Vorlesung Semantic Web

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Vorlesung im Wintersemester 2011/2012

Dr. Heiko Paulheim

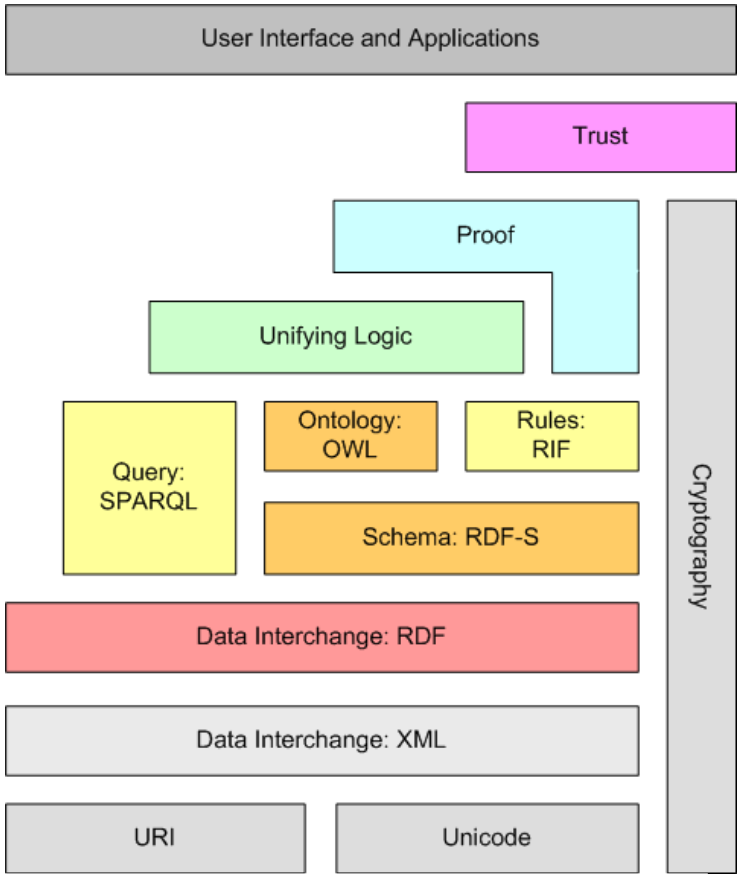
Fachgebiet Knowledge Engineering

Semantic Web – Aufbau

here be dragons...

Semantic-Web-Technologie (Fokus der Vorlesung)

Technische Grundlagen



Berners-Lee (2009): *Semantic Web and Linked Data*
http://www.w3.org/2009/Talks/0120-campus-party-tbl/

Wie baut man Ontologien?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Wie wir bisher vorgegangen sind
  - Anforderungen durchlesen
  - einfach mal irgendwo anfangen
  - in Protégé drauflosbasteln
  - überraschen lassen, was dabei herauskommt
- Das war eher "Ontology Hacking" als "Ontology Engineering"

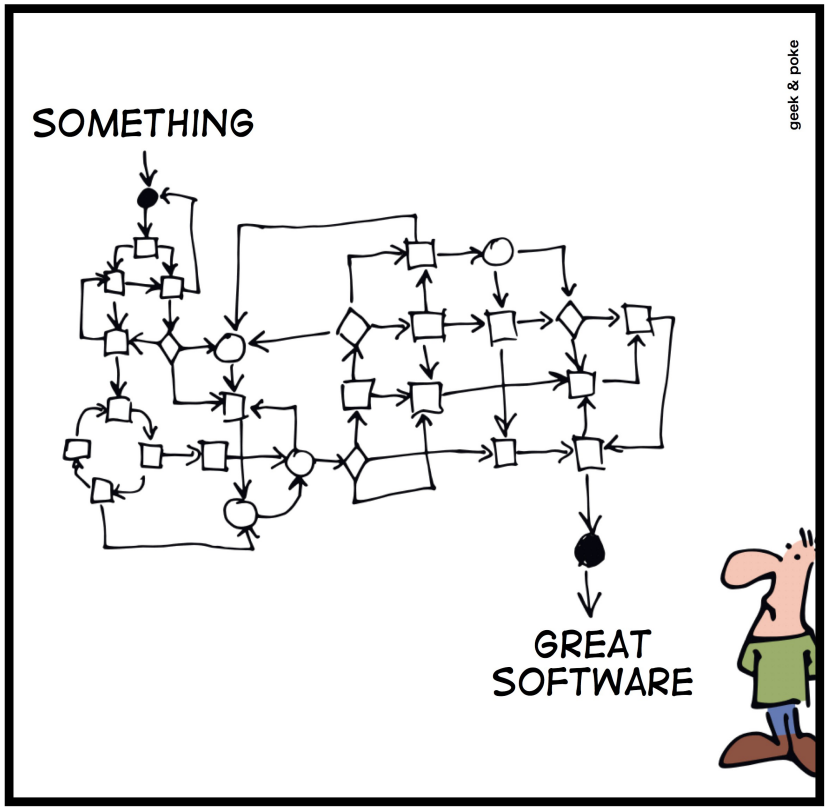
Ontology Engineering

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Wie baut man Ontologien?
  - Vorgehensmodelle
- Wie baut man *gute* Ontologien?
  - Best Practices
  - Design Patterns
  - Anti-Patterns

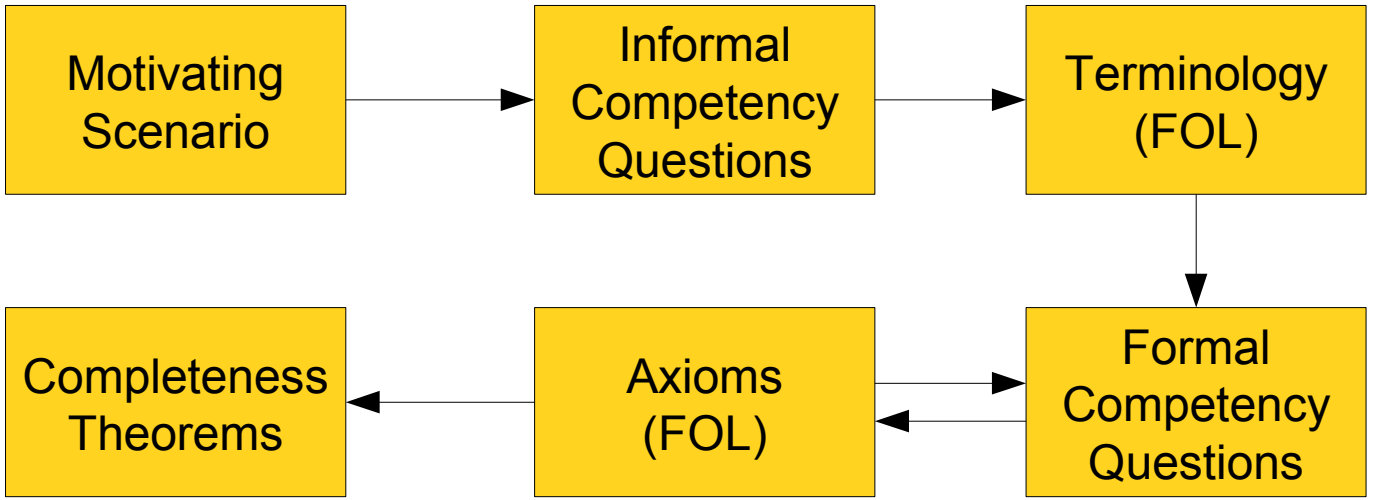
Vorgehensmodelle

- Kennen wir aus dem Software Engineering



http://geekandpoke.typepad.com/geekandpoke/2012/01/simply-explained-dp.html

Methodologie von Grüninger und Fox (1995)



Grüninger und Fox (1995): Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies

Methodologie von Grüninger und Fox (1995)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Motivating Scenario
  - informelle Beschreibung der Inhalte der Ontologie
  - Problemstellungen
  - möglicherweise intuitive Lösungswege

- Informal Competency Questions
  - Fragen, die später beantwortet werden können sollen
  - z.B. durch einen Reasoner
    - "Was ist die Hauptstadt von Spanien"?
    - "Welches Hobby hat die Person im blauen Haus?"
  - Auch: Einschätzung, ob eine bestehende Ontologie geeignet ist

Methodologie von Grüninger und Fox (1995)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Terminologie (FOL)
  - Definition von Klassen und Relationen
  - Nutzung einer formalen Repräsentation
    - Grüninger und Fox: First Order Logic
    - Heute: RDF(S), OWL, …
- Formal Competency Questions
  - Übersetzung der informellen Fragen
  - z.B. nach SPARQL

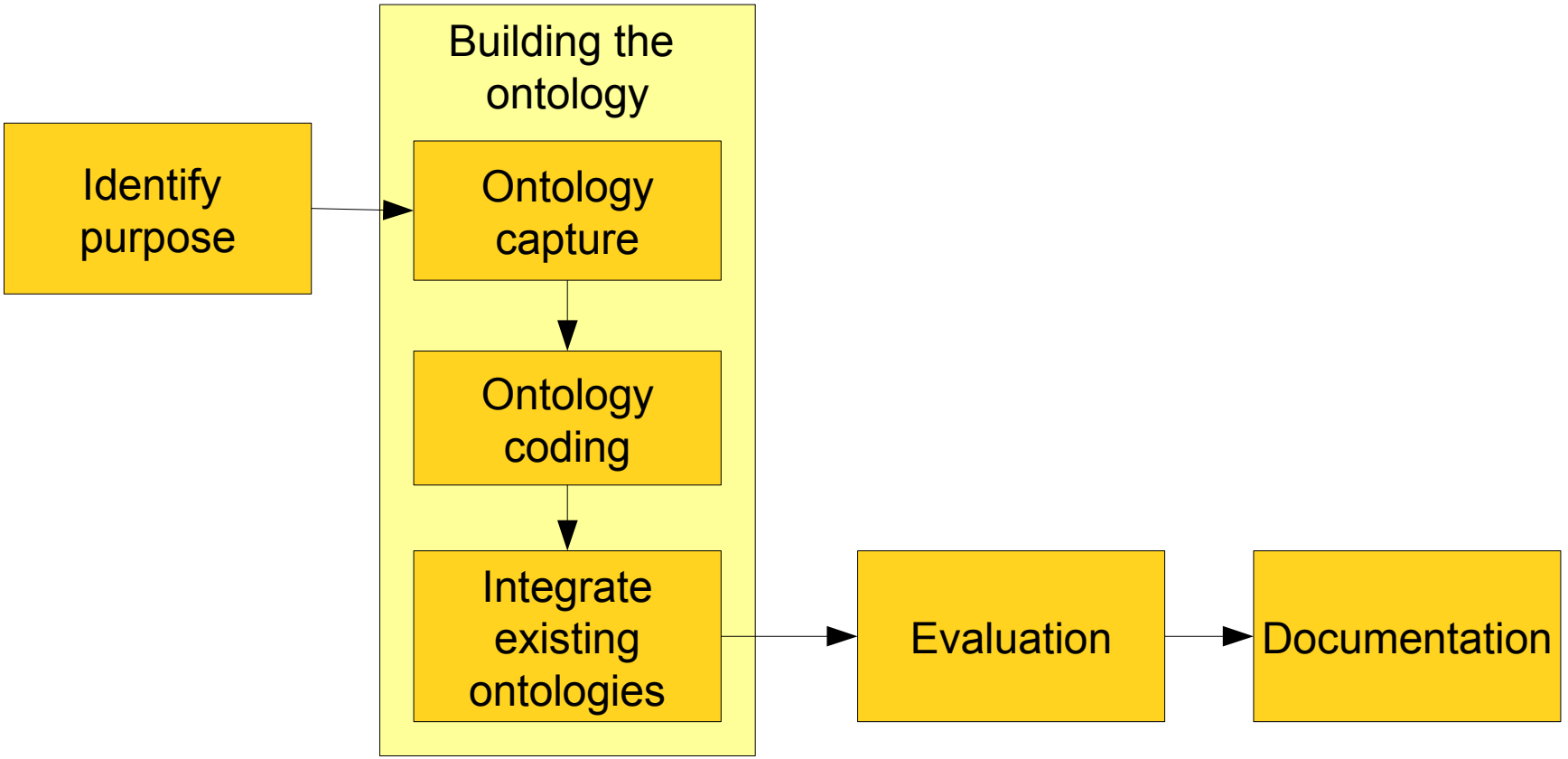
Methodologie von Grüninger und Fox (1995)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Axioms (FOL)
  - stärkere Axiomatisierung der Ontologie
  - Grüninger und Fox: First Order Logic
  - Heute: OWL-Axiome
    - Domain/Range
    - Restrictions
    - Funktionale/invers funktionale, transitive, …, Relationen
  - Solange, bis die formalen Abfragen funktionieren

- Completeness Theorems
  - geben an, inwieweit die Folgerungen vollständig sind
  - d.h., gibt es auch unentscheidbare Aussagen?
    - "Wer rasiert den Barbier?"

Methodologie von Uschold und King (1995)



Uschold & King (1995): Towards a Methodology for Building Ontologies

Methodologie von Uschold und King (1995)

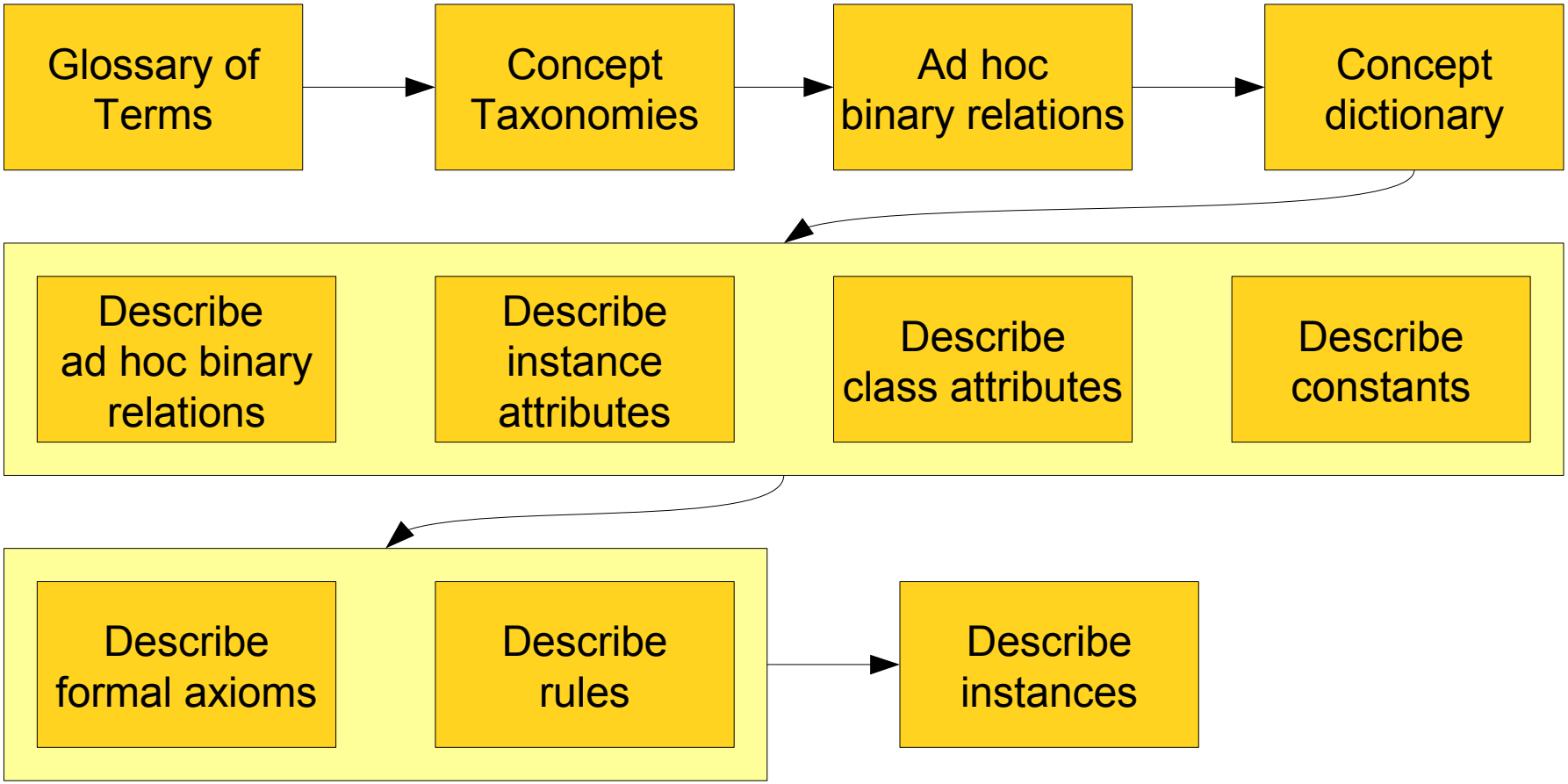
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Ähnlich zu Grüninger und Fox

- Capture und Coding werden getrennt
  - Capture: Zentrale Begriffe suchen und textuell definieren
  - Coding: formale Codierung
- Integration bestehender Ontologien als eigener Punkt

- Evaluierung
  - z.B. mit Competency Questions
  - Abgleich mit Requirements-Spezifikatoinen
  - ...

Methontology (Fernández et al., 1997)



Gómez-Pérez et al. (2004): Ontological Engineering

Methontology (Fernández et al., 1997)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Schrittweise von informellen zu formellen Ontologien
- Rückschritte sind erlaubt
- Dokumentation begleitend

- Glossar
  - Begriffe, Beschreibungen, Synonyme, Antonyme
- Taxonomie
  - Subklassenbeziehung
- Ad hoc binary relations
  - a.k.a. ObjectProperties
- Concept dictionary
  - enthält: Begriffe, Beschreibungen, Relationen, optional Instanzen

Methontology (Fernández et al., 1997)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Beispiel für Concept dictionary

Concept name	Class attributes	Instance attributes	Relations
AA7462	--	--	same Flight as
American Airlines Flight	company Name	--	--
British Airways Flight	company Name	--	--
Five-star Hotel	number of Stars	--	--
Flight	--	--	same Flight as
Location	--	name size	is Arrival Place of is Departure Place of
Lodging	--	price of Standard Room	placed in
Travel	--	arrival Date company Name departure Date return Fare single Fare	arrival Place departure Place
Travel Package	--	budget final Price name number of Days travel Restrictions	arrival Place departure Place accommodated in travels in
USA Location	--	--	--

Gómez-Pérez et al. (2004): Ontological Engineering

Methontology (Fernández et al., 1997)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Detaillierte Beschreibungen
- Relationen:
  - Definitions-/Wertebereich, Kardinalitäten, Symmetrie, Transitivität...
- Instanz- und Klassenattribute, Konstanten
  - Datentyp, Einheit, Wertebereich...
  - Konstanten: z.B. Siedepunkt von Wasser

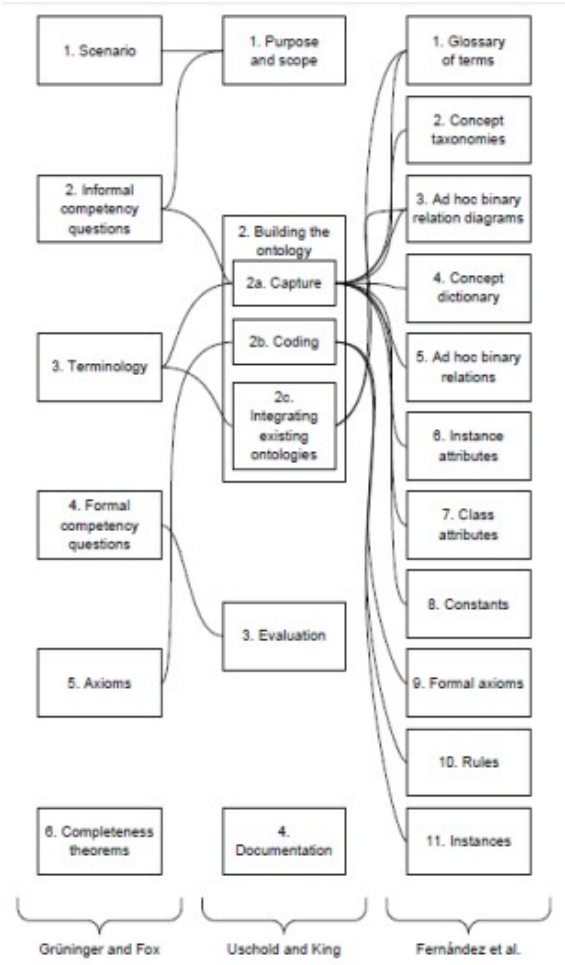
Methontology (Fernández et al., 1997)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Formale Axiome und Regeln
  - Formalisierung der textuellen Beschreibungen
  - z.B.: Europäische Hauptstädte:
    - Stadt(x) ∧ hauptstadtVon(x,y) ∧ liegtIn(x,Europa)

- Beschreibung von Instanzen
  - Tabelle von Instanzen
  - mit Werten von allen Instanzattributen

Vergleich der Methodologien



Ontology Engineering

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Engineering-Methodologien
  - strukturieren der Erstellungsprozess
- Best Practices
  - sorgen für ein besseres Ergebnis

Warum müssen Ontologien korrekt sein?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Reales Beispiel SNOMED (medizinische Ontologie):

```
Finger partOf Hand .
Hand partOf Arm .
partOf a owl:TransitiveProperty .
Surgery rdfs:subClassOf Treatment .
onBodyPart rdfs:domain Treatment .
onBodyPart owl:propertyChain (onBodyPart, partOf) .
```

- Hier kann man z.B. folgern:
  - Eine Operation eines Fingers ist eine Operation an der Hand (und auch am Arm).

- Soweit, so gut...

```
Amputation subClassOf Surgery .
```

OntoClean

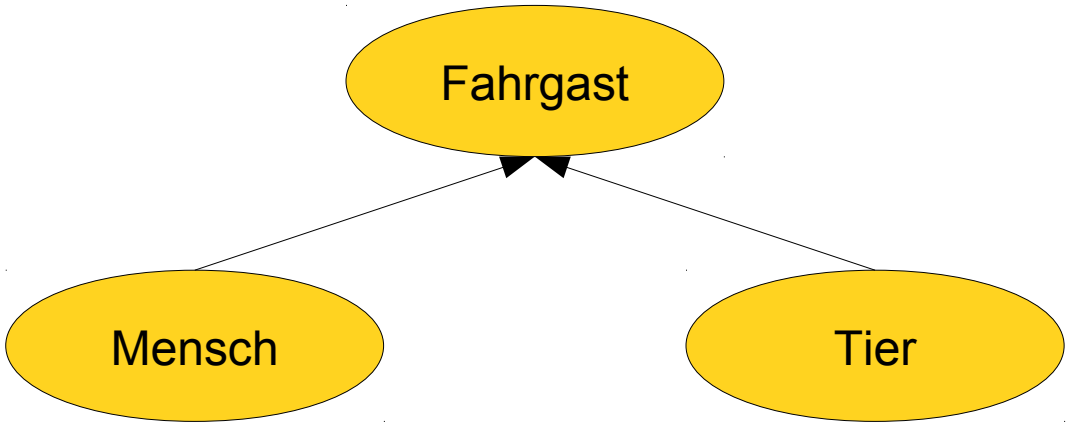
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Eine Sammlung von Analysemethoden
  - Ist meine Klassenhierarchie sinnvoll?
- Entwickelt ~2000-2004 von Guarino und Welty
- basiert auf philosophischen Grundlagen

Rigidität

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Betrachten wir folgende Aufgabenstellung:
  - *Bauen Sie eine Ontologie für ein U-Bahn-Ticketsystem.*
  - *"Fahrgäste der U-Bahn können Menschen und Tiere sein."*



- Was halten Sie von dieser Lösung?

Rigidität

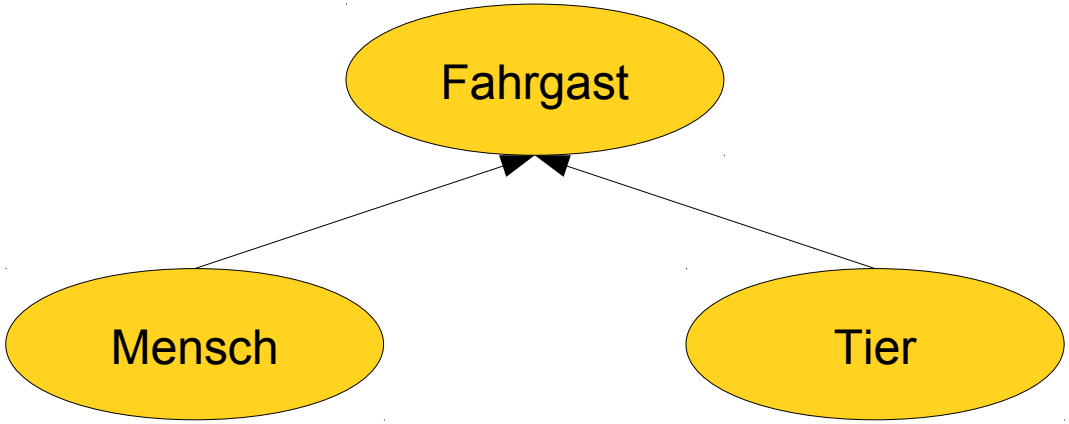
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Man unterscheidet *rigide* und *nicht-rigide* Klassen
  - Wenn eine Entität zu einer rigiden Klasse gehört, dann gilt das zu jedem Zeitpunkt
    - d.h.: wenn eine Entität nicht mehr zu der Klasse gehört, dann hört sie auf zu existieren
  - für nicht-rigide Klassen gilt das nicht
- Beispiele für rigide Klassen
  - Mensch, Ort, Unternehmen
- Beispiele für nicht rigide Klassen
  - Student, Aktiengesellschaft, Kleinstadt
  - Raupe und Schmetterling

Rigidität in OntoClean

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Vorschrift von OntoClean:
  - Rigide Klassen dürfen nicht Subklassen von nicht-rigiden Klassen sein



- Angenommen,
  - `:peter a :Mensch .`
  - daraus folgt: `:peter a :Fahrgast .`
  - das ist wahrscheinlich nicht immer richtig!

Rigidität in OntoClean

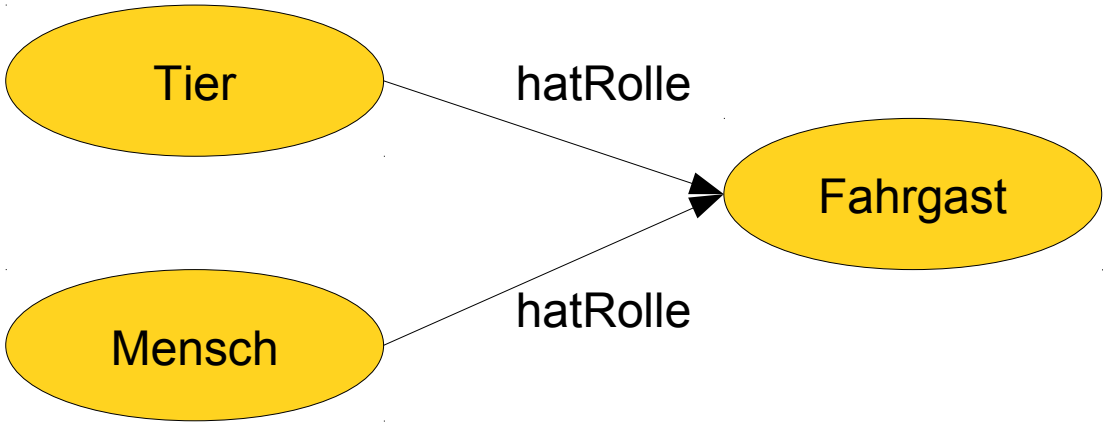
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Weitere typische Problemfälle
  - PhysicalObject > Animal
    - Eine Entität kann aufhören, zu leben, und ist damit kein Tier mehr
      - wenn wir Lebendigkeit als essentiell für Tiere ansehen
    - das physikalische Objekt des Körpers existiert aber weiter

Rigidität in OntoClean

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Verbesserte Lösung:



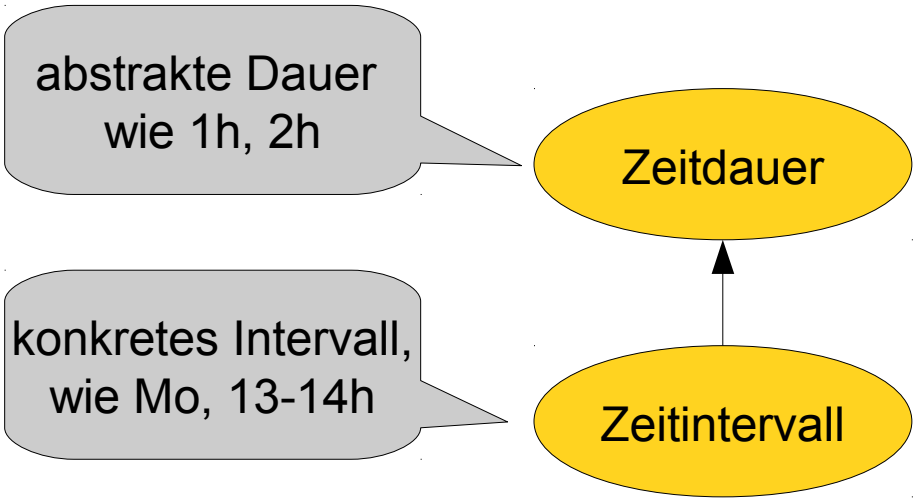
Identität

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Woran erkennt man, dass zwei Dinge gleich sind?
  - Für manche Klassen gibt es dafür *Identitätskriterien*
    - Matrikelnummer für Studenten
    - Steuernummer für deutsche Staatsbürger
    - Ländercodes für Länder
    - ...

Identität

- Betrachten wir folgende Aufgabenstellung:
  - *Bauen Sie eine Ontologie für die Zeiterfassung.*
  - *"Zeitintervalle sind spezielle Zeitdauern: Zeitdauern sind z.B. 1h, 2h, …, Zeitintervalle sind z.B. Mo, 13-14h, oder Di, 15-17h."*



- Was halten Sie von dieser Lösung?

Identität

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Betrachten wir mal einige Instanzen der beiden Klassen
  - :1h a :Zeitdauer . :2h a :Zeitdauer . …
  - :Mo13-14 a :Zeitintervall . :Mo14-15 a :Zeitintervall . …
- Offenbar ist die Klasse *Zeitintervall* größer als die Klasse *Zeitdauer...*
- Was schließen wir daraus?

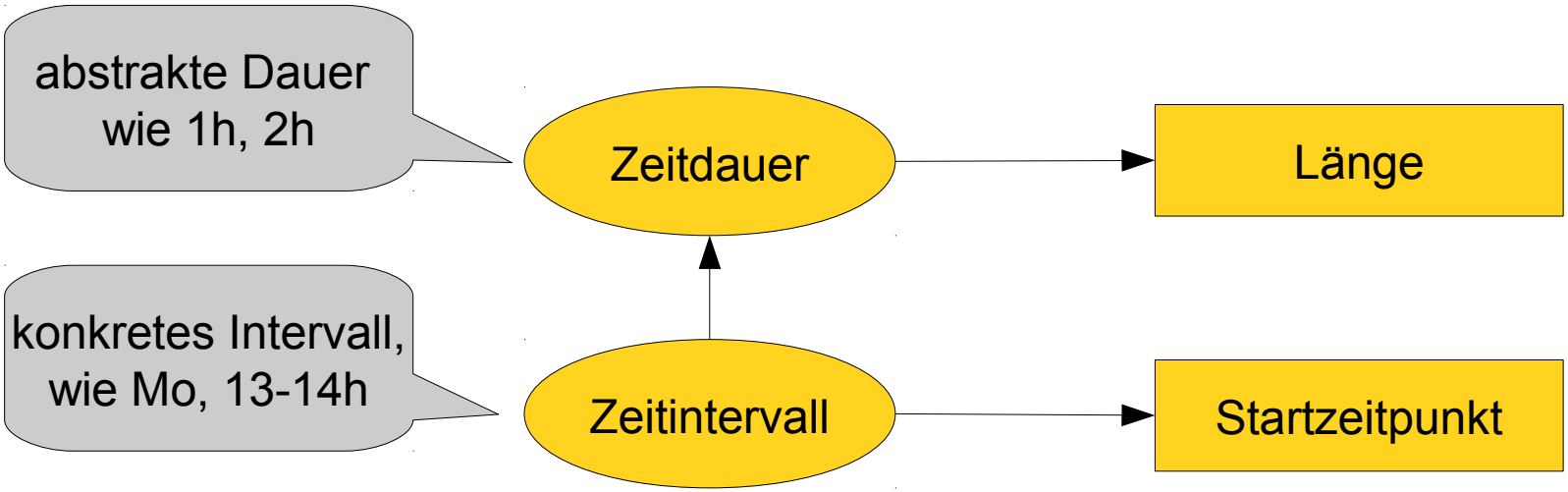
Identität

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Da die Subklasse nicht größer sein kann, muss es Instanzen geben, die gleich sind
- Naheliegend wäre z.B.:
  - :Mo13-14 owl:sameAs :1h .
  - :Mo14-15 owl:sameAs :1h .
- Daraus folgt:
  - :Mo13-14 owl:sameAs :Mo14-15 .
- Wollen wir das wirklich?

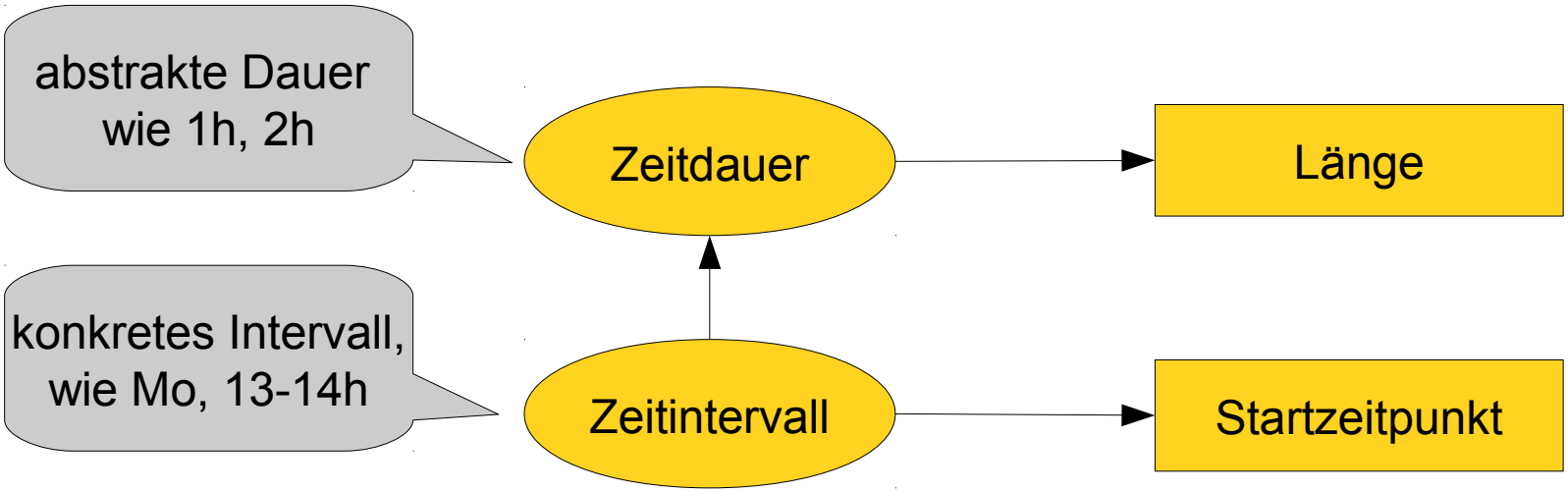
Identität

- Erweitern wir unsere Ontologie noch ein wenig
- Wann sind eigentlich zwei Zeitdauern gleich?
  - wenn sie die gleiche Länge haben
  - :1h owl:sameAs :60Min .



Identität

- Erweitern wir unsere Ontologie noch ein wenig
- Wann sind eigentlich zwei Zeitintervalle gleich?
  - wenn sie die gleiche Länge **und den gleichen Startzeitpunkt** haben
  - :Mo13-14 owl:sameAs :Mo1pm-2pm .



Identität in OntoClean

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Beobachtung:
  - Zeitdauer und Zeitintervall haben *verschiedene Identitätskriterien*

- Vorschrift von OntoClean:
  - Wenn p eine Subklasse von q ist,
    darf p nicht andere Identitätskriterien besitzen als q

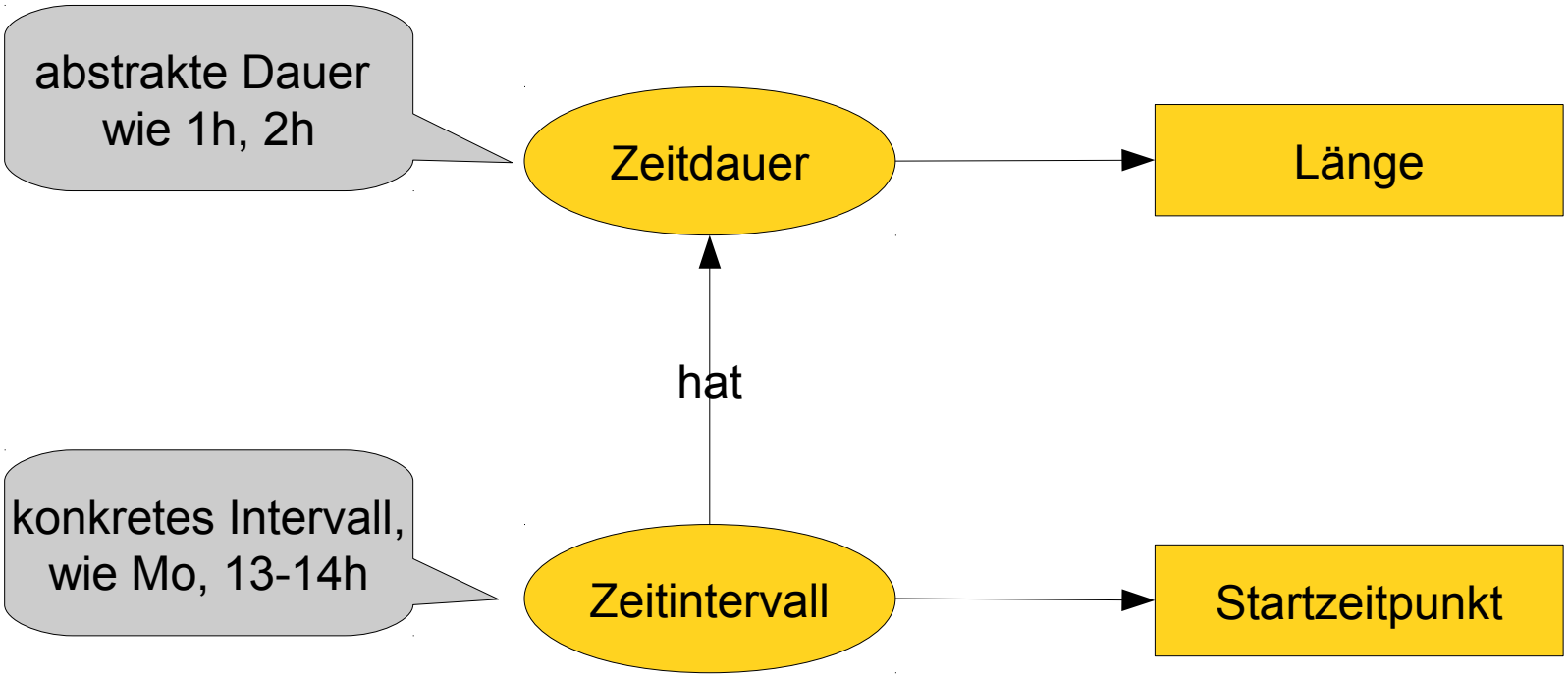
Identität in OntoClean

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Weitere typische Problemfälle
  - GeographicalObject > Country
    - Geographische Objekte und Länder haben andere Identitätskriterien
    - Geographische Objekte: Position/Polygon
    - Länder: z.B. Regierung, Verfassung
    - OntoClean zwingt zur Trennung in geographisches und soziales Konstrukt "Land"
  - Roman > Romanausgabe
    - Roman: Titel/Verfasser
    - Romanausgabe: ISBN, oder Titel/Verfasser plus Auflage
  - Buchexemplar > Buch
    - Buch: ISBN
    - Buchexemplar: Inventarnummer

Identität in OntoClean

- Verbesserte Lösung:
  - ersetze Subklassenbeziehung durch andere Relation



Einheit

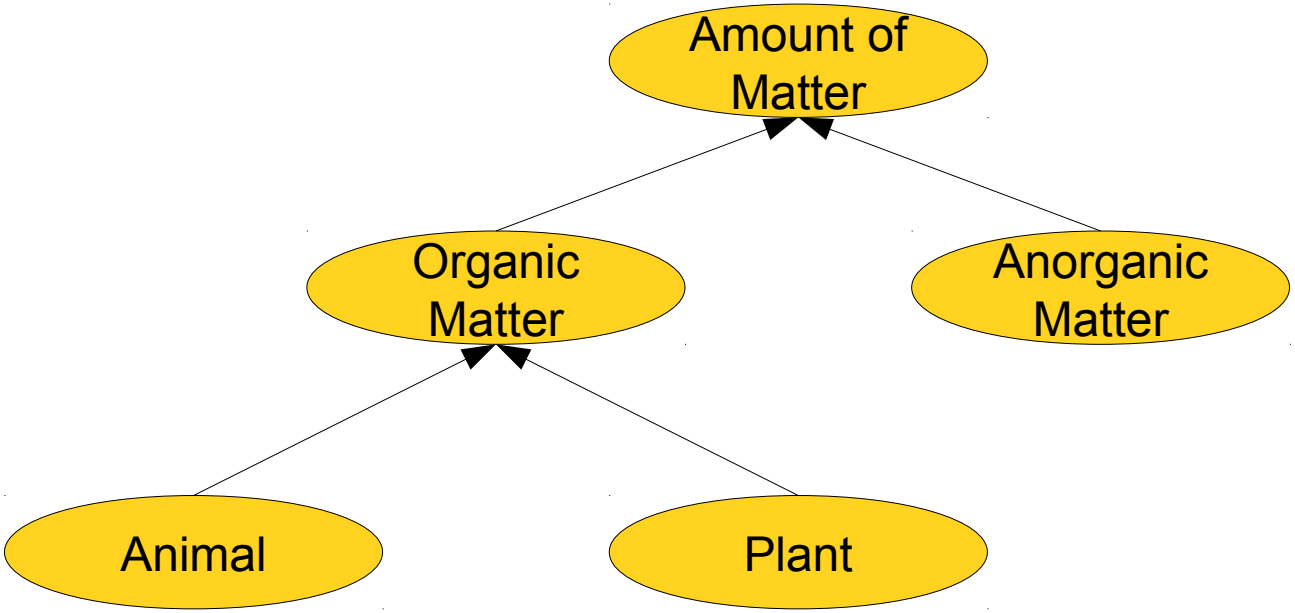
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Individuen einiger Klassen lassen sich in Individuen gleicher Art "zerlegen" → Anti-Unity-Klassen
  - Eine Menge Wasser in zwei Mengen Wasser
  - Eine Gruppe in zwei Teilgruppen
  - …
- Andere Klassen haben immer nur "ganze" Individuen → Unity-Klassen
  - die Klasse der Menschen
  - die Klasse der Städte
- Bei "ganzen" Individuen gibt es immer eine Relation, die ein Teil dem Ganzen eindeutig zuordnet
  - z.B. ein Körperteil zu einem Menschen

Einheit

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Angenommen, wir hätten folgendes definiert



Einheit

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Weiter angenommen, wir definierten folgendes*:
  - wenn man zwei gleichartige Mengen einer Materie zusammenfügt, ensteht eine (größere) Menge derselben Materie

```
          C rdfs:subClassof AmountOfMatter
    ∧     m1 a C . m2 a C . m3 hasPart m1, m2 .
→         m3 a C .
```

*Tun wir einfach mal so, als ginge das in OWL

Einheit

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Dann folgt aus

```
:fluffi a :Animal .
:schnuffi a :Animal .
:SetOfPetersPets hasPart :fluffi, :schnuffi .

→ :SetOfPetersPets a :Animal .
```

- Wollen wir das?

Einheit in OntoClean

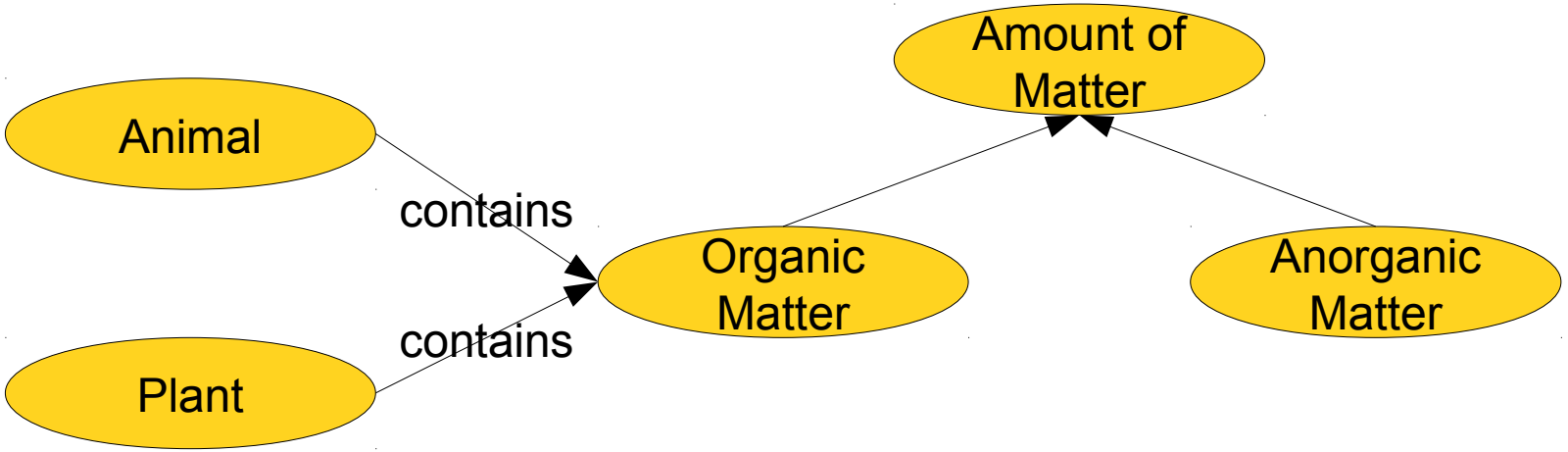
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- OntoClean-Vorschrift:
  - Unity-Klassen dürfen nur Unity-Klassen als Subklassen haben
  - Anty-Unity-Klassen dürfen nur Anti-Unity-Klassen als Subklassen haben

- In unserem Beispiel:
  - OrganicMatter ist eine Anti-Unity-Klasse
  - Animal ist eine Unity-Klasse

Einheit in OntoClean

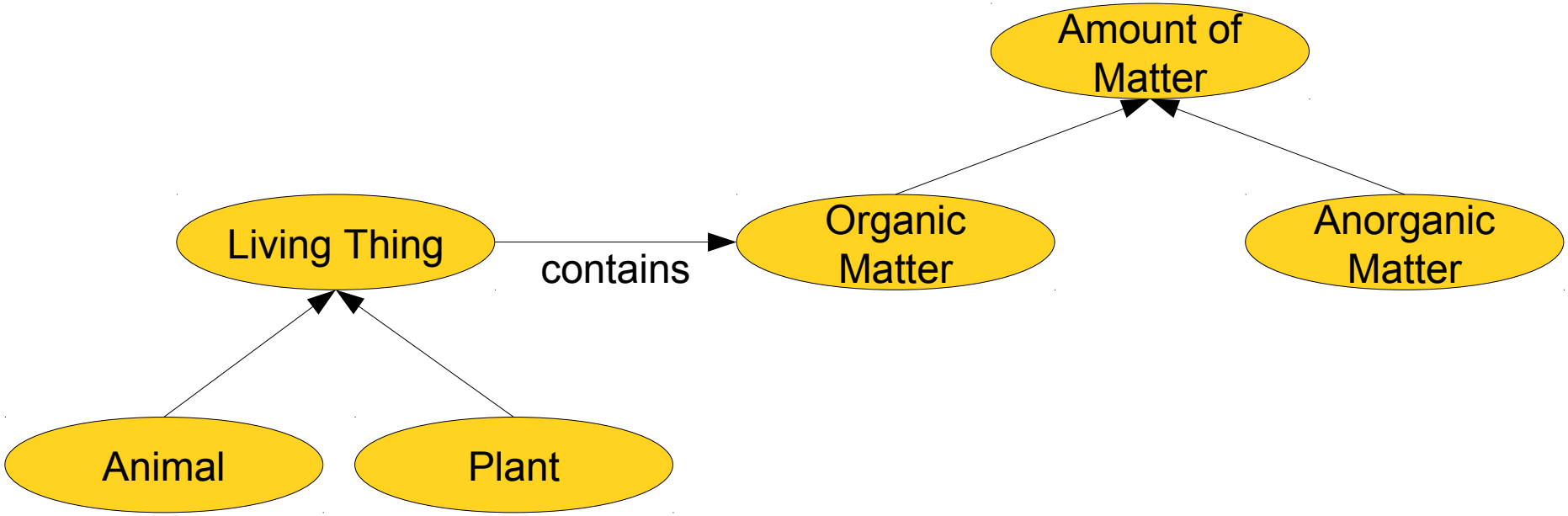
- Lösung auch hier: Ersetze Subklassenbeziehung durch andere Beziehung



Einheit in OntoClean

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Das "Aufräumen" mit OntoClean deutet darauf hin, dass uns vielleicht eine zusätzliche Klasse fehlt



OntoClean

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Eine Reihe von Tests, die man auf Ontologien machen kann
  - Rigidität, Identität, Einheit
  - deckt Unstimmigkeiten und Probleme auf
  - bewahrt vor unsinnigen Schlüssen des Reasoners

Ontology Design Patterns

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Bestimmte Probleme treten immer wieder auf
  - wie drückt man bestimmte Probleme in einer Sprache wie OWL aus?
    - z.B. negative Aussagen
    - z.B. n-äre Relationen
  - wie modelliert man bestimmte Dinge?
    - z.B. Informationsobjekte
    - z.B. zeitlich begrenzte Rollen
- Lösung: Design Patterns

Ontology Design Patterns

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Ursprung des Begriffs
  - Christopher Alexander (*1936)
  - Buch "A Pattern Language" (1977)

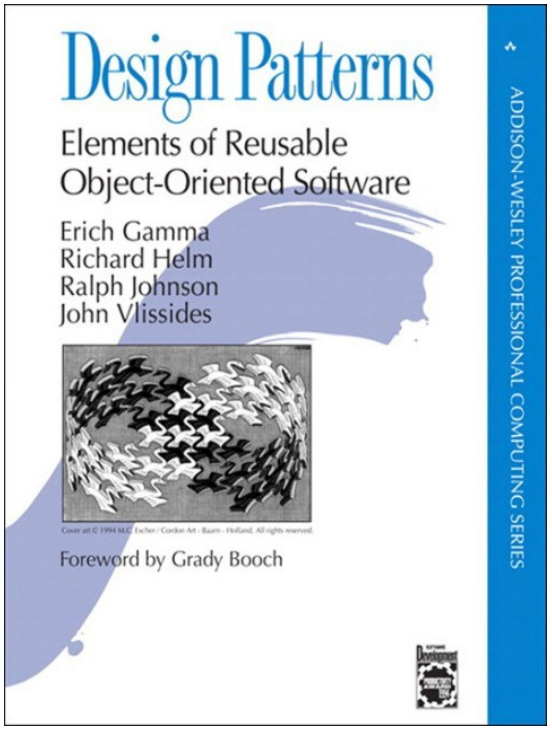
- Architektur
  - wiederkehrende Probleme
  - standardisierte Lösungen
    - mit Freiheitsgraden

- Beispiel
  - Problem: es regnet ins Gebäude
  - Lösung: Dach
    - Freiheitsgrade: Flachdach, Walmdach, Pultdach...

Ontology Design Patterns

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Adaption der Idee im Software Engineering
  - Lösungen für Standardprobleme
  - Gang of Four 1994
- Beispiel: Observer
  - Daten ändern sich
  - Verschiedene Verbraucher sollen darüber informiert werden
  - Entkopplung Erzeuger/Verbraucher erwünscht



Ontology Design Patterns

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Idee aufgegriffen von Aldo Gangemi
  - *Ontology Design Patterns for Semantic Web Content (2005)*
- Vision
  - wiederverwendbare Bausteine
  - durchsuchbarer Katalog
  - sortiert nach Kompetenzfragen

Unterscheidung von Ontology Design Patterns

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Presentation Patterns
  - Ontologie aus Nutzersicht
  - z.B. Namenskonventionen
- Logical Patterns
  - domänenunabhängig
  - beziehen sich auf eine Ausdruckssprache
- Content Patterns
  - domänenabhängig
  - sprachunabhängig
- Transformation Patterns
  - z.B.: wie wandelt man eine Ontologie von einer Sprache in eine andere?

Presentation Patterns

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Beispiel: Namenskonventionen
- Camel Case verwenden
  - CityInNorthernEurope
- Klassen mit Großbuchstaben beginnen, Einzahlwörter verwenden
  - City, Country
- Properties mit Kleinbuchstaben beginnen, Verb verwenden, eindeutige Leserichtung ermöglichen
  - isLocatedIn, isCapitalOf
- Instanzen mit Großbuchstaben beginnen
  - Paris, France
- Labels vorhalten
- ...

Logical Patterns

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Beispiel: negative Zuweisung vor OWL 2
  - in OWL 2:

```
_:x a owl:NegativeObjectPropertyAssertion;
    owl:sourceIndividual :Paul ;
    owl:targetIndividual :Peter ;
    owl:assertionProperty :vaterVon .
```

- das zugehörige Pattern für OWL 1:

```
Paul a [ owl:complementOf [
           a owl:Restriction ;
           owl:onProperty :fatherOf ;
           owl:hasValue :Peter ] ].
```

Logical Patterns

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

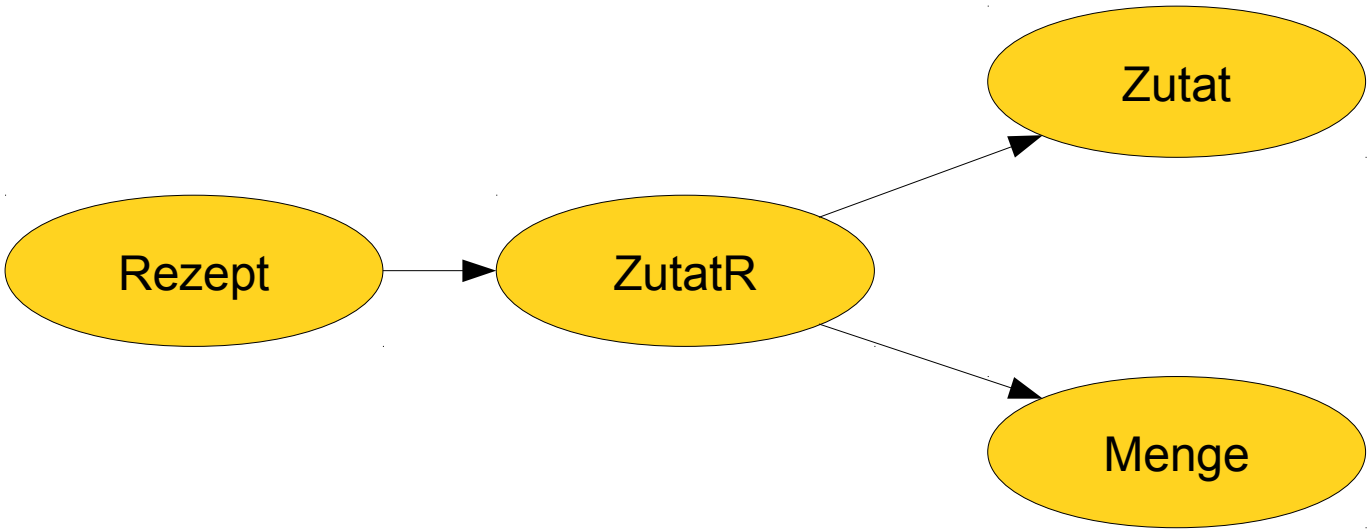
- Beispiel: negative Zuweisung, verallgemeinert
- Aussage: ¬p(X,Y)
- Pattern:

```
X a [ owl:complementOf [
      a owl:Restriction ;
      owl:onProperty P ;
      owl:hasValue Y ] ].
```

Logical Patterns

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- n-äre Aussagen
- Beispiel Rezept: Zutaten mit Mengen
  - Problem: OWL kennt nur binäre Relationen
  - Lösung: Klasse für Relation



Logical Patterns

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

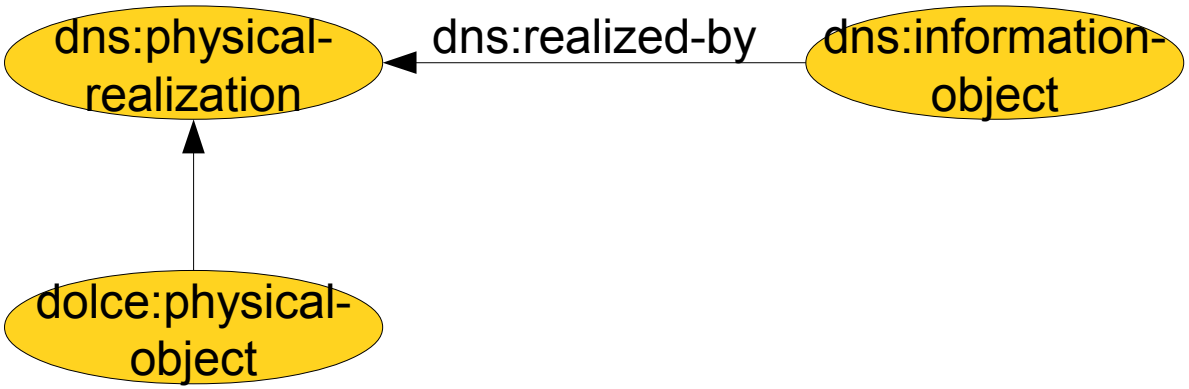
- Beispiel: n-äre Relation, verallgemeinert
- Aussage: r(X,Y,Z)
- Pattern:

```
R a owl:Class .
hasR a owl:ObjectProperty .
rComp1 a owl:ObjectProperty .
rComp2 a owl:ObjectProperty .
X hasR [
  a R ;
  hasComp1 Y ;
  hasComp2 Z ] .
```

Content Patterns

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Eines haben wir schon kennen gelernt
- Informationsobjekte und ihre Realisierungen



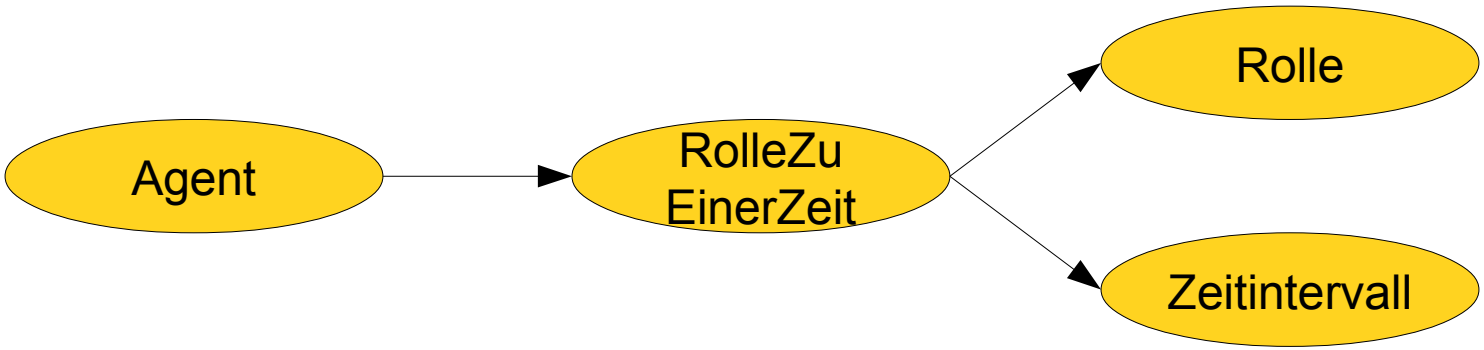
Content Pattern

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Beispiel: Information Object
- Kompetenzfragen:
  - welche Information steckt in einem Objekt?
  - wie ist diese Information realisiert?
- Lösung:
  - Information Object Ontology von DOLCE

Content Pattern

- Beispiel: Rollen zu einer Zeit
- z.B.: Gerhard Schröder war von 1998-2005 Kanzler der BRD



Content Pattern

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Beispiel: Rolle zu einer Zeit
- Kompetenzfragen:
  - wer hatte zu einer bestimmten Zeit eine bestimmte Rolle inne?
- Spezialisierung von
  - n-äre Relation

Ontology Design Patterns

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- bieten Lösungen für bestimmte Probleme
  - logische
  - inhaltliche
- Wiederverwendbare Mini-Ontologien
- Patterns können voneinander erben

Anti-Patterns

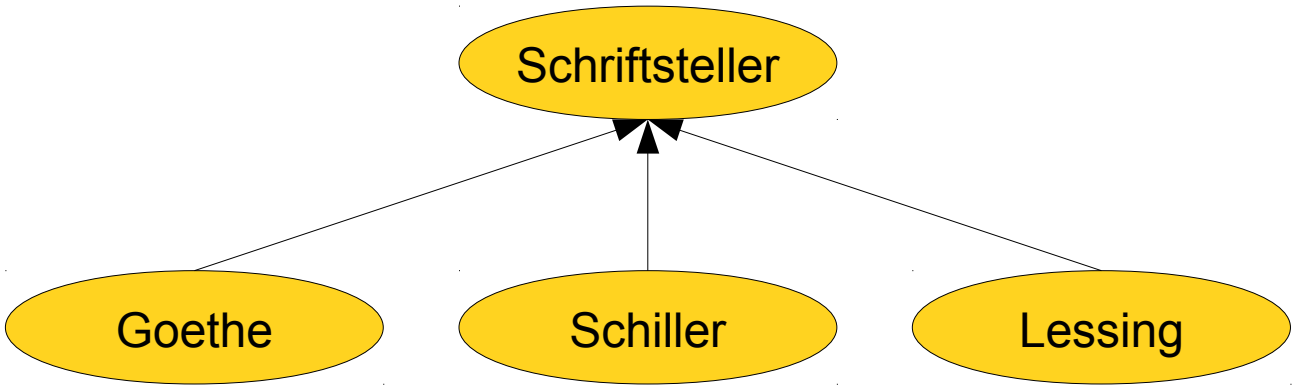
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Dinge, die man nicht machen sollte
  - die aber häufig gemacht werden
  - ...und die Probleme aufwerfen
- Mögliche Gründe
  - Folgen zu wenig bedacht
  - falsches Verständnis der Prinzipien von OWL/RDF

Anti-Patterns: Klassenwildwuchs

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Häufiges Problem:
  - wann soll etwas Klasse sein, wann Instanz?



Anti-Patterns: Klassenwildwuchs

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Betrachten wir mal diesen Extrem-Fall:

```
:Goethe rdfs:subClassOf :Schriftsteller .
:Faust rdfs:subClassOf :Drama .
:Goethe :urheberVon :Faust .
```

- Was folgt daraus?

- Mit einem DL-Reasoner gar nichts,
  weil das nicht DL-konform ist!

Anti-Patterns: Klassenwildwuchs

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

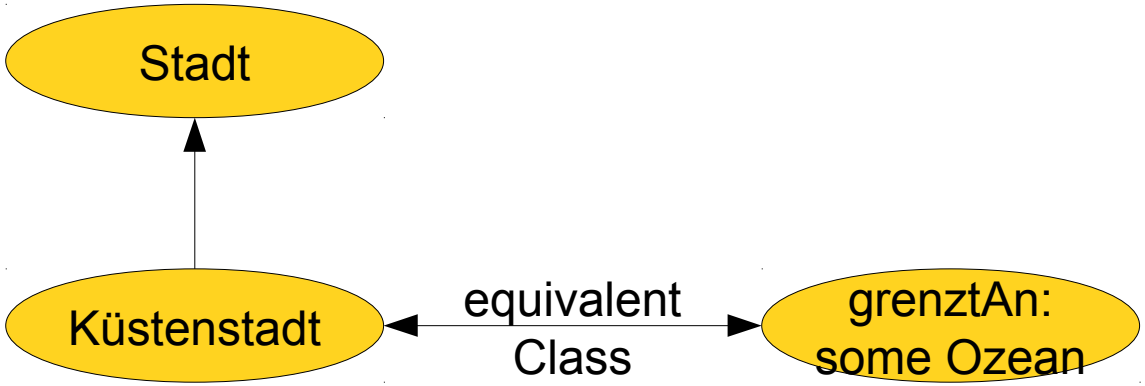
- Wie unterscheidet man Klassen und Instanzen?
- Zu jeder Klasse muss es (meist mehrere) Instanzen geben
  - Was sollen die Instanzen von *Goethe* sein?
  - Mögliche sinnvolle Sätze der Form "X ist ein Goethe"?

- Subklassenbeziehungen müssen sinnvoll sein
  - Muster: "Jede/r/s X ist ein/e Y"
  - "Jeder Goethe ist ein Schriftsteller"?

Anti-Patterns: Exklusivität

- Gegeben folgende Spezifikation:
  - *Städte, die an ein Meer grenzen, sind Küstenstädte.*

- Modellieren wir das mal:

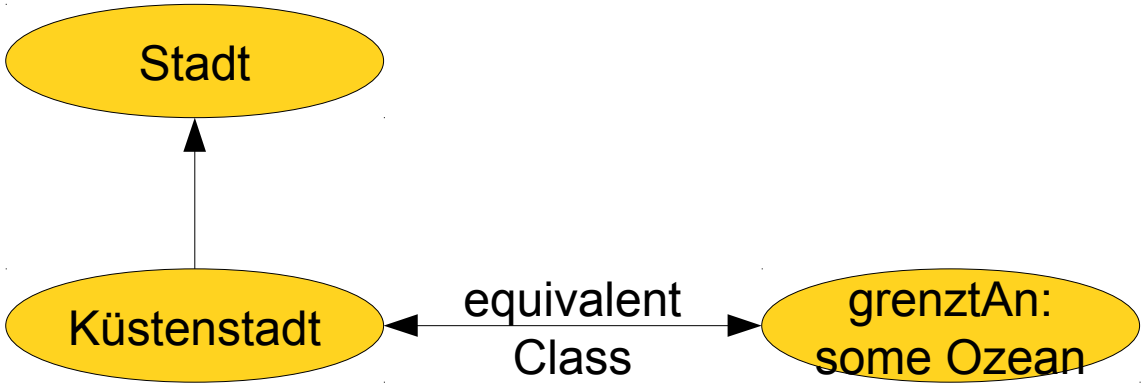


Anti-Patterns: Exklusivität

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- In OWL:

```
:Küstenstadt
  rdfs:subClassOf :Stadt ;
  owl:equivalentClass [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :grenztAn ;
    owl:someValuesFrom :Ozean ] .
```



Anti-Patterns: Exklusivität

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Betrachten wir doch mal ein paar Fakten:

```
:Hamburg a :Stadt .
:Hamburg :grenztAn :Atlantik .
:Atlantik a :Ozean .
→ :Hamburg a :Küstenstadt .
```

- Soweit, so gut.

```
:Deutschland a :Land .
:Deutschland :grenztAn :Atlantik .
:Atlantik a :Ozean .
→ :Deutschland a :Küstenstadt .
→ :Deutschland a :Stadt .
```

Anti-Patterns: Exklusivität

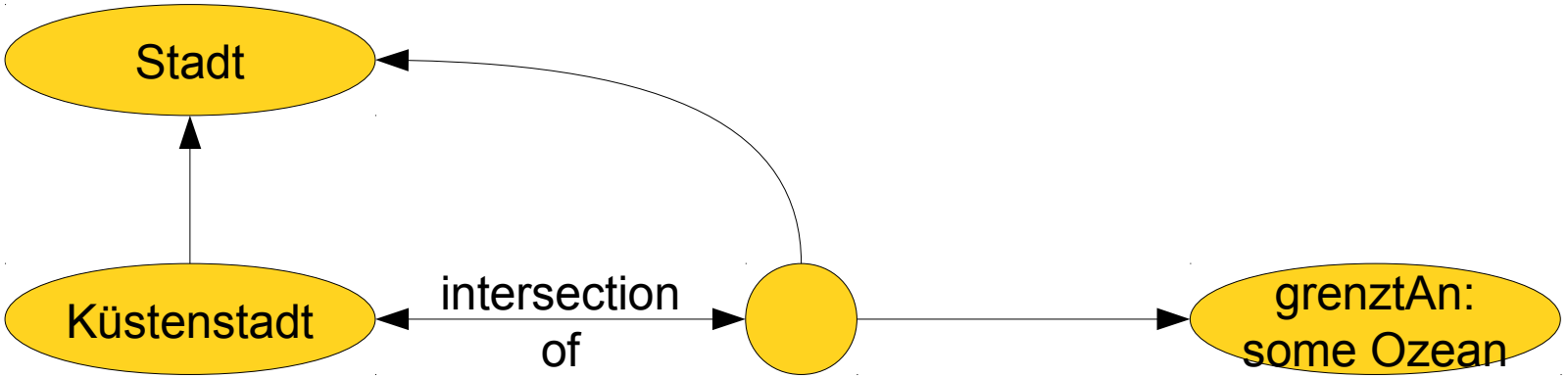
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Was ist hier passiert?
  - Ontologie *exklusiv* für eine Domäne gebaut
  - z.B.: Städte
  - funktioniert bei unvorhergesehener Verwendung nicht mehr
- Prinzipien des Semantic Web
  - AAA (Anybody can say Anything about Anything)
  - auch unvorhergesehene Verwendungen sollten sinnvoll funktionieren!

- Weiteres Beispiel:
  - Jede Person ist mit maximal einer anderen Person verheiratet

Anti-Patterns: Exklusivität

- Mögliche Lösung:




```
:Küstenstadt
  owl:intersectionOf
  ( :Stadt
    [ a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :grenztAn ;
    owl:someValuesFrom :Ozean ] ) .
```

Zusammenfassung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- *Ontology Engineering:* Entwickeln guter Ontologien
  - gemessen an Nutzwert, z.B. Reasoning-Korrektheit
- Vorgehensmodelle
- OntoClean
  - Systematisches Debugging von Ontologien
- Design Patterns
  - kleine, wiederverwendbare Ontologien
- Anti-Patterns
  - Dinge, die man vermeiden sollte

Vorlesung Semantic Web

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Vorlesung im Wintersemester 2011/2012

Dr. Heiko Paulheim

Fachgebiet Knowledge Engineering