2. Informationsmodellierung mit Entity-Relationship-Modell und UML

- Einführung Modellierung / Abstraktionskonzepte
- Entity-Relationship-Modell
  - Entity-Mengen, Attribute und Wertebereiche
  - Primärschlüssel
  - Relationship-Mengen
  - Klassifikation der Beziehungstypen (1:1, n:1, 1:n, n:m)
  - schwache Entity-Mengen
- Modellierung mit UML (Klassendiagramme)
  - Kardinalitätsrestriktionen (Multiplizitäten)
  - Generalisierung / Spezialisierung
  - Aggregation

Lernziele Kapitel 2

- Kenntnis der Vorgehensweise beim DB-Entwurf
- Grundkonzepte des ER-Modells sowie von UML-Klassendiagrammen
- Kenntnis der Abstraktionskonzepte, insbesondere von Generalisierung und Aggregation
- Fähigkeit zur praktischen Anwendung der Konzepte
  - Erstellung von ER-Modellen und -Diagrammen bzw. UML-Modellen für gegebene Anwendungsszenarien
  - Festlegung der Primärschlüssel, Beziehungstypen, Kardinalitäten, Existenzabhängigkeiten etc.
  - Interpretation gegebener ER- bzw. UML-Modelle

Informations- und Datenmodellierung (DB-Entwurf)

Ziele:

- modellhafte Abbildung eines anwendungsorientierten Ausschnitts der realen Welt (Miniwelt)
- Entwurf der logischen DB-Struktur (DB-Entwurf)

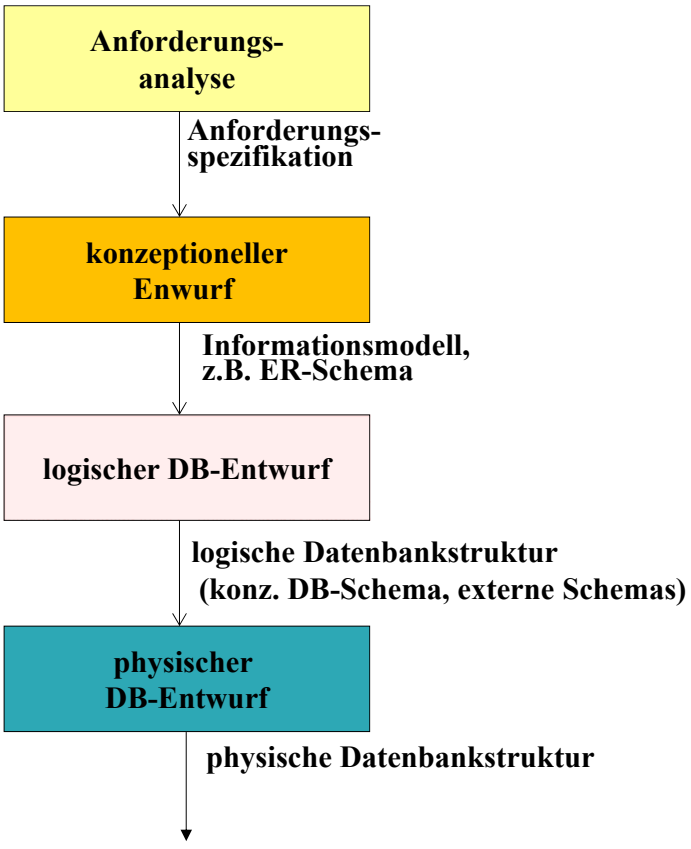
Nebenbedingungen:

- Vollständigkeit
- Korrektheit
- Minimalität
- Lesbarkeit, Modifizierbarkeit

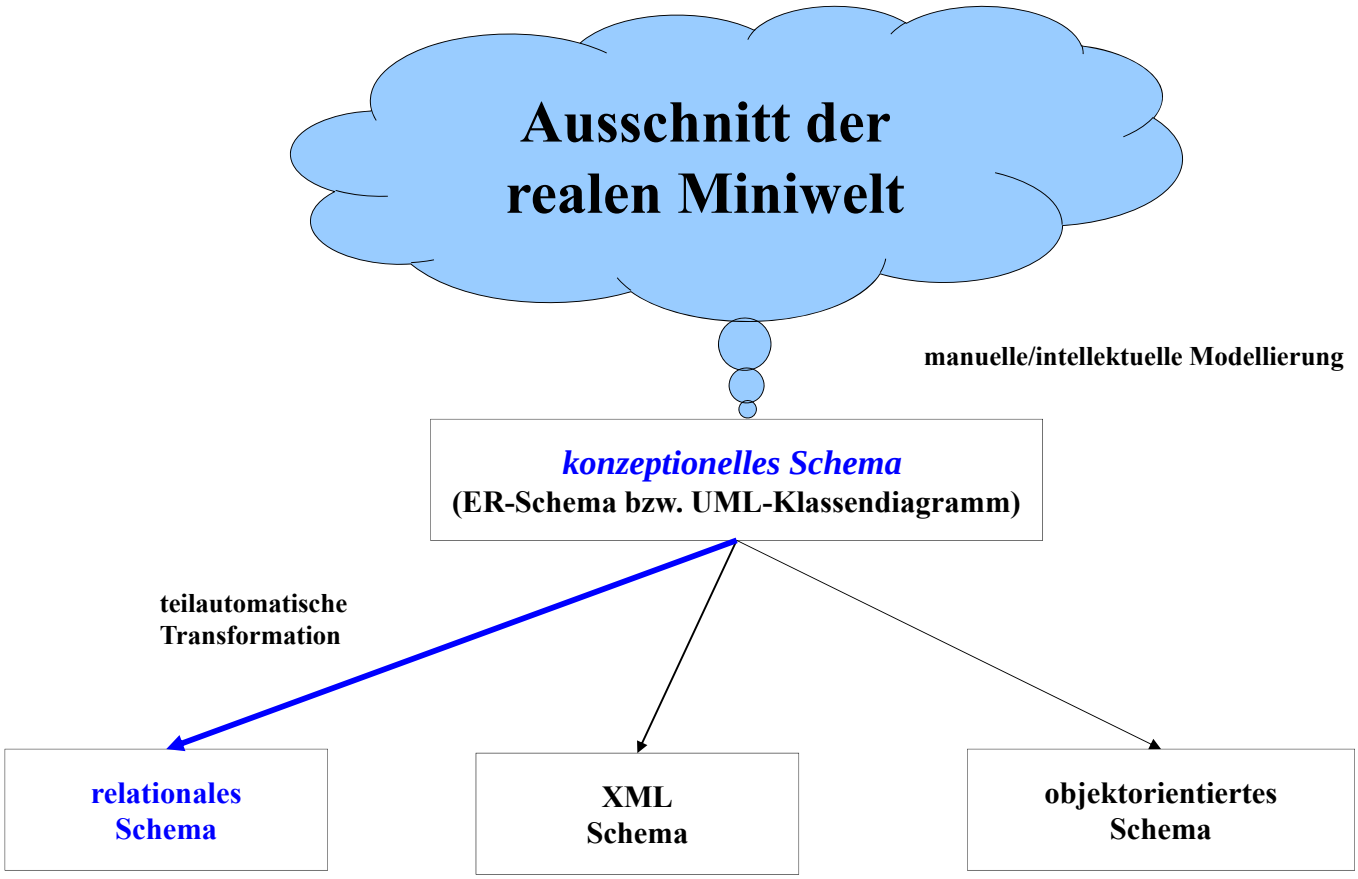
schrittweise Ableitung (verschiedene Sichten)

1) Information in unserer Vorstellung
2) Informationsstruktur: Organisationsform der Information
3) Logische (zugriffspfadunabhängige) Datenstruktur (Was-Aspekt)
4) Physische Datenstruktur (Was- und Wie-Aspekt)

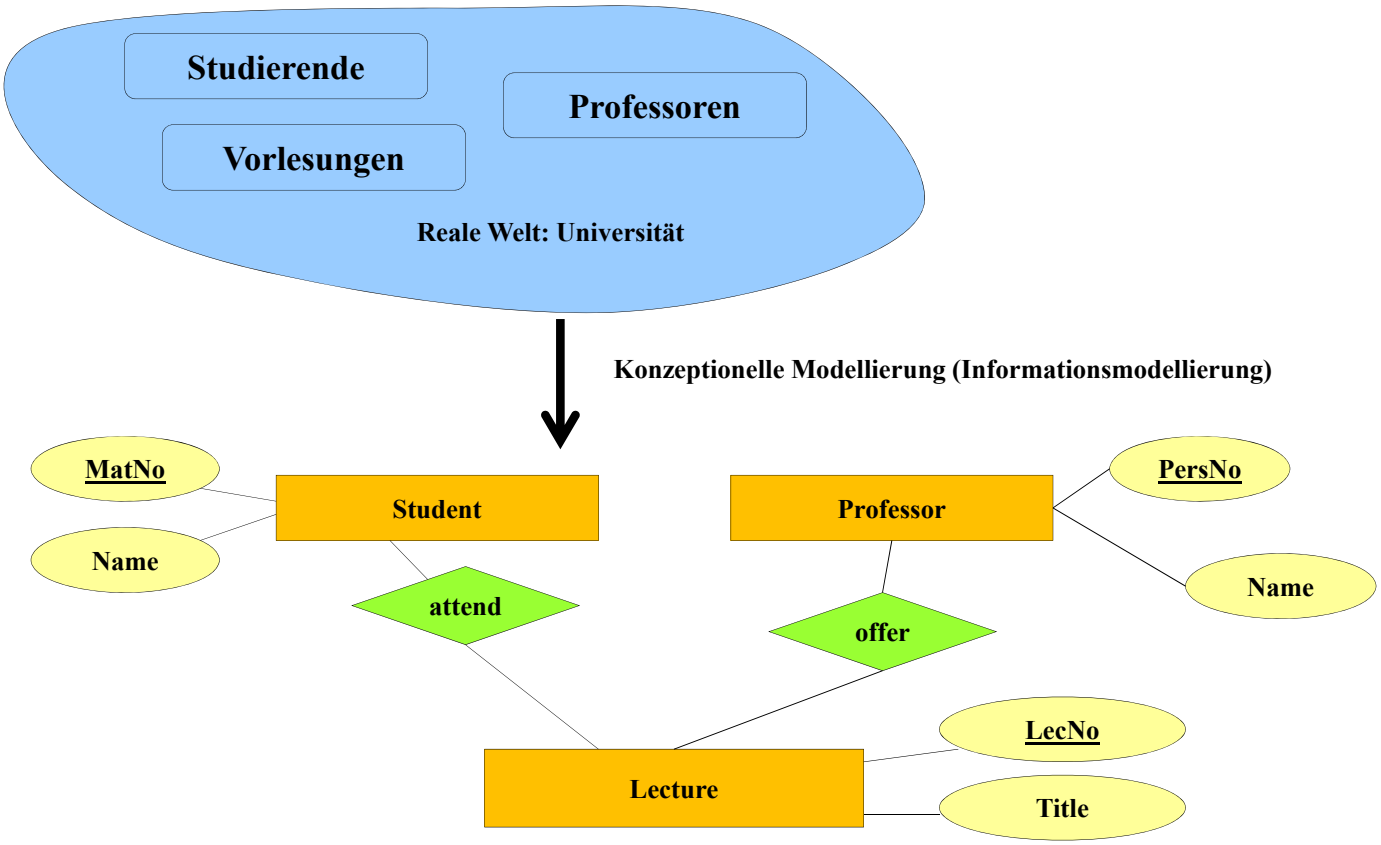
Phasen des DB-Entwurfs



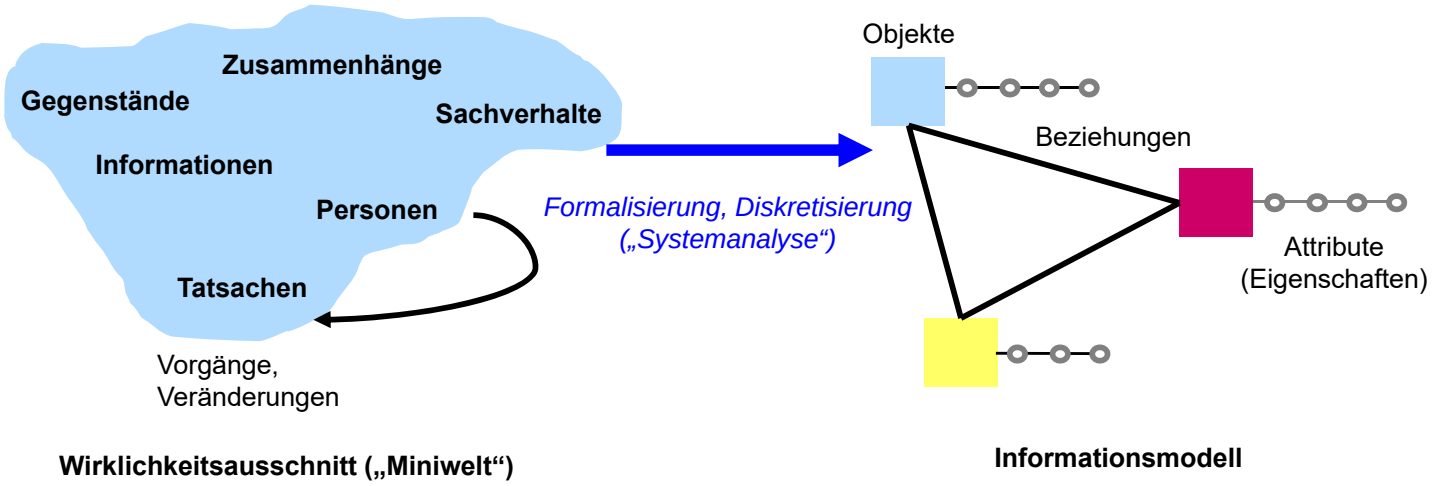
Datenmodellierung



Modellierungsbeispiel



Informationsmodellierung



- Darstellungselemente + Regeln:
  - Objekte (Entities) und Beziehungen (Relationships)
  - Klassen von Objekten / Beziehungen
  - Eigenschaften (Attribute)
- Informationen über Objekte und Beziehungen nur wenn:
  - relevant
  - unterscheidbar und identifizierbar, selektiv beschreibbar

Abstraktionskonzepte

- Informations- und Datenmodelle basieren auf drei grundlegenden Abstraktionskonzepten
- Klassifikation: fasst Objekte (Entities, Instanzen) mit gemeinsamen Eigenschaften zu einem neuen (Mengen-) Objekt (Entity-Menge, Klasse, Objekttyp) zusammen.
  - Instanzen/Objekten einer Klasse unterliegen gleicher Struktur (Attribute), gleichen Integritätsbedingungen, gleichen Operationen
  - mathematisch: Mengenbildung
- Aggregation: Zusammenfassung potentiell unterschiedlicher Teilobjekte (Komponenten) zu neuem Objekt
  - mathematisch: Bildung von kartesischen Produkten
- Generalisierung / Spezialisierung: Teilmengenbeziehungen zwischen Elementen verschiedener Klassen
  - mathematisch: Bildung von Potenzmengen (bzw. Teilmengen)
  - wesentlich: Vererbung von Eigenschaften an Teilmengen

Entity-Relationship-Modell

- entwickelt von P. P. Chen
  - ACM Transactions on Database Systems 1976
- Konzepte:
  - Entity-Mengen
  - Beziehungsmengen (Relationship-Mengen)
  - Attribute
  - Wertebereiche
  - Primärschlüssel
- unterstützt Abstraktionskonzepte Klassifikation und Aggregation
- zahlreiche Erweiterungsvorschläge
- graphische Darstellung durch Diagramme
- weite Verbreitung über DB-Entwurf hinaus
  - Systemanalyse
  - Unternehmensmodellierung

Entity-Mengen

- *Entity* (Entität, Gegenstand): repräsentiert abstraktes oder physisches Objekt der realen Welt
- gleichartige Entities (d. h. Entities mit gemeinsamen Eigenschaften) werden zu *Entity-Mengen* (Gegenstandstypen, Objekttypen) zusammengefasst (Klassifikation)

  => Entities sind Elemente einer (homogenen) Menge: $e \in E$

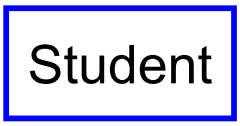
  z. B. Personen, Projekte ...
  Bücher, Autoren ...
  Kunden, Vertreter, Wein, Behälter
- DB enthält endlich viele Entity-Mengen: $E_1, E_2, ..., E_n$
  - nicht notwendigerweise disjunkt, z.B. Student und Person
- Symbol für Entity-Menge E:

Attribute und Wertebereiche

- Attribute und Attributwerte:
  - Eigenschaften von Entity-Mengen werden durch Attribute bestimmt
  - Eigenschaften einzelner Entities sind durch Attributwerte festgelegt
  - **Nullwert**: spezieller Attributwert, dessen Wert unbekannt oder nicht möglich ist (z. B. akadTitel
- jedem Attribut ist ein Wertebereich (Domain) zugeordnet, der festlegt, welche Attributwerte zulässig sind (Integritätsbedingung !)

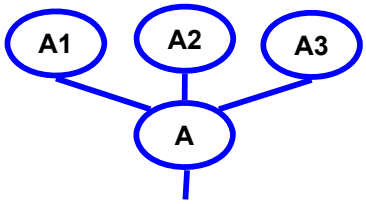
  $E (A_1: D_1, A_2: D_2, \ldots A_n: D_n)$

  Beispiel: Student (MatNo: int, Name: char(50))
- Attributsymbol in ER-Diagrammen:



Attributarten

- *einfache* vs. *zusammengesetzte* Attribute
  - Beispiele: NAME [FirstName: char (30), LastName: char (30)]
    ADDRESS [Street: char (30), City: char (30), ZIP: char (5)]
  - Domain für zusammengesetztes Attribut A $[A_1, A_2, \ldots A_k]$:
    $W (A_1) \times W (A_2) \times \ldots \times W (A_k)$
- *einwertige* vs. *mehrwertige* Attribute
  - Beispiele: Color: {char (20)}
    Child: {[Name: char (30), Age: int]}
- Symbole:



zusammengesetztes Attribut

mehrwertiges Attribut

Schlüsselkandidat

- Schlüsselkandidat oder kurz Schlüssel (key)
  - einwertiges Attribut oder Attributkombination, die jedes Entity einer Entity-Menge eindeutig identifiziert
  - keine Nullwerte!
  - mehrere Schlüsselkandidaten pro Entity-Menge möglich
- Definition Schlüsselkandidat

  $A = \{A_1, A_2, ..., A_m\}$ sei Menge der Attribute zu Entity-Menge E

  $\mathbf{K} \subseteq \mathbf{A}$ heißt Schlüsselkandidat von E $\Leftrightarrow$
  1. $\forall\ e_i, e_j \in E$ mit $e_i \neq e_j$ ---> $\mathbf{K}(e_i) \neq \mathbf{K}(e_j)$;
  2. **K minimal,** d.h. keine echte Teilmenge von K bietet Eigenschaft 1.

Ist {MatNo, Name} Schlüsselkandidat für Student?

Primärschlüssel

- Primärschlüssel = Schlüsselkandidat
  - ggf. unter mehreren Kandidaten einen auszuwählen
  - ggf. künstlich zu erzeugen (lfd. Nr.)

Beispiel:

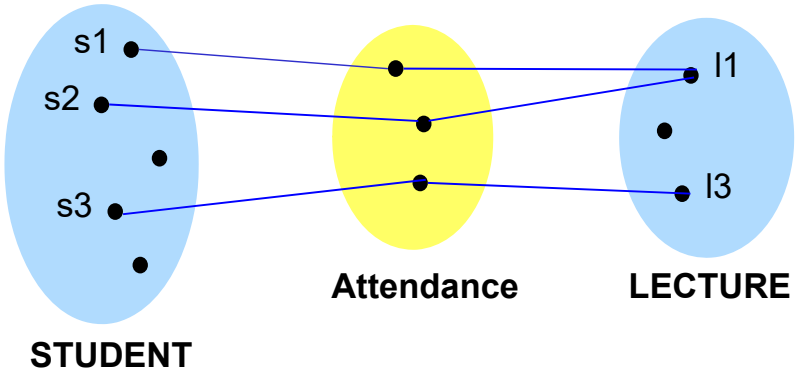
Prof (Room, SecrPhone, FirstName, LastName, PNo)

11	34567	Karl	Meier	294
12	34567	Anita	Schulz	343
23	45678	Karl	Schulz	569

- Primärschlüsselattribute werden durch Unterstreichung gekennzeichnet

Relationships

- Relationship-Menge: Zusammenfassung gleichartiger Beziehungen (Relationships) zwischen Entities, die jeweils gleichen Entity-Mengen angehören
- Beispiel: Beziehungen *Vorlesungsteilnahme* zwischen *Student* und *Vorlesung*



Relationships (2)

- Relationship-Menge R
  entspricht mathematischer Relation zwischen n Entity-Mengen E_i

  $R \subseteq E_1 \times E_2 \times ... \times E_n$,

  d. h. $R = \{r = [e_1, e_2, ..., e_n] \mid e_1 \in E_1, ..., e_n \in E_n\}$

  gewöhnlich: n=2 oder n=3

- Symbol:

- Beispiel:

Attendance $\subseteq$ Student $\times$ Lecture

konkret ={[s1,l1],[s2,l1],[s3,l3]}

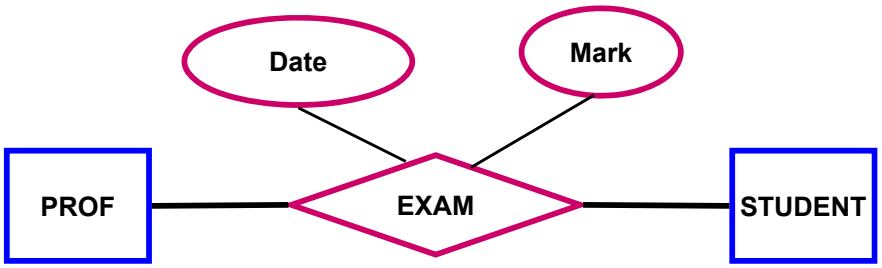
Relationships (3)

- Relationship-Mengen können auch Attribute besitzen

$$R \subseteq E_1 \times E_2 \times ... \times E_n \times W(A_1) \times ... \times W(A_m)$$

$$\text{d. h. } R = \{r = [e_1, e_2, ..., e_n, a_1, a_2, ... a_m] \mid e_i \in E_i, \quad a_j \in W(A_j)\}$$

- Beispiel



PROF (PNo, PName, Topic)

STUDENT (MatNo, SName, StartDate)

EXAM (PROF, STUDENT, Date, Mark)

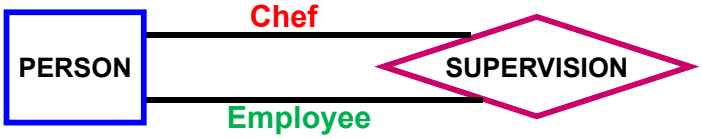
- Entities e_i können durch ihre Primärschlüssel repräsentiert werden
  z.B. Prüfung (*p1*, *s3*, 11.7.2022, 2.3)

Relationships (4)

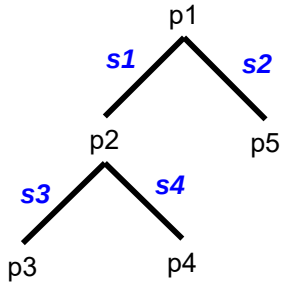
- keine Disjunktheit der beteiligten Entity-Mengen gefordert (rekursive Beziehungen)

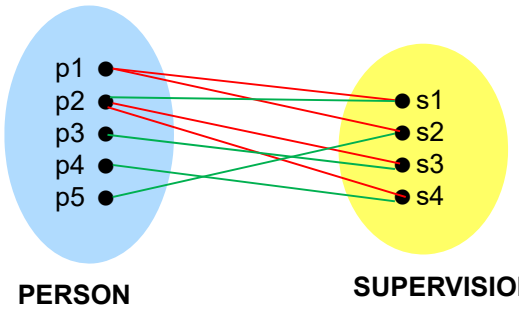
MARRIED $\subseteq$ PERSON × PERSON

SUPERVISION $\subseteq$ PERSON × PERSON



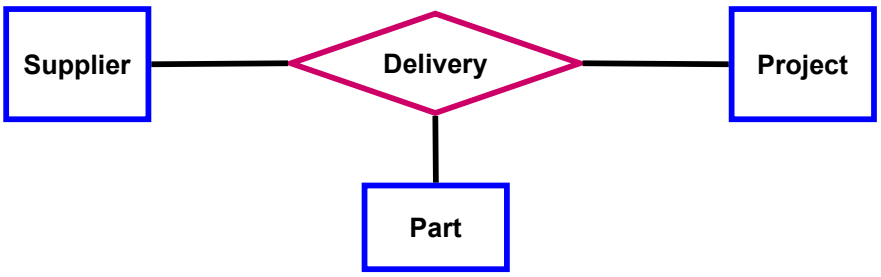
- Einführung von Rollennamen möglich (Reihenfolge !)
  SUPERVISION (Chef: PERSON, Employee: PERSON)



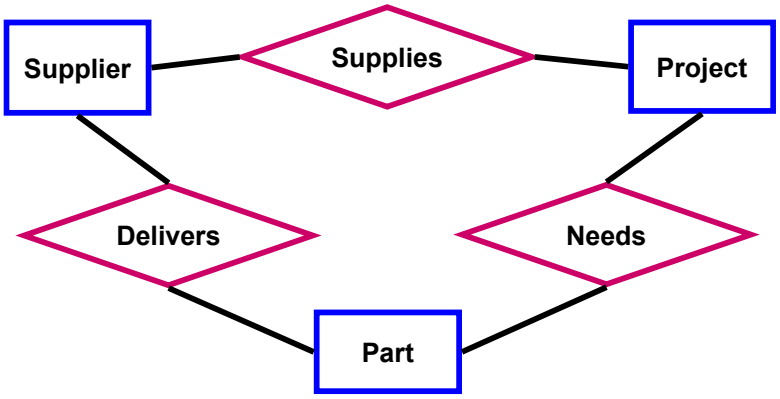


Relationships (5)

- Beispiel einer 3-stelligen Relationship-Menge



- nicht gleichwertig mit drei 2-stelligen (binären) Relationship-Mengen!



Beispiel:

S1 delivers part T1,
S1 supplies project P1,
P1 needs T1

impliziert nicht notwendigerweise

Delivery (S1, P1, T1)

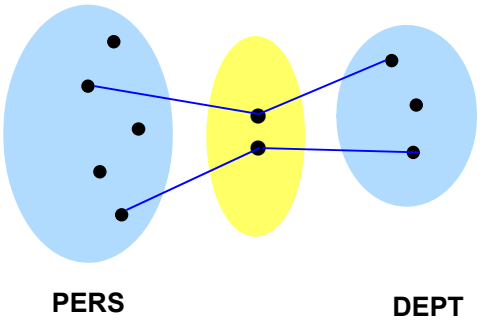
Kardinalität von Beziehungen

- Festlegung wichtiger struktureller Integritätsbedingungen
- unterschiedliche Abbildungs- bzw. Beziehungsstypen für binäre Beziehung zwischen Entity-Mengen E_i und E_j
  - 1:1 eineindeutige Funktion (injektive Abbildung)
  - n:1 mathematische Funktion (funktionale Abbildung)
  - 1:n invers funktionale Abbildung
  - n:m mathematische Relation (komplexe Abbildung)
- Abbildungstypen implizieren nicht, dass für jedes $e \in E_i$ auch tatsächlich ein $e' \in E_j$ existiert!
  - n:1- sowie 1:1-Beziehungen repräsentieren somit i.a. nur partielle Funktionen
- Präzisierung der Kardinalitätsrestriktionen durch (Min-Max-) Multiplizitäten in UML

1:1-Beziehungen

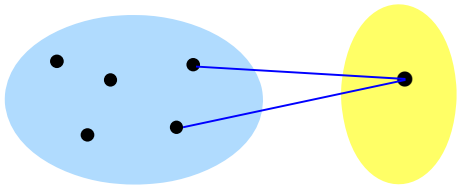
- 1:1-Beziehung zwischen unterschiedlichen Entity-Mengen

1:1 MANAGES/IS-MANAGED: PERS ↔ DEPT



- rekursive 1:1-Beziehung

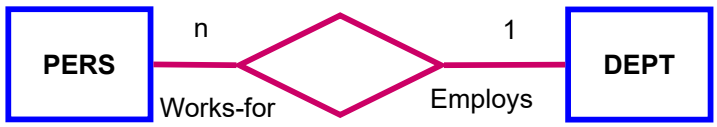
1:1 MARRIED: PERS ↔ PERS

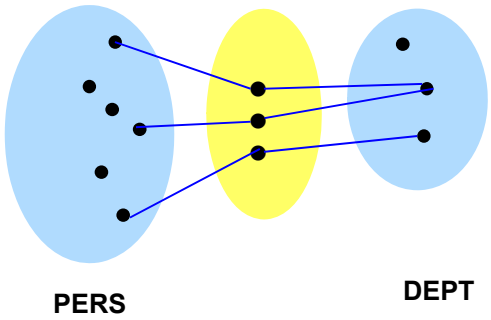


n:1-Beziehung

- n:1-Beziehung zwischen unterschiedlichen Entity-Mengen

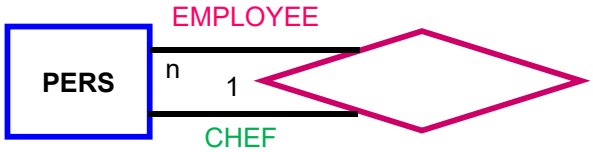
n:1 WORKS-FOR/EMPLOYS: PERS → DEPT

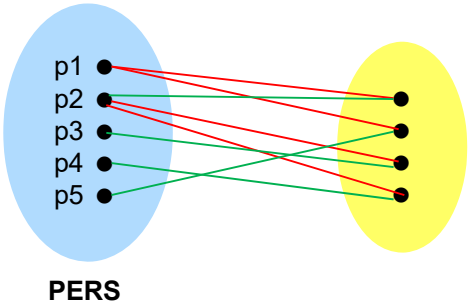




- rekursive n:1-Beziehung

n:1 EMPLOYEE/CHEF: PERS → PERS

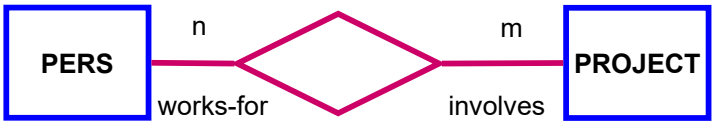


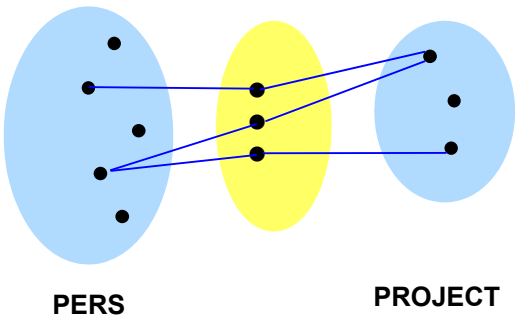


n:m-Beziehung

- n:m-Beziehung zwischen unterschiedlichen Entity-Mengen

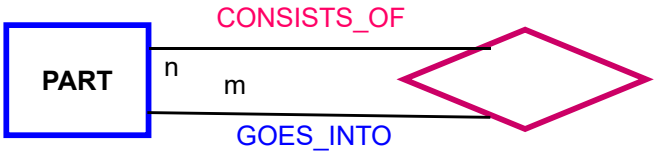
n:m ... WORKS-FOR/INVOLVES: PERS — PROJECT

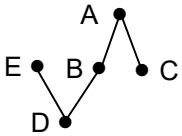


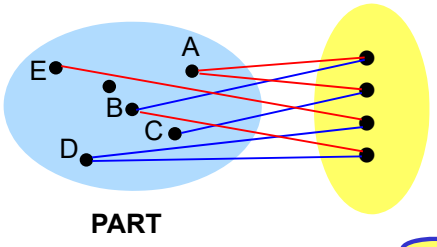


- rekursive n:m-Beziehung

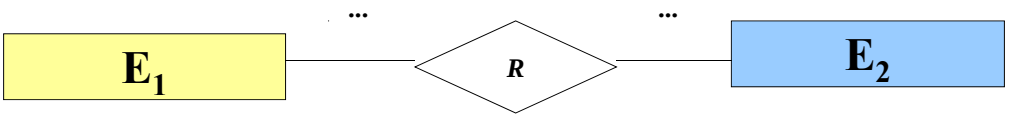
n:m CONSISTS_OF/ GOES_INTO: PART — PART





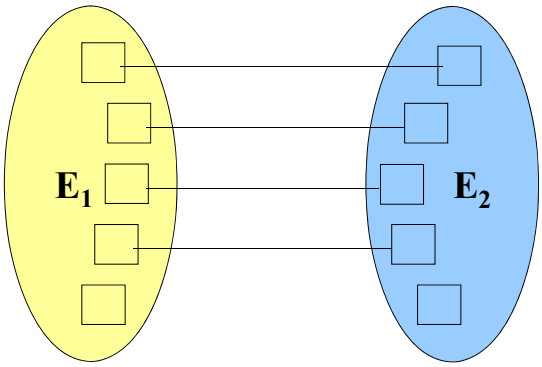


Zusammenfassender Überblick

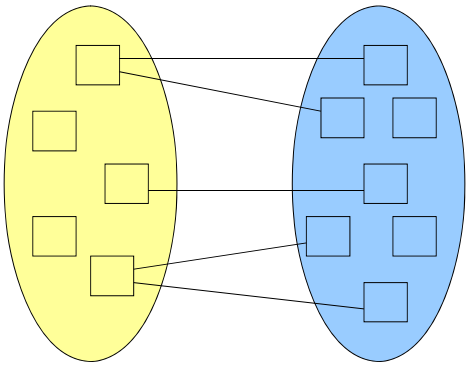


$R \subseteq E_1 \times E_2$

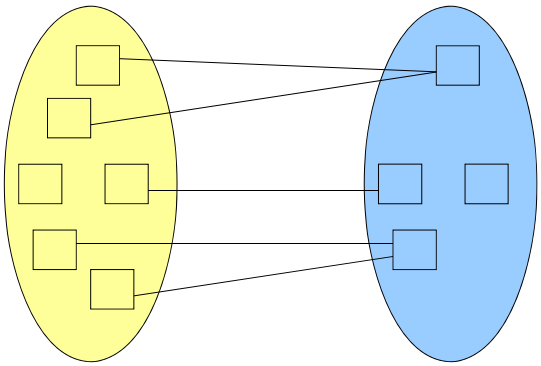
1:1



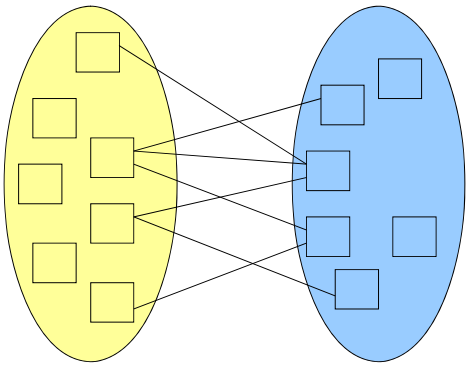
1:n



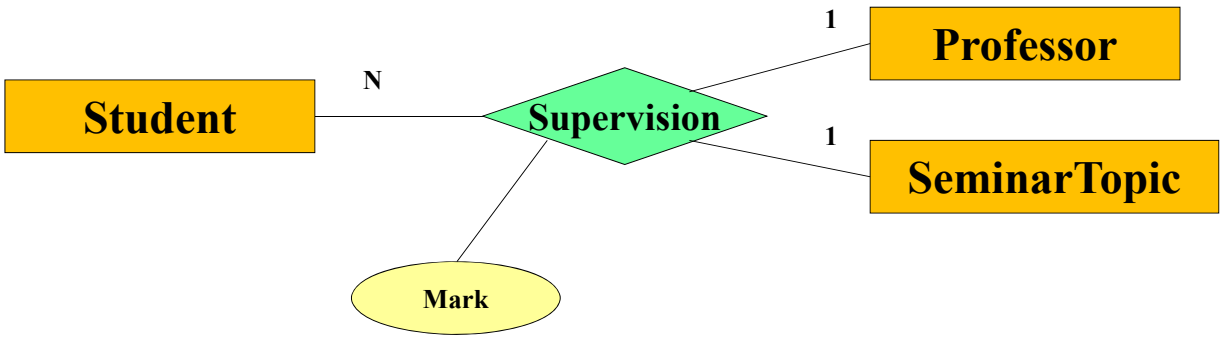
n:1



n:m



Kardinalitäten bei mehrstelligen Beziehungen



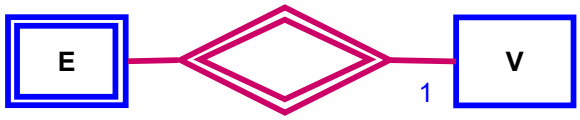
Supervision: Professor x Student → SeminarTopic

Supervision: SeminarTopic x Student → Professor

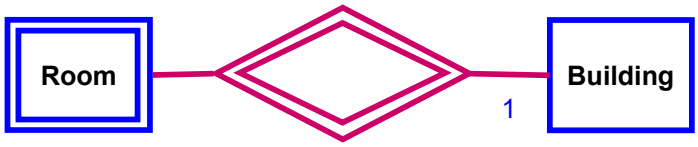
Kardinalitätsrestriktion 1 für Entity-Menge E bezieht sich auf fixe Kombination von Entities der anderen Entitymengen

Schwache Entity-Mengen (weak entities)

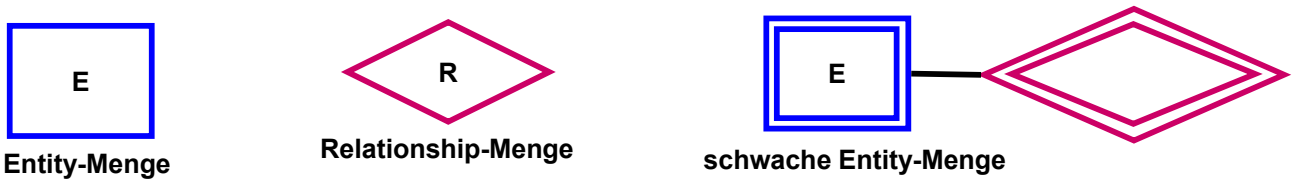
- Entity-Menge mit Existenzabhängigkeit zu anderer Entity-Menge
  - kein eigener Schlüsselkandidat, sondern Identifikation über Beziehung zur übergeordneten Entity-Menge
  - Bsp.: Entity-Menge *Room (RNo, Area)* abhängig von *Building*
- Konsequenzen
  - jedes schwache Entity muss in Relationship-Menge mit übergeordneter Entity-Menge vertreten sein (obligatorische Beziehungsteilnahme)
  - Primärschlüssel mindest teilweise von übergeordneter Entity-Menge abgeleitet
  - meist n:1 bzw. 1:1-Beziehung zwischen schwacher und übergeordneter Entity-Menge
- ER-Symbole:

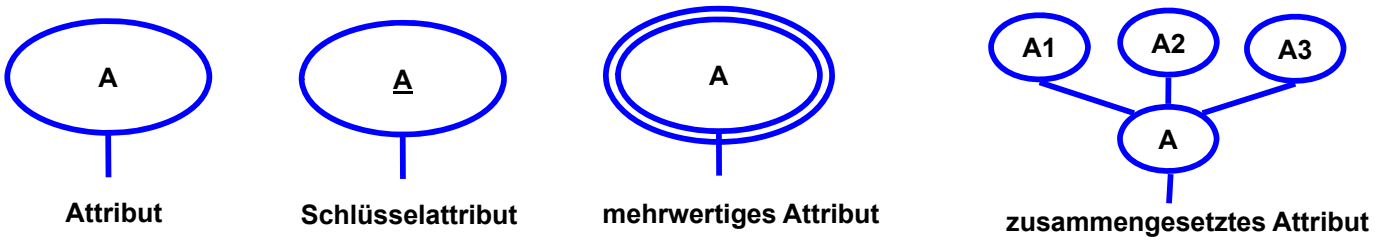


- Beispiel:



Überblick über ER-Diagrammsymbole

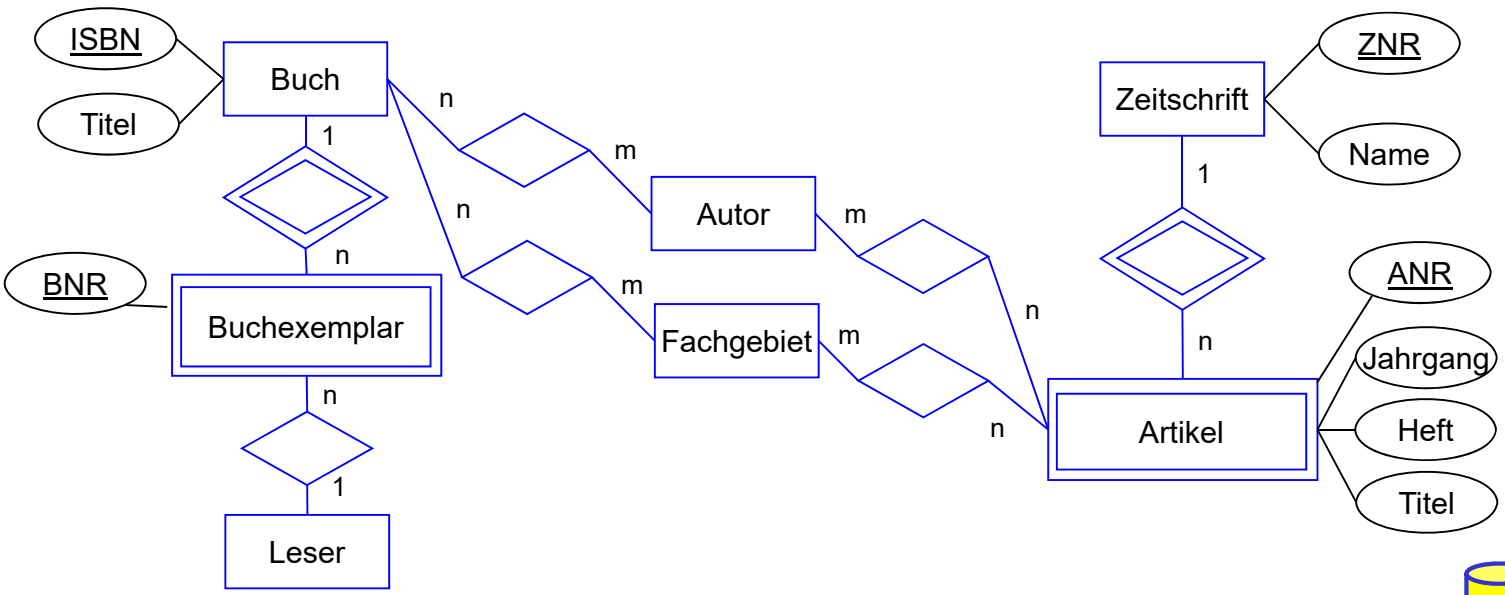




Beziehungstypen
(Kardinalitätsangaben)

ERM: Anwendungsbeispiel

Eine Bibliothek besteht aus Büchern und Zeitschriften. Jedes Buch kann mehrere Autoren haben und ist eindeutig durch seine ISBN gekennzeichnet. Die Bibliothek besitzt teilweise mehrere Exemplare eines Buches. Zeitschriften dagegen sind jeweils nur einmal vorhanden. Die Artikel einer Zeitschrift erscheinen in einzelnen Heften eines Jahrgangs. Die Artikel sind ebenso wie Bücher einem oder mehreren Fachgebieten (z. B. Datenbanksysteme, Künstliche Intelligenz) zugeordnet. Ausgeliehen werden können nur Bücher (keine Zeitschriften).

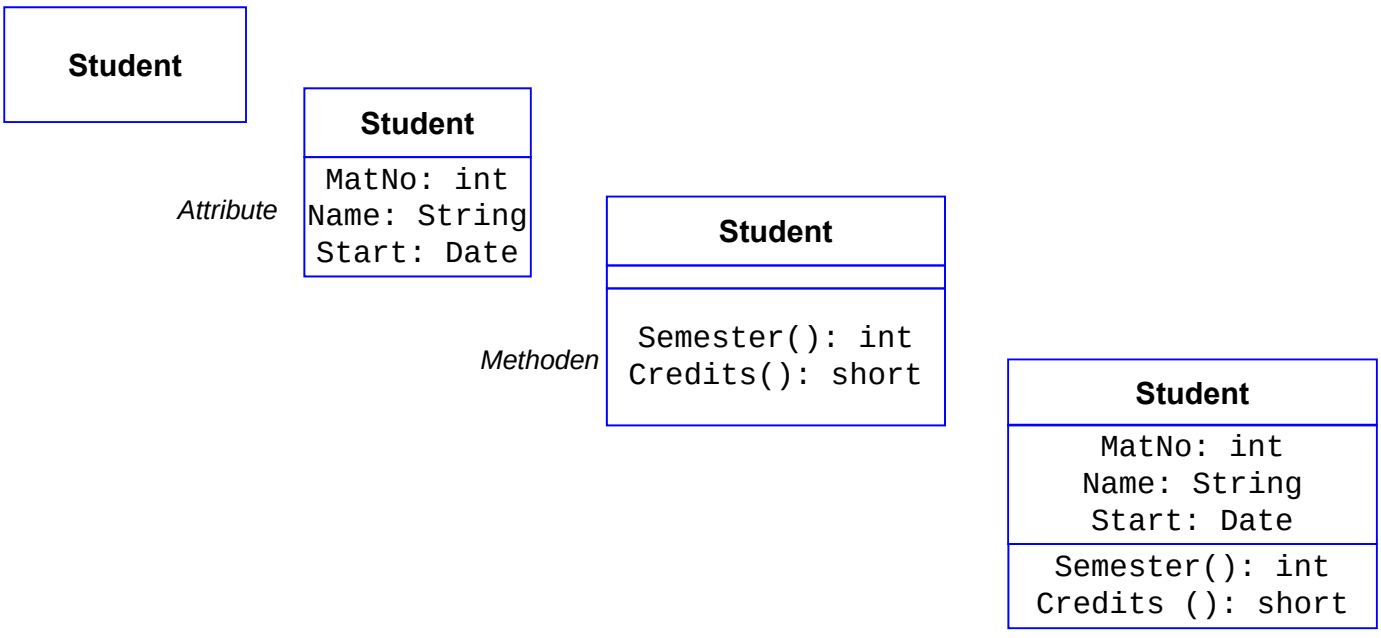


Unified Modeling Language (UML)

- standardisierte graphische Notation/Sprache zur objektorientierten Modellierung
- Kombination unterschiedlicher Modelle bzw. Notationen, u.a.
  - Booch
  - Rumbaugh (OMT)
  - Jacobson (Use Cases)
- Standardisierung seit 1997 durch Herstellervereinigung OMG (Object Management Group)
- mehrere UML-Teile für unterschiedliche Phasen der Systementwicklung
  - Anwendungsfälle (use cases)
  - Aktivitätsdiagramme
  - Klassendiagramme ...
- Infos: *www.uml.org*

Darstellung von Klassen und Objekten

- Klassensymbol: Angabe von Klassenname, Attribute (optional), Methoden (optional)
  - i. a. werden nur relevante Details gezeigt



Assoziationen

- Repräsentation von Beziehungen (relationships)
- optional: Festlegung eines Assoziationsnamens, seiner Leserichtung (▸ bzw. ◂), von Rollennamen und von Kardinalitätsrestriktionen

Kardinalitätsrestriktionen in UML

- Verfeinerung der Semantik eines Beziehungstyps durch Kardinalitätsrestriktionen
  - bisher nur grobe strukturelle Festlegungen (z. B.: 1:1 bedeutet "höchstens eins zu höchstens eins")
  - Festlegung der minimalen Kardinalität
- Definition: für binäre Assoziation $R \subseteq E_1 \times E_2$
  - Multiplizität min_1 .. max_1 (min_2..max_2) bedeutet, dass zu jedem E2 (E1)- Element wenigstens min1 (min2) und höchstens max1 (max2) Instanzen von E1 (E2) enthalten sein müssen (mit $0 <= min_i <= max_i$, $max_i >= 1$)
  - Bezugnahme zur „gegenüberliegenden" Klasse
- erlaubt Unterscheidung, ob Beziehungsteilnahme *optional (Mindestkardinalität 0)* oder *obligatorisch (Mindestkardinalität >= 1)* ist

e_1 nimmt an [min_2, max_2] Beziehungen von Typ R teil
e_2 nimmt an [min_1, max_1] Beziehungen von Typ R teil

Kardinalitätsrestriktionen in UML (2)

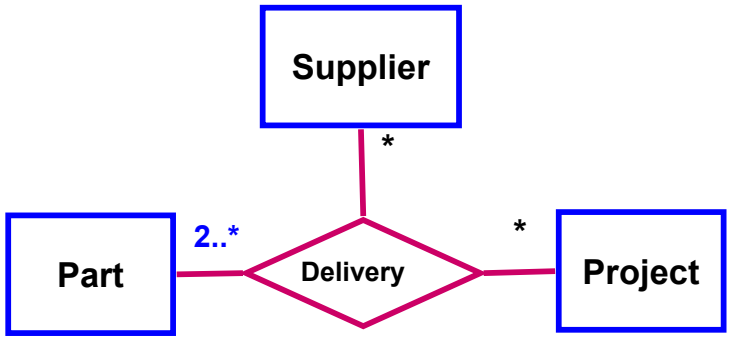
- zulässige Multiplizitätsfestlegungen

x..y	mindestens x, maximal y Objekte nehmen an der Beziehung teil
0..*	optionale Teilnahme an der Beziehung
1..*	obligatorische Teilnahme an Beziehung
0..1	
1	genau 1
*	„viele“

- Beispiele

R	E_1	E_2	klassischer Beziehungstyp	min1..max1	min2..max2
Dept. Lead	DEPT	PERS	1:1	0..1	1..1
Party member	PARTY	PERS	1:n	0..1	7..*
Married	PERS	PERS	1:1	0..1	0..1
Attendance	LECTURE	STUDENT	n:m	0..*	3..800
Occupancy	PERS	ROOM	n:1	0..5	0..1

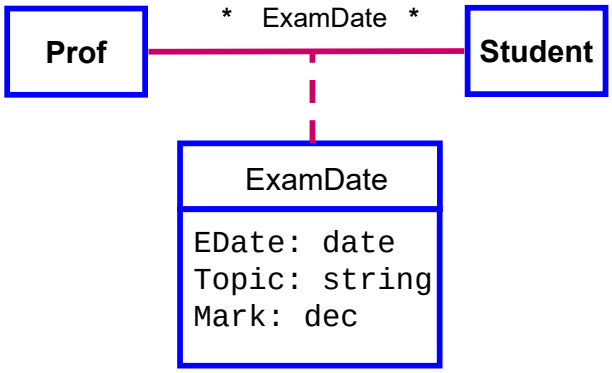
n-stellige Assoziationen



- Multiplizitätsangabe einer Klasse
  - regelt bei n-stelligen Beziehungen die Anzahl möglicher Instanzen (Objekte) zu einer fixen Kombination von je einem Objekt der übrigen n-1 Assoziationsenden
- Beispiel 3-stellige Assoziation Lieferung
  - pro Projekt und Lieferant müssen wenigstens 2 unterschiedliche Teile geliefert werden

Weitere Assoziationen

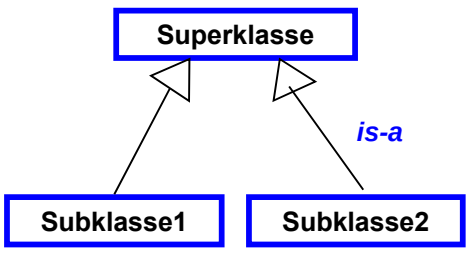
- **Assoziations-Klassen**
  - notwendig für Beziehungen mit eigenen Attributen
  - gestrichelte Linie
  - Name der A.-Klasse entspricht dem der Assoziation

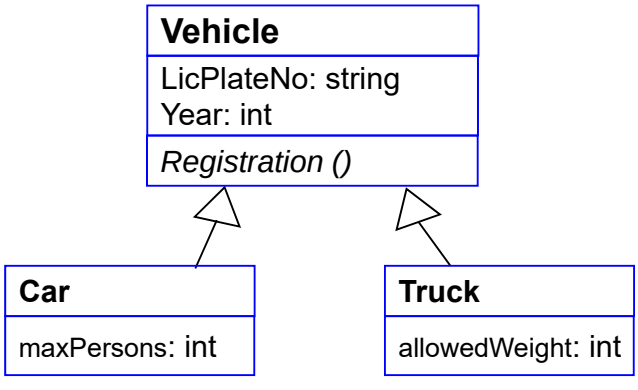


- gerichtete Assoziation
  - Einschränkung der Navigierbarkeit: keine direkte Navigationsmöglichkeit in umgekehrter Richtung (einfachere Implementierung)
  - auf konzeptioneller Ebene nicht notwendigerweise festzulegen

Is-A-Beziehungen

- Is-A-Beziehung zwischen Klassen (Entity-Mengen)
  - K_1 is-a K_2: jedes Objekt aus Subklasse K_1 ist auch ein Objekt der Superklasse K_2, jedoch mit zusätzlichen strukturellen Eigenschaften
  - *Substitutionsprinzip*: alle Objekte (Instanzen) einer Subklasse sind auch Instanzen der Superklasse
- Vererbung von Eigenschaften (Attribute, Integritätsbedingungen, Methoden ...) der Superklasse an alle Subklassen
  - Wiederverwendbarkeit, Erweiterbarkeit
  - keine Wiederholung von Beschreibungsinformation, Fehlervermeidung





Generalisierung/Spezialisierung

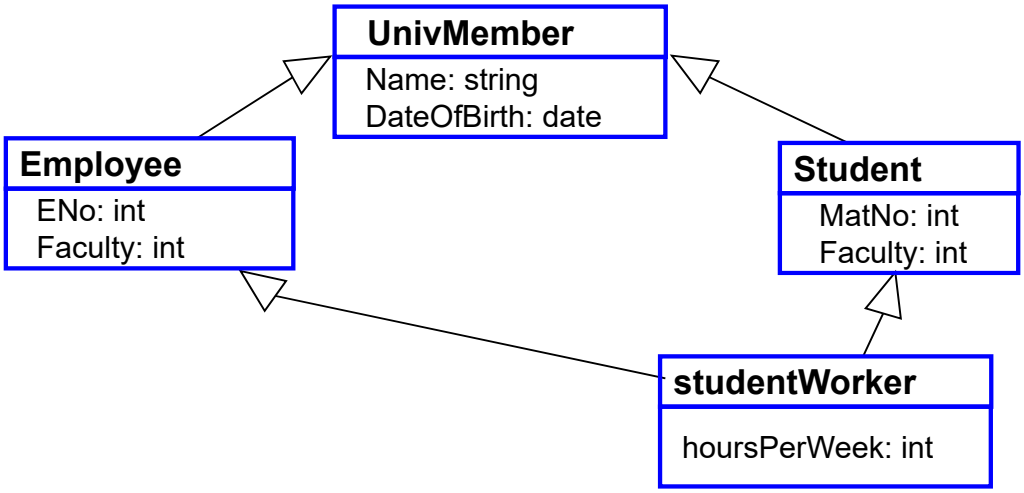
- Is-A-Beziehungen realisieren Abstraktionskonzepte der Generalisierung und Spezialisierung

- Generalisierung: Bottom-Up-Vorgehensweise
  - Bildung allgemeinerer Superklassen aus zugrundeliegenden Subklassen
  - Übernahme gemeinsamer Eigenschaften und Unterdrückung spezifischer Unterschiede
  - rekursive Anwendbarkeit => Generalisierungshierarchie

- Spezialisierung: Top-Down-Vorgehensweise
  - zuerst werden die allgemeineren Objekte (Superklassen), dann die spezielleren (Subklassen) beschrieben

Generalisierung/Spezialisierung (2)

- oft keine reine Hierarchien, sondern Netzwerke (n:m)
  - eine Klasse kann Subklasse mehrerer Superklassen sein
  - ein Objekt kann gleichzeitig Instanz verschiedener Klassen sein
  - Zyklen nicht erlaubt/sinnvoll (A is-a B, B is-a A)
- führt zum Problem der Mehrfach-Vererbung
  - Namenskonflikte möglich
  - benutzergesteuerte Auflösung, z. B. durch Umbenennung



Spezialisierung: Definitionen

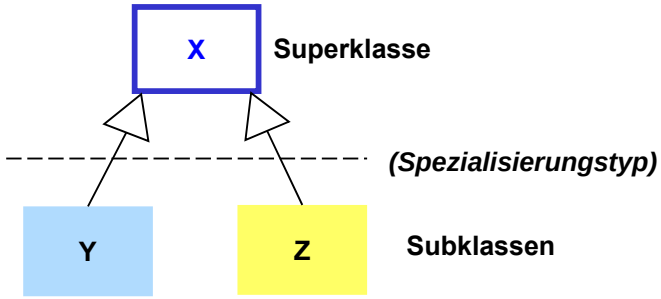
- Klasse: Menge von Objekten / Entities (Entity-Mengen)
- Subklasse: Klasse S, deren Objekte eine Teilmenge einer Superklasse G sind (is-a-Beziehung), d. h. $S \subseteq G$

  d. h. jedes Element (Ausprägung/Instanz) von S ist auch Element von G
- *Spezialisierung*: $Z(G) = \{S_1, S_2, \ldots S_n\}$

  Menge von Subklassen S_i mit derselben Superklasse G
- zusätzliche Integritätsbedingungen: Vollständigkeit (Überdeckung) und Disjunktheit von Spezialisierungen

  Z heisst **vollständig (complete)**, falls gilt: $G = \cup\ S_i \quad (i = 1..n)$
  andernfalls **partiell (incomplete)**.
  Z ist **disjunkt (disjoint)**, falls $S_i \cap S_j = \{\ \} \quad$ für $i \neq j$
  andernfalls **überlappend (overlapping)**.

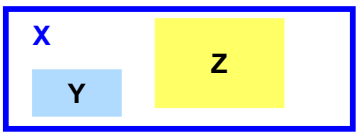
Arten von Spezialisierungen

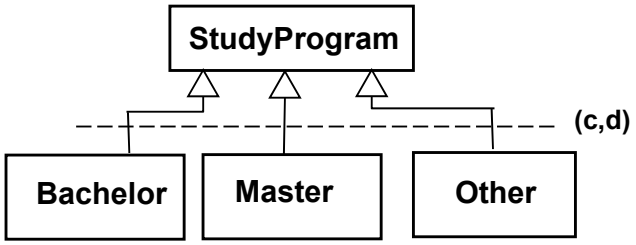


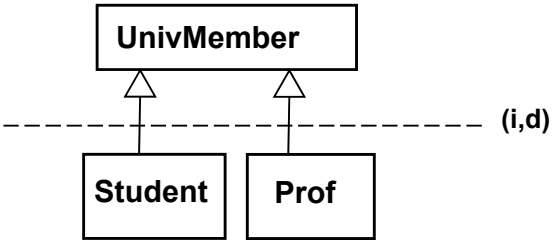
- disjunkte Spezialisierungen (Partitionierung)

vollständig, disjunkt (*complete*, *disjoint*)

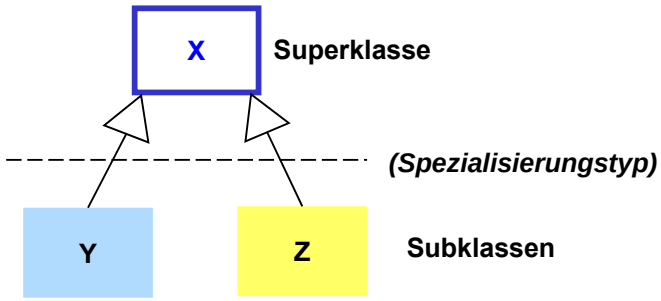
partiell, disjunkt (*incomplete*, *disjoint*)





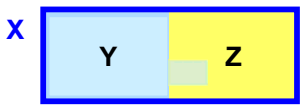


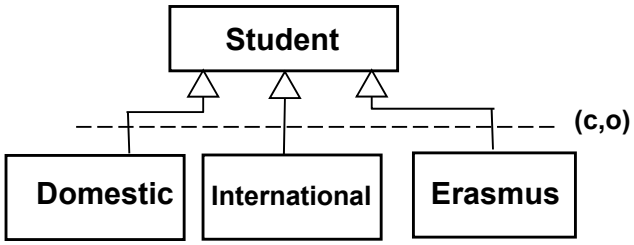
Arten von Spezialisierungen (2)



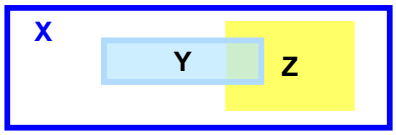
- überlappende Spezialisierungen

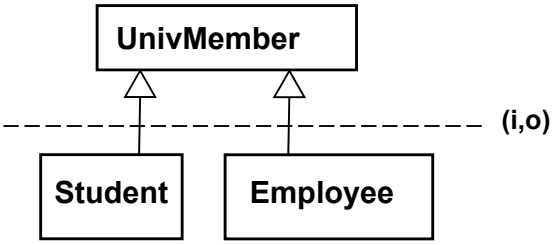
vollständig, überlappend (*complete*, *overlapping*)





partiell, überlappend (*incomplete*, *overlapping*)



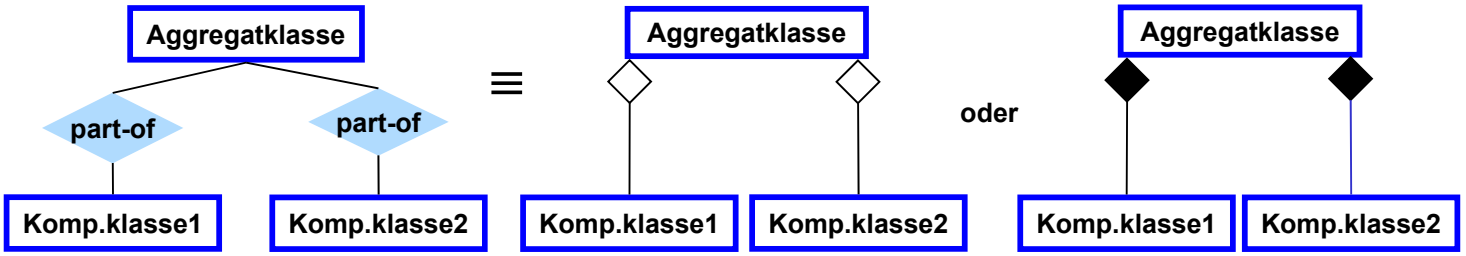


Aggregation

- Objekte werden als Zusammensetzung von anderen Objekten angesehen
  - eine Kombination von einfachen (atomaren, d.h. nicht weiter zerlegbaren) Objekten (Element, **Teil**) wird betrachtet als zusammengesetztes oder komplexes Objekt (**Aggregat**objekt)
  - rekursive Anwendung des Aggregatsprinzips: Aggregationsobjekte mit komplexen Komponenten
- einfache Formen der Aggregation:
  - zusammengesetzte Attribute
  - Klasse (Entity-Menge) als Aggregation verschiedener Attribute
- Erweiterung auf Part-of-Beziehung zwischen Klassen

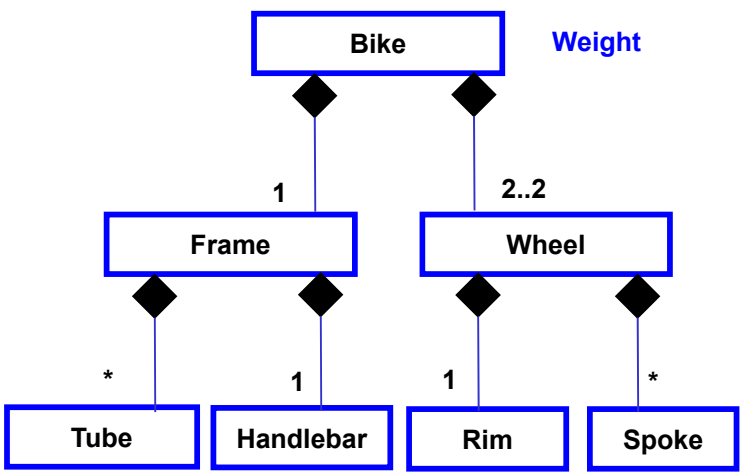
Aggregation (2)

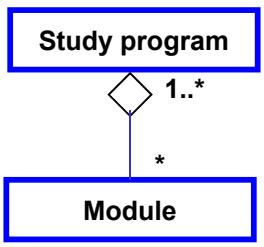
- Part-of-Beziehung (Teil-von-Beziehung) zwischen Komponenten- und Aggregatobjekten
  - Elemente einer Subkomponente sind auch Elemente aller Superkomponenten dieser Subkomponente
  - Referenzsemantik ermöglicht, dass ein Objekt gleichzeitig Element verschiedener Komponenten bzw. Subkomponente von mehreren Superkomponenten ist -> Netzwerke, (n:m) !
  - Wertesemantik (**Komposition**): Teil-Objekt gehört genau zu einem Aggregat-Objekt; Existenzabhängigkeit (wie für weak entities)!



Aggregation (3)

- Beispiele

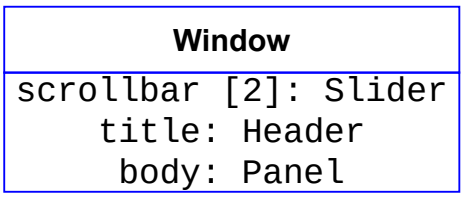


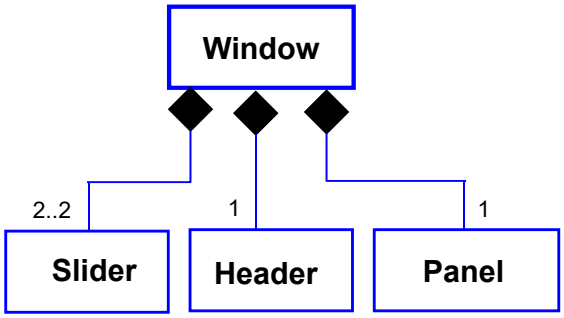


- Unterstützung komplex-strukturierter Objekte
- heterogene Komponenten möglich
- keine Vererbung !

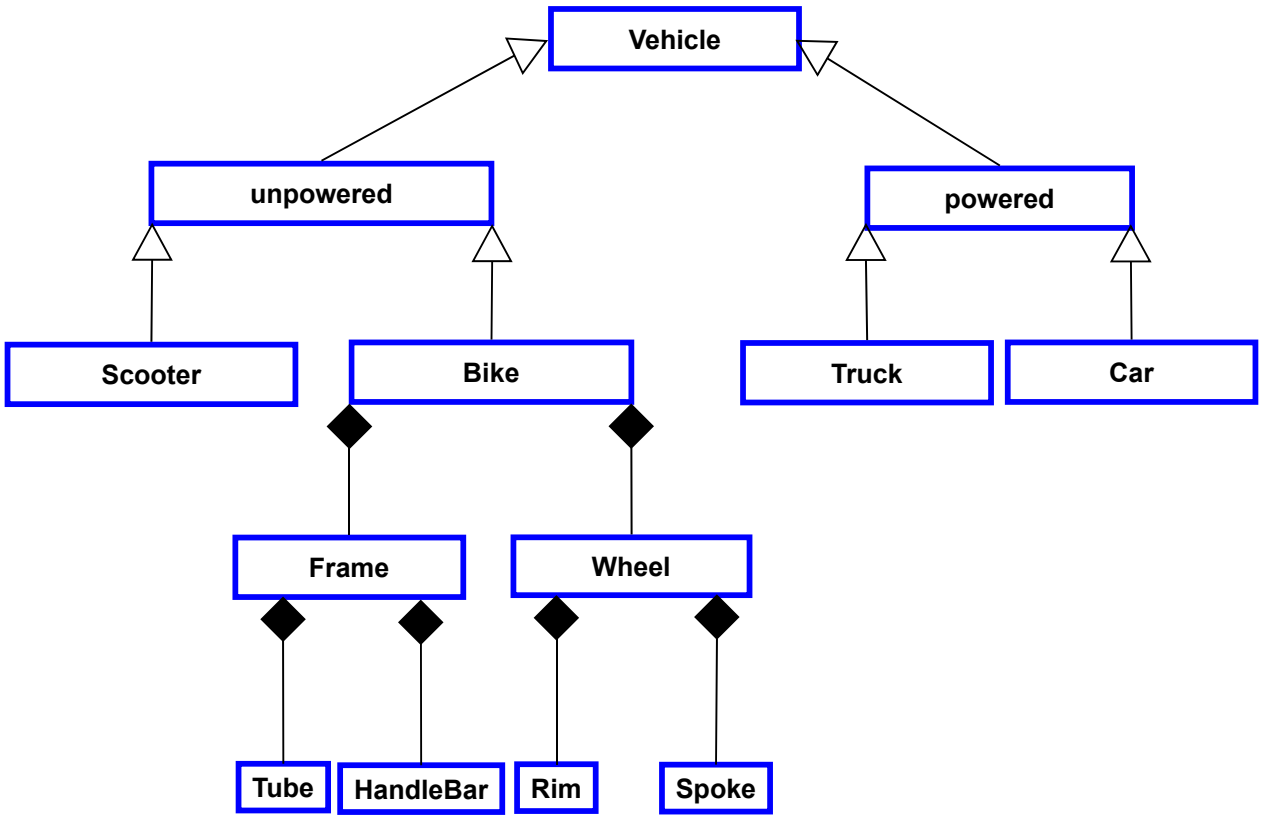
Aggregation: Komposition

- Komponentenklasse einer Aggregatklasse A entspricht einem Attribut von A
  - aufgrund der Wertesemantik der Komposition
- äquivalente Repräsentationen:





Kombination von Generalisierung und Aggregation



Zusammenfassung

- DB-Entwurf umfasst
  - Informationsanalyse
  - konzeptueller Entwurf (-> Informationsmodell)
  - logischer Entwurf (-> logisches DB-Schema)
  - physischer Entwurf (-> physisches DB-Schema)
- Informationsmodellierung mit dem ER-Modell
  - Entity-Mengen und Relationship-Mengen
  - Attribute, Wertebereiche, Primärschlüssel
  - Beziehungstypen (1:1, n:1, n:m)
  - Diagrammdarstellung
- UML-Klassendiagramme: Unterschiede zu ER-Modell
  - standardisiert
  - Spezifikation von Verhalten (Methoden), nicht nur strukturelle Aspekte
  - genauere Kardinalitätsrestriktionen (Multiplizitäten)
  - Unterstützung der Abstraktionskonzepte der Generalisierung / Spezialisierung, Aggregation / Komposition
- keine festen Regeln zur eigentlichen Informationsmodellierung (i.a. viele Modellierungsmöglichkeiten einer bestimmten Miniwelt)