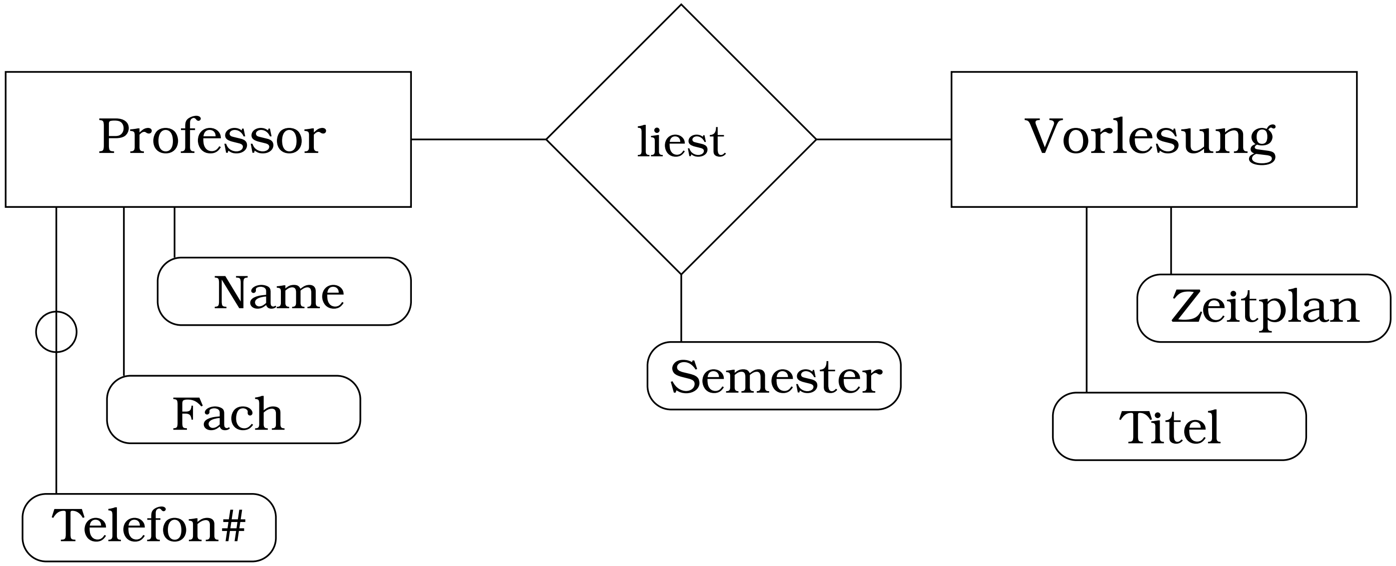
Alternative Notationen für Kardinalitäten II

- **Kardinalitäten als Teilnahmezahl:**



Achtung: Umgekehrt zum vorigen Fall!

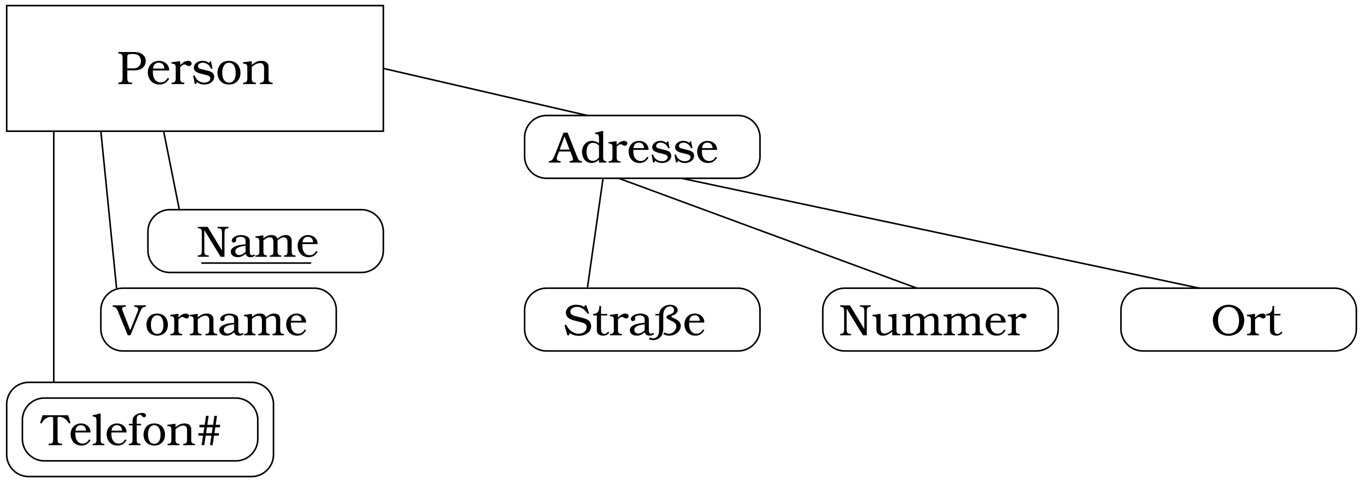
Optionalität von Attributen und Beziehungen



Optionale Attribute im ER-Modell

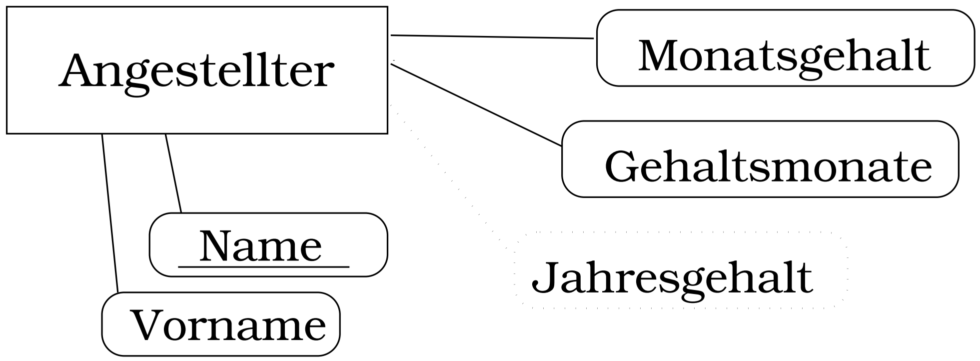
Weitere Konzepte

- **Strukturierte Attributwerte im ER-Modell**



Weitere Konzepte

- **Abgeleitete Attributwerte im ER-Modell**



*Jahresgehalt := Monatsgehalt * Gehaltsmonate*

Erweiterungen des ER-Modells I

- **Spezialisierung und Generalisierung**
  - *Spezialisierung* enstpricht IST-Beziehung:
    `Professor` Spezialisierung von `Mitarbeiter`
  - *Generalisierung*: Entities in einen *allgemeineren* Kontext.
    `Person` oder `Institut` als `Ausleiher`
  - *Partitionierung*: Spezialfall der Spezialisierung, mehrere *disjunkte* Entity-Typen.
    Partitionierung von Büchern in Monographien und Sammelbändern.

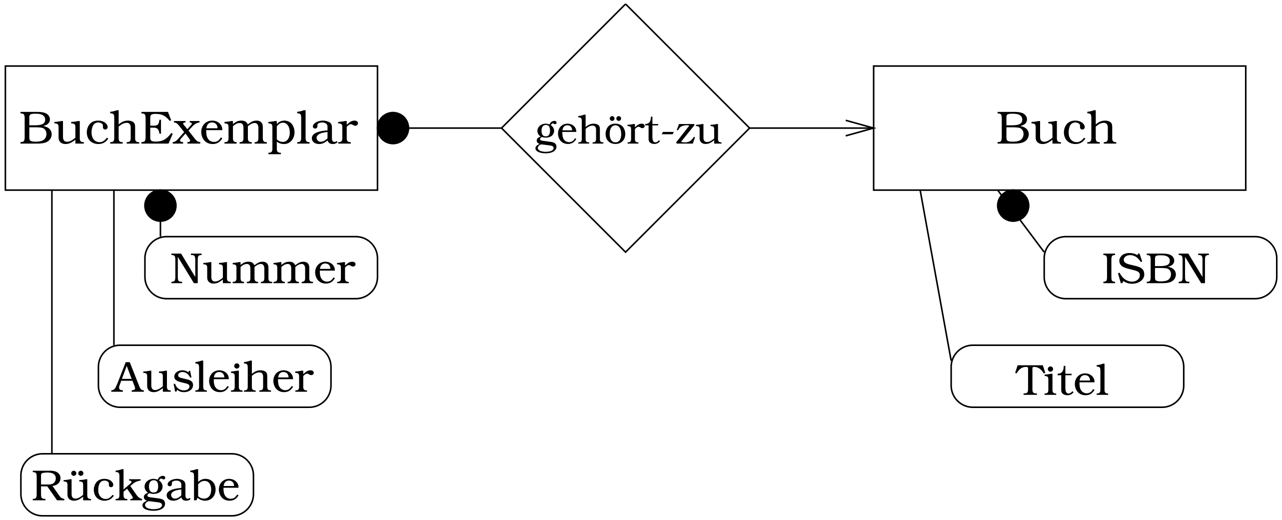
Erweiterungen des ER-Modells II

- **Komplexe Objekte**
  - *Aggregierung*: Entity aus einzelnen Instanzen anderer Entity-Typen zusammengesetzt.
    Fahrzeug zusammengesetzt aus Motor, Karosserie...
  - *Sammlung* oder *Assoziation*: Mengenbildung.
    Team als Gruppe von Personen.
- **Beziehungen höheren Typs**
  - *Spezialisierung* und *Generalisierung* auch für Beziehungstypen.
    Beispiel: Beziehung `Ausleihe` zu `Kurzausleihe` spezialisiert.
  - *Beziehungen zwischen Beziehungsinstanzen*: Beziehungen zweiter und höherer Ordnung

Ein erweitertes ER-Modell: Das EER-Modell

- Übernommene Grundkonzepte des ER-Modells
  - *Werte*: Standard-Datentypen des ER-Modells.
  - *Entities* bzw. *Entity-Typen*.
  - *Beziehungen* bzw. *Beziehungstypen*.
  - *Attribute*: unverändert.
  - *Funktionale Beziehungen*: unverändert.
  - *Schlüssel:* erweitertes Konzept, neue Noatation.
- *Nicht* übernommen:
  - IST-Beziehung ersetzt durch *Typkonstruktor*.
  - Abhängige Entity-Typen durch erweiterte Schlüsselkonzept objektwertige Attribute ersetzt.

Schlüsselnotation im EER-Modell



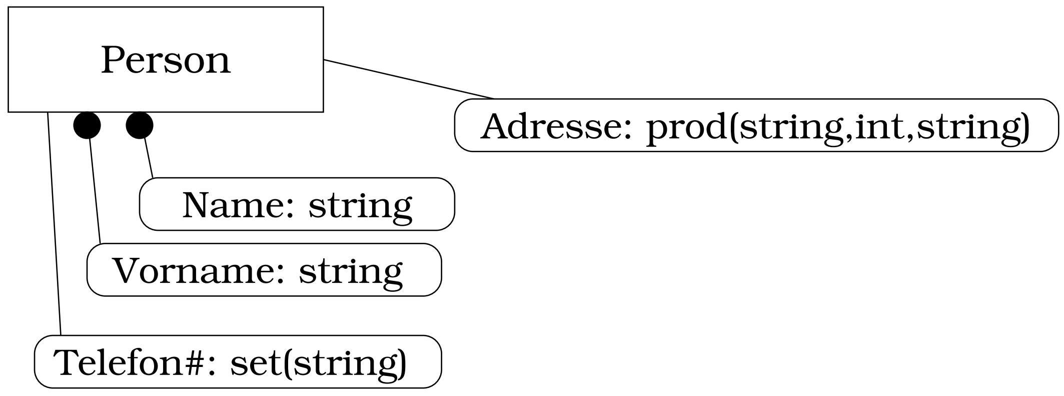
Komplexe Werte im EER-Modell

Mengen- und tupelwertige Attribute im EER-Modells

prod:	Tupelbildung	$\mathbf{point} = \mathbf{prod}(\mathbf{real}, \mathbf{real})$
list:	Listen / Folgen von Werten	$\mathbf{polygon} = \mathbf{list}(\mathbf{point})$
set:	Mengen	$\mathbf{holidays} = \mathbf{set}(\mathbf{date})$
bag:	Multimengen	$\mathbf{birthdays\_of\_a\_group} = \mathbf{bag}(\mathbf{date})$

Komplexe Werte im EER-Modell II

Graphische Notation:



Nicht-Standard-Datentypen im EER-Modell

Ein Nicht-Standard-Datentyp D stellt einen Wertebereich $\mu(D)$ mit Operationen dar, z.B.:

$$\mu(\mathbf{point}) = \mu(\mathbf{real}) \times \mu(\mathbf{real})$$

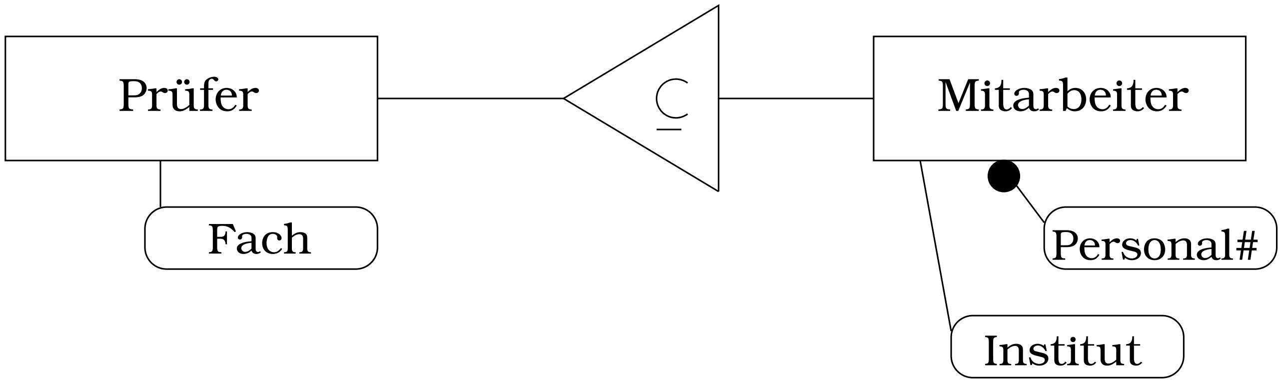
Für jeden Nicht-Standard-Datentyp können spezifische Operationen, etwa $+$, $-$, **distance** etc. für den Datentyp **point**, durch Gleichungen spezifiziert oder in einer imperativen, an Programmiersprachen angelehnten Notation definiert werden.

Typkonstruktor: Spezialisierung, Generalisierung, Partitionierung

Ein Modellierungskonzept für

- Spezialisierung / IST-Beziehung
- Generalisierung
- Partitionierung

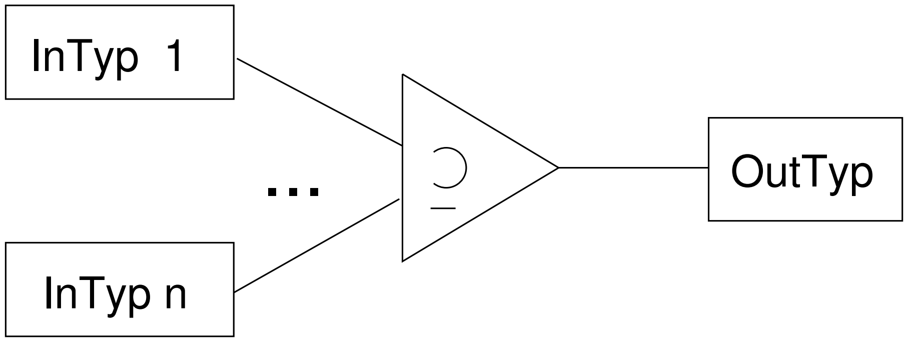
Spezialisierung mit Typkonstruktor



Spezialisierung (IST-Beziehung) notiert mit dem Typkonstruktor des EER-Modells

Generalisierung

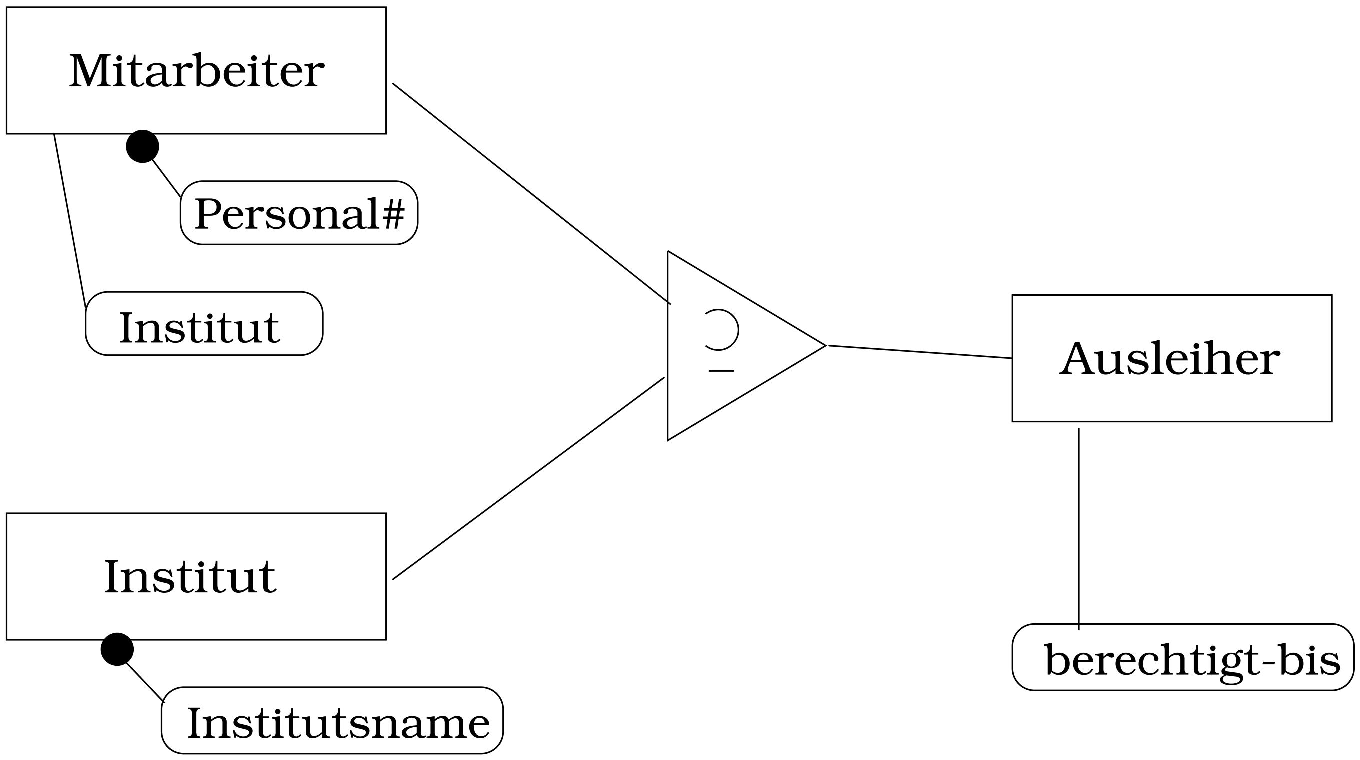
Notation: Typkonstruktor für Generalisierung



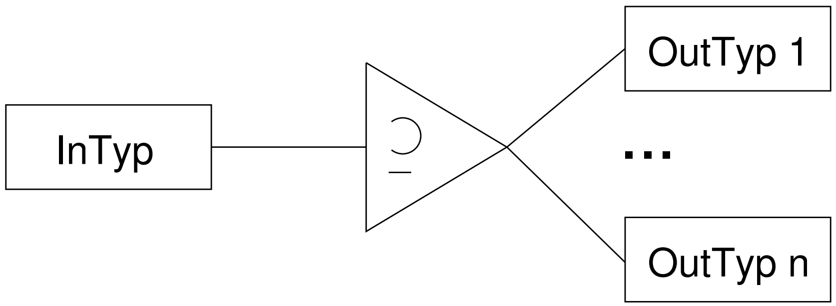
Bedeutung:

$$\bigcup_i \sigma(\texttt{InTyp}_i) \supseteq \sigma(\texttt{OutTyp})$$

Beispiel für Generalisierung im EER-Modell



Partitionierung



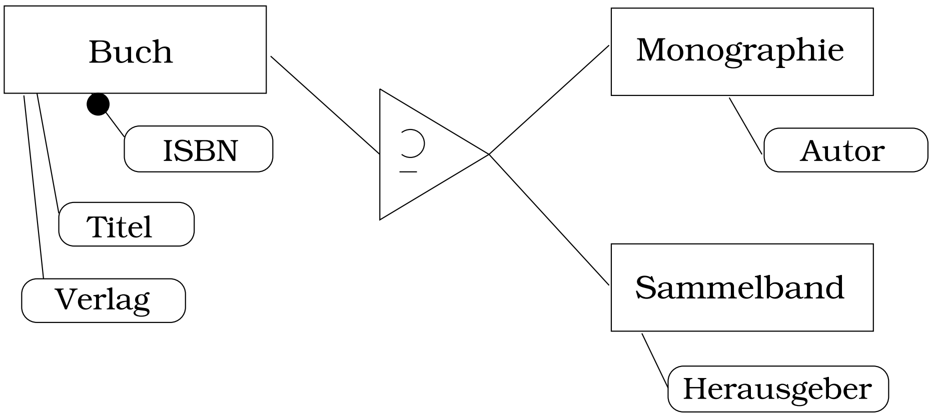
Semantik:

- Teilmengenbeziehung: $\sigma(\texttt{InTyp}) \supseteq \bigcup_i(\sigma(\texttt{OutTyp}_i))$
- Disjunktheit der Partitionen:

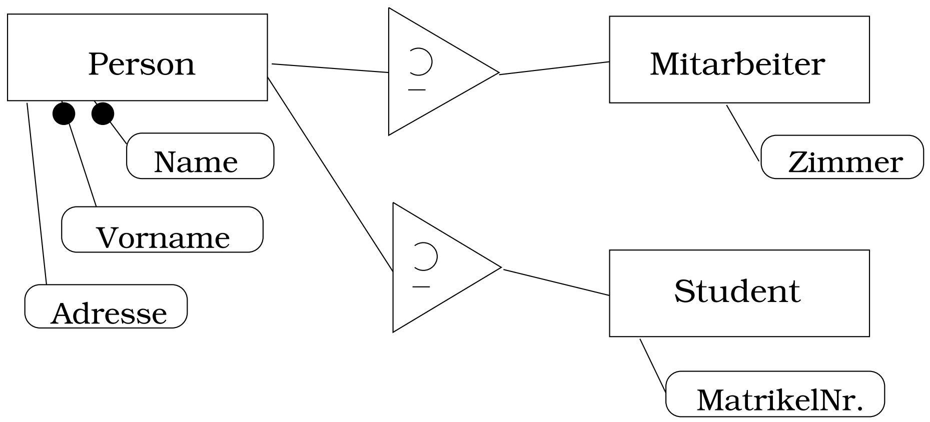
$$\forall i,j: \quad i \neq j \implies \sigma(\texttt{OutTyp}_i) \cap \sigma(\texttt{OutTyp}_j) = \{\}$$

Partitionierung versus mehrfache Spezialisierung

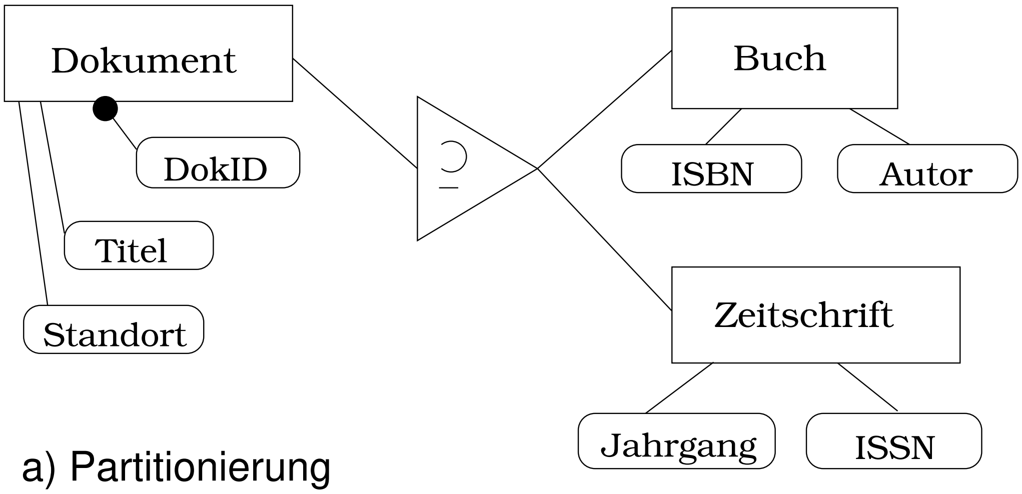
Beispiel für Partitionierung im EER-Modell



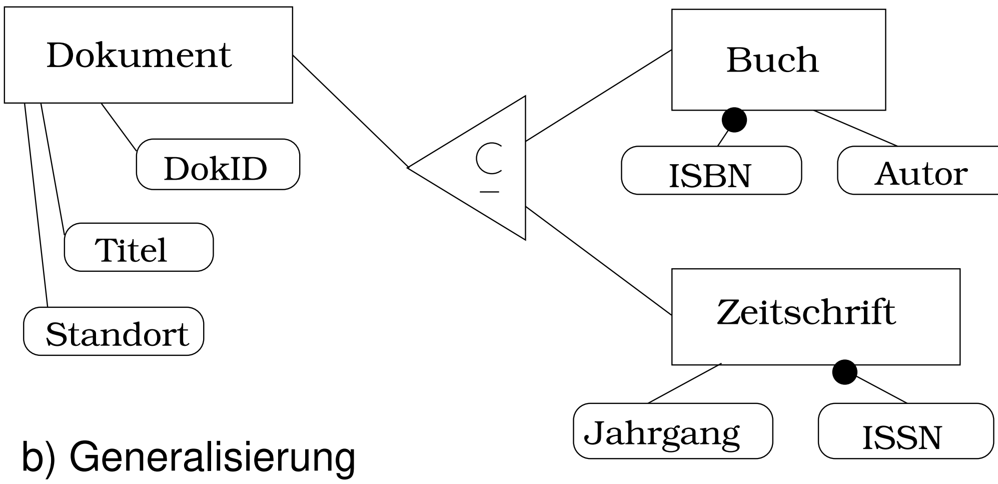
Mehrfache Spezialisierung im EER-Modell



Partitionierung versus Generalisierung



a) Partitionierung



b) Generalisierung

Partitionierung und Generalisierung im Vergleich

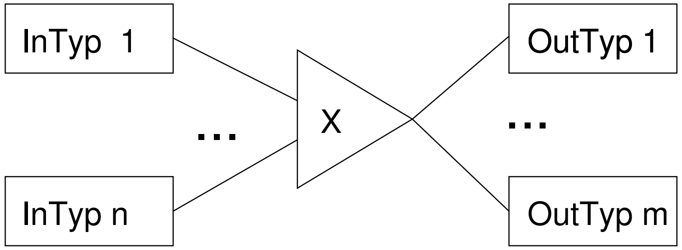
Partitionierung:

$$\sigma(\texttt{Dokument}) \supseteq \sigma(\texttt{Buch}) \cup \sigma(\texttt{Zeitschrift})$$

Generalisierung:

$$\sigma(\texttt{Dokument}) \subseteq \sigma(\texttt{Buch}) \cup \sigma(\texttt{Zeitschrift})$$

Semantik des allgemeinen Typkonstruktors



Ausgabetypen sind Spezialisierungen der Eingabetypen:

$$\bigcup_j (\sigma(\texttt{InTyp}_j)) \supseteq \bigcup_i (\sigma(\texttt{OutTyp}_i))$$

Semantik des allgemeinen Typkonstruktors II

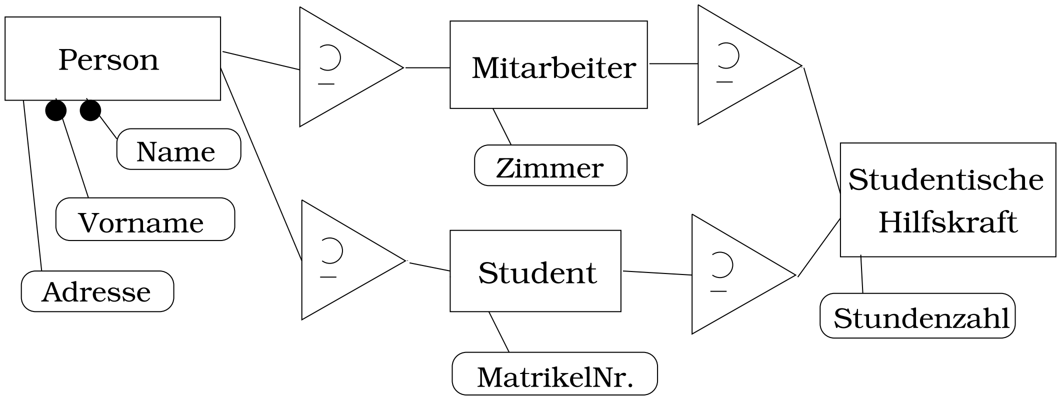
Falls X Gleichheitszeichen:

$$\bigcup_j (\sigma(\mathtt{InTyp}_j)) = \bigcup_i (\sigma(\mathtt{OutTyp}_i))$$

Ausgabetypen sind disjunkt:

$$\forall i, j : \quad i \neq j \implies \sigma(\mathtt{OutTyp}_i) \cap \sigma(\mathtt{OutTyp}_j) = \{\}$$

Mehrfachspezialisierung

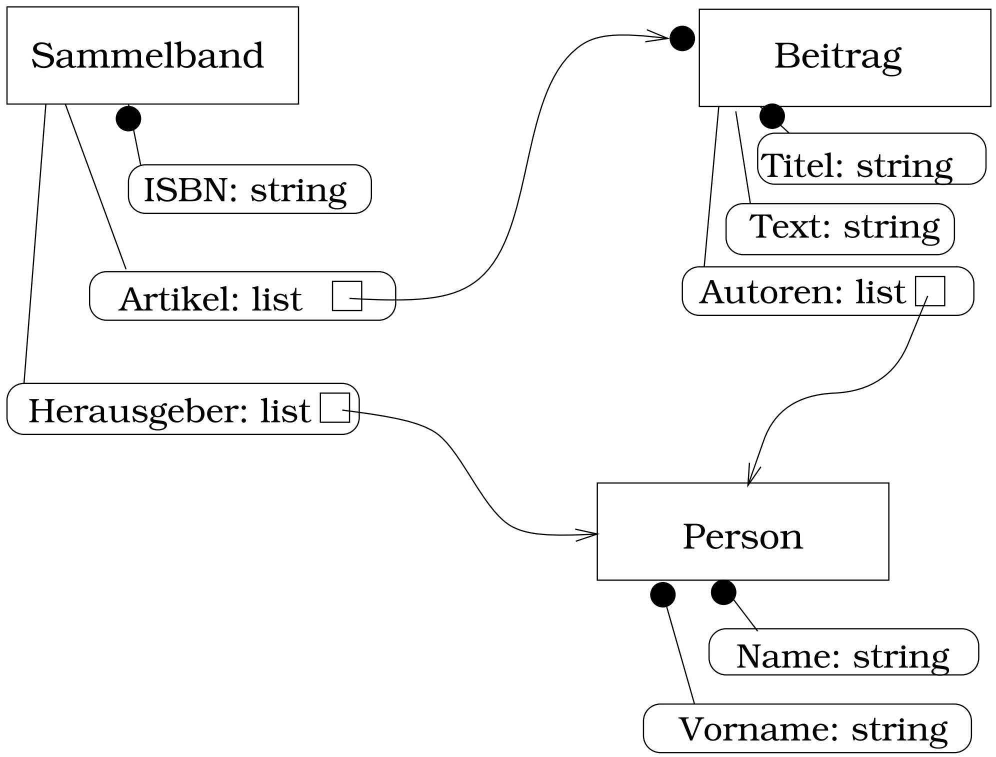


Mehrfachspezialisierung zu `StudentischeHilfskraft`

$$\sigma(\texttt{StudentischeHilfskraft}) \subseteq \sigma(\texttt{Student}) \cap \sigma(\texttt{Mitarbeiter})$$

Mehrfachspezialisierungen sind nur erlaubt, wenn die Eingabe-Typen direkt oder indirekt aus einer gemeinsamen Ausgangsklasse konstruiert wurden.

Aggregierung und Sammlung mittels objektwertiger Attribute



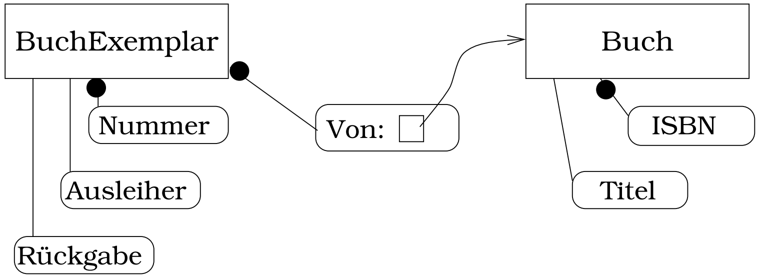
Objektwertige Attribute im EER-Modell

Ein objektwertiges Attribut A eines Entity-Typs $E(\ldots, A : E_A, \ldots)$, das Werte eines anderen Entity-Typs E_A annehmen kann, entspricht der Funktion:

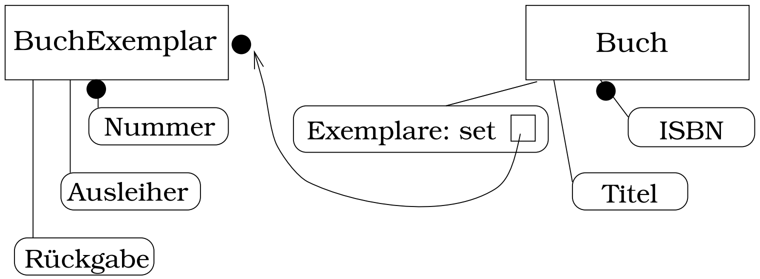
$$\sigma(A) : \sigma(E) \rightarrow \sigma(E_A)$$

Erweitertes Schlüsselkonzept

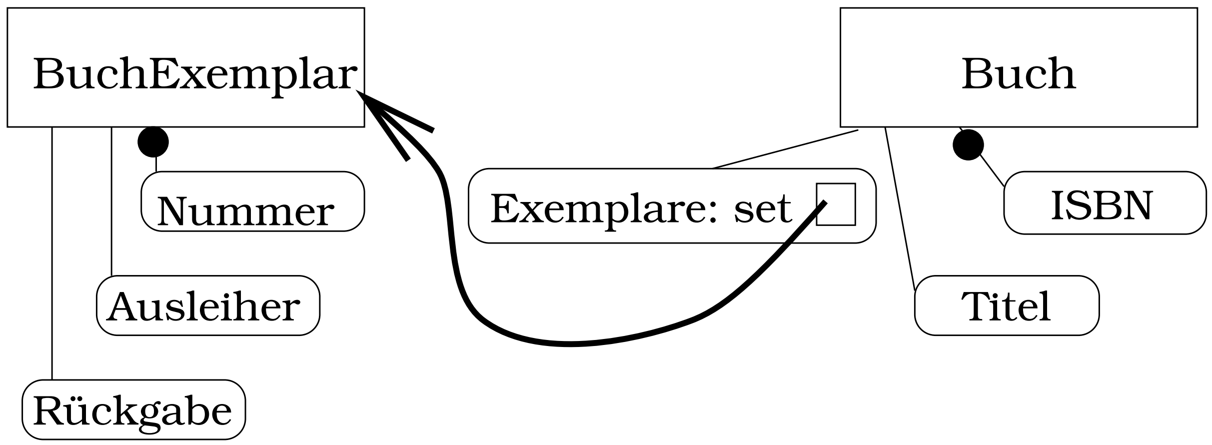
- Objektwertige Attribute als Schlüsselattribute:



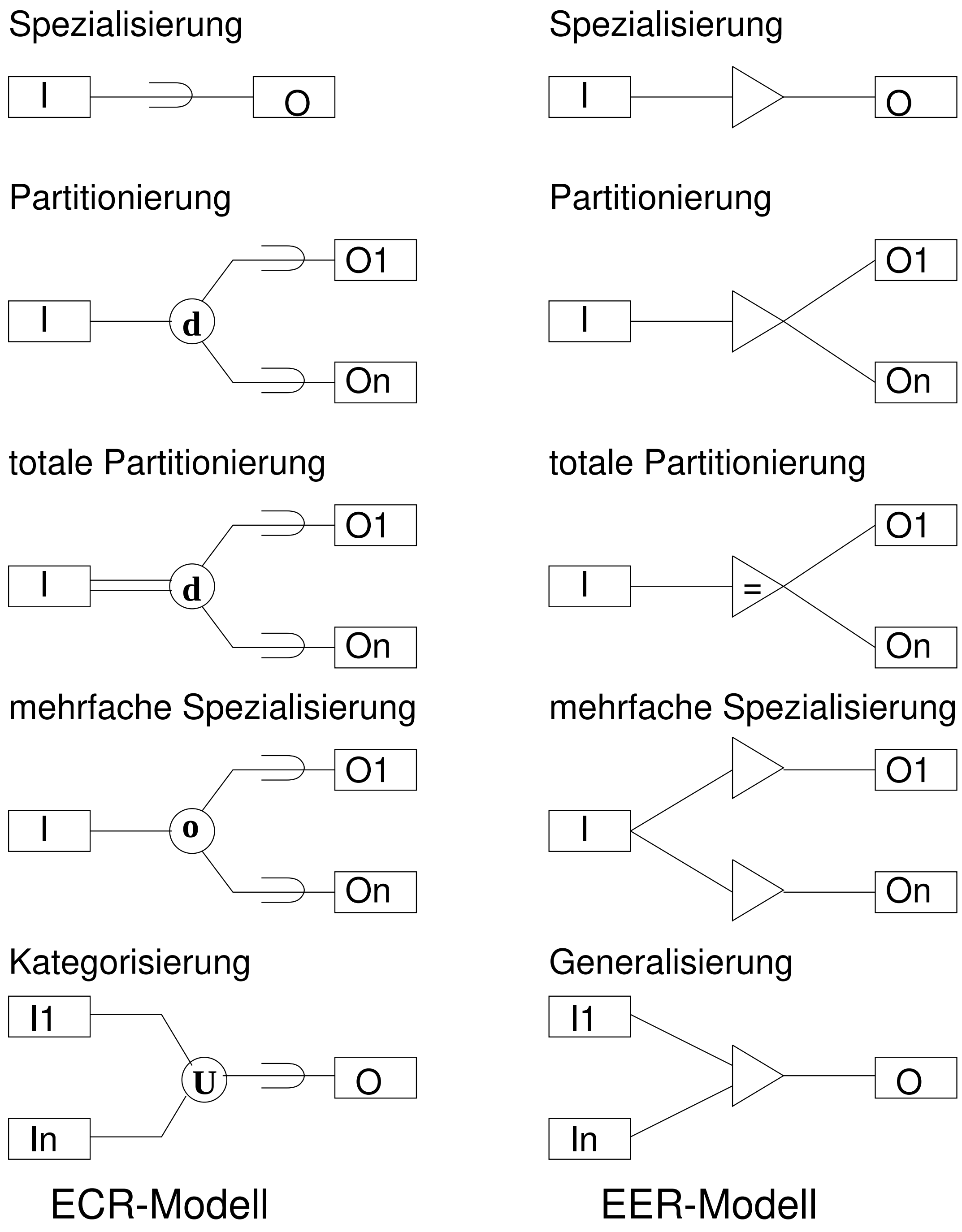
- Einsatz zur Modellierung abhängiger Entity-Typen:



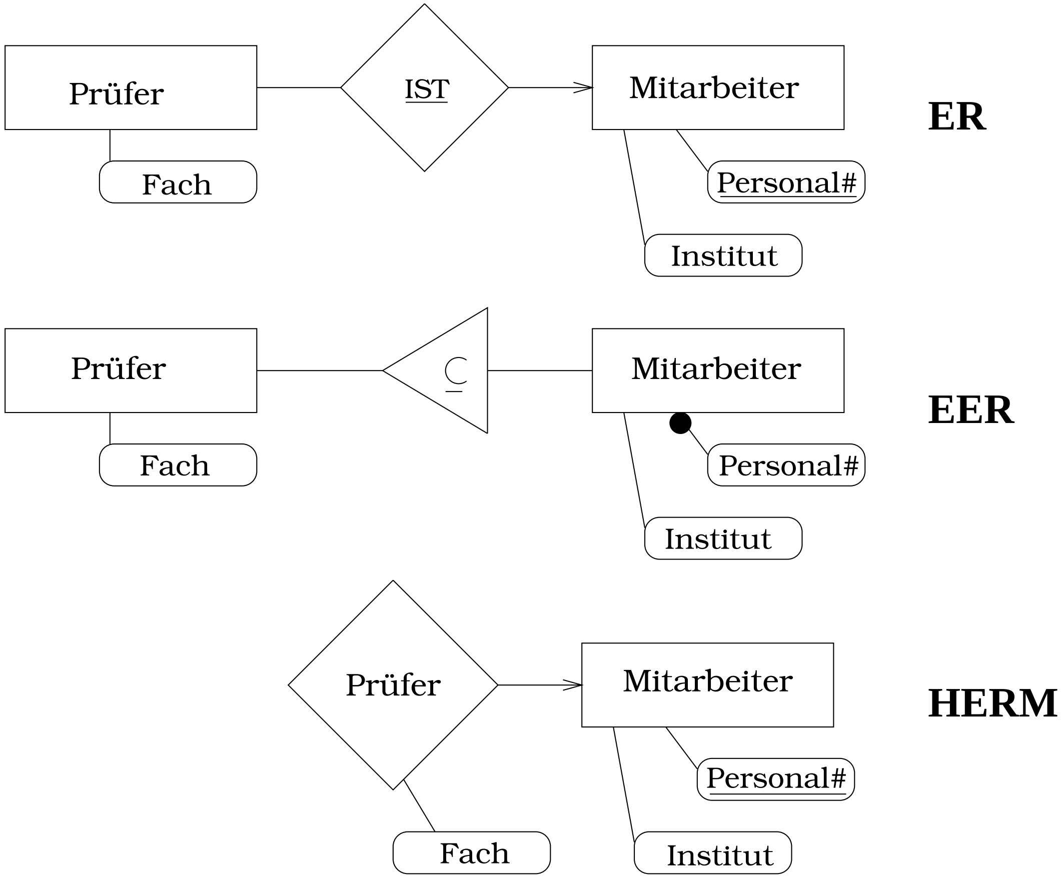
Modellierung abhängiger Entity-Typen im EER-Modell (alternative Notation)



Notationen im ECR- und EER-Modell



Spezialisierung im ER-Modell, im EER-Modell und HERM



Begriffe des ER- und EER-Modells I

Begriff	**Informale Bedeutung**	**ER**	**EER**
Entity	zu repräsentierende Informationseinheit	x	x
Entity-Typ	Gruppierung von Entities mit gleichen Eigenschaften	x	x
Beziehungstyp	Gruppierung von Beziehungen zwischen Entities	x	x
Attribut	datenwertige Eigenschaft eines Entities oder einer Beziehung	x	x
funktionale Beziehung	Beziehungstyp mit Funktionseigenschaft	x	x

Begriffe des ER- und EER-Modells II

Begriff	Informale Bedeutung	ER	EER
Schlüssel	identifizierende Eigenschaft von Entities	x	x
abhängige Entities	Entities, die nur abhängig von anderen Entities existieren können	x	
IST-Beziehung	Spezialisierung von Entity-Typen	x	
Kardinalitäten	Einschränkung von Beziehungstypen bezüglich der mehrfachen Teilnahme von Entities an ihr	x	x

Begriffe des ER- und EER-Modells III

Begriff	Informale Bedeutung	ER	EER
Optionalität	Attribute oder funktionale Beziehungen als partielle Funktionen	x	x
strukturierte Attribute	zusammengesetzte Attributwerte		x
abgeleitete Attribute	durch eine Berechnungsvorschrift berechnete Attributwerte		x
Spezialisierung	Verfeinerung eines Entity-Typen zu einem spezielleren Entity-Typ		x
Generalisierung	Zusammenfassung von Entity-Typen zu einem allgemeineren Entity-Typ		x

Begriffe des ER- und EER-Modells IV

Begriff	**Informale Bedeutung**	**ER**	**EER**
Partitionierung	mehrere disjunkte Spezialisierungen eines Entity-Typen		x
Aggregierung	Zusammensetzung von Entities aus anderen Entities		x
objektwertige Attribute	Attribute, die Entity-Typen als Wertebereich haben		x

Objektorientierte Modelle für den Entwurf

Seit Beginn der 90er Jahre: Ansätze zur objektorientierten Analyse und zum objektorientierten Entwurf

Ansätze der ersten Generation

- *Object Modelling Technique (OMT)* von Rumbaugh
- Methoden von Jacobson, Booch, . . .

Ab Mitte der 90er Jahre: Vereinheitlichung zur *Unified Modeling Language (UML)* (Booch, Jacobson, Rumbaugh)

Entwurf mit UML

- **Objektmodell:** Anreicherung von EER-Modellen um objektorientierte Konzepte (Klassen, Beziehungen, Operationen, . . .)
- **Dynamikmodell:** Beschreibung des dynamischen Verhaltens eines Objektes in Form von Übergangsautomaten (Übergänge entsprechen Systemereignissen)
- **Funktionenmodell:** Datenflußdiagramme zur Darstellung globaler Berechnungsabläufe
- **Anwendungsfälle**
- **Implementierungsdiagramme**
- ...

Objektmodell von UML

- Erweiterung des EER-Modells
- Unterscheidung in
  - **Klassendiagramm**: entspricht Datenbankschema-Notation $\leadsto$ beschreibt Typen von Kollektionen von Instanzen
  - **Objektdiagramm**: beschreibt Einzelobjekte
- Beschreibung von *strukturellen Aspekten* (Attribute, Beziehungen) und *Operationen*
- Formulierung von Integritätsbedingungen und Ableitungsregeln (textuell, Object Constraint Language)

Darstellung von Klassen

- Klassen

Klassenname
Attribute
Operationen

- Attribute

  `name: typ = initialerWert { Zusicherung }`

- Operationen

  `name { Parameterliste }`

Darstellung von Klassen II

Weitere Angaben

- verschiedene Arten von Klassen, speziell *abstrakte Klassen* (Notation: $\{$ **abstract** $\}$, *Metaklassen* und *parametrisierte Klassen*
- Sichtbarkeit von Attributen (**private**, **protected**, **public**) sowie **readonly**-Attribute
- Abgeleitete (berechnete) Attribute durch vorangestelltes /-Symbol
- Klassenattribute durch Unterstreichung

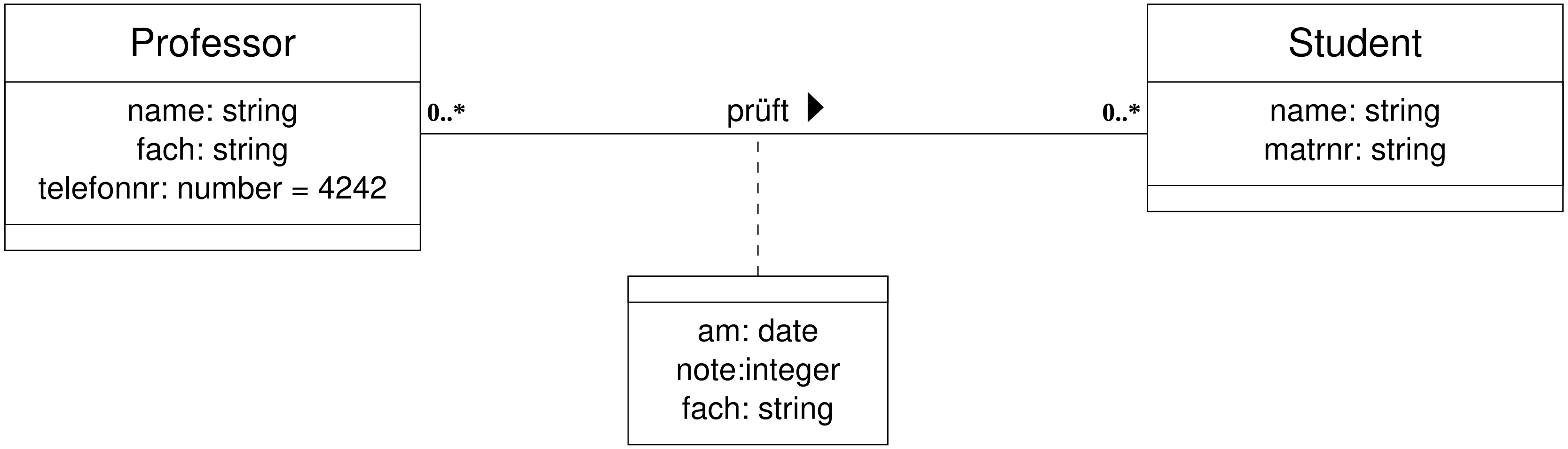
Beziehungen

Standardfall: binäre Beziehungen (*Assoziationen*)

- Bezeichner der Beziehung mit Leserichtung (keine funktionale Beziehung)
- Rollennamen für Implementierung von Referenzattributen
- Kardinalitäten analog zum ER-Modell
- optional: Zusicherung

Beziehungen mit Attributen

Beziehungen mit Attributen als „degenerierte“ Klassen



Qualifizierende Beziehungen

Zugriffsschlüssel für spätere Implementierung

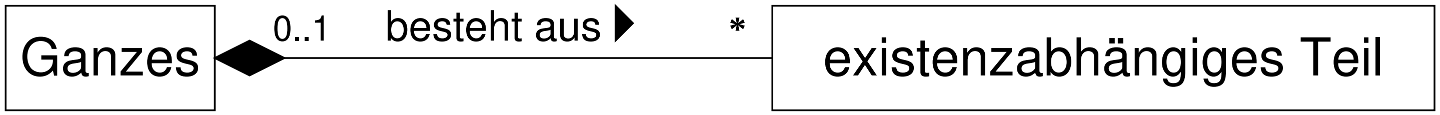
Weitere Beziehungen

- **Abgeleitete Beziehungen**
  - Beispiel: berechnete Referenz zur Abkürzung von mehrstufigen Referenzpfaden
  - Notation: Bezeichner mit vorangestelltem /-Symbol
- **n-stellige Beziehungen**
  - Notation wie im ER-Modell durch Raute

Aggregation in UML

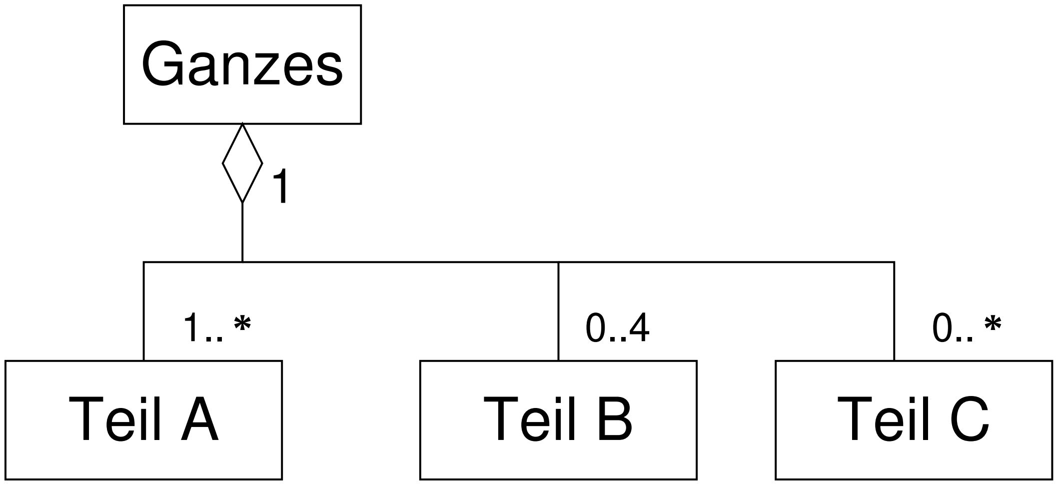
Aggregation über binäre Assoziation mit besonderer Notation

Komposition: Abhängige Objekte als Spezialfall



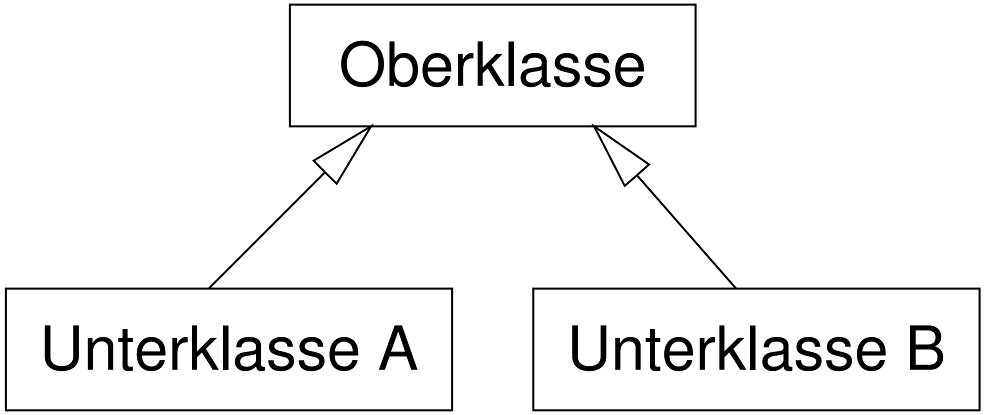
Aggregation in UML II

Baumdarstellung für mehrere aggregierte Teile



Spezialisierung

Spezialisierung mit Vererbung



Angabe von Zusicherungen (**overlapping**, **disjoint**, **complete**, **incomplete**) möglich

Spezialisierung mit Diskriminator

- Spezielle Form der Spezialisierung
- Aufzählungsattribut (*Diskriminator*) teilt Instanzen in Unterklassen auf
- Wertebereich des Diskriminators: beteiligte Klassennamen