Vorlesung Semantic Web

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Vorlesung im Wintersemester 2011/2012

Dr. Heiko Paulheim

Fachgebiet Knowledge Engineering

Was bisher geschah…

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Kann RDF mehr als XML?

- XML ist eine Auszeichnungssprache für Informationen
- In XML kann man beliebige Tags und Attribute definieren
- XML-Tagnamen haben für den Computer keine Bedeutung

- RDF ist eine Auszeichnungssprache für Informationen
- In RDF kann man beliebige Klassen / Relationen definieren
- RDF-Bezeichner haben für den Computer keine Bedeutung

Heute: Ontologien

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

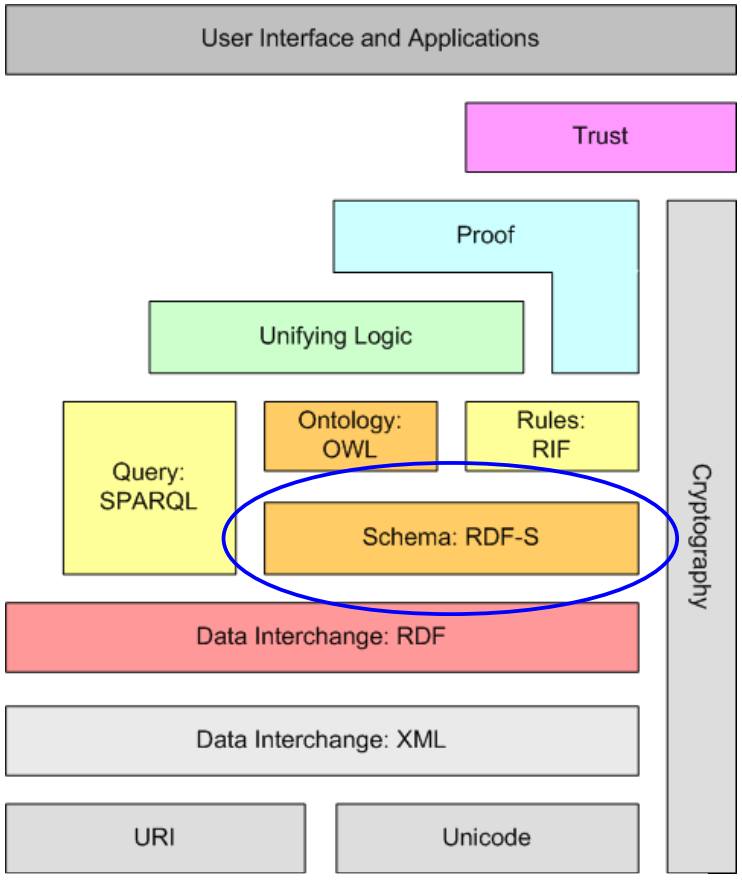
- Jetzt kommt endlich die Semantik!
- Einfache Ontologien mit RDF Schema bauen
- Elemente von RDF Schema
- Automatisches Schlussfolgern mit RDF Schema

Semantic Web – Aufbau

here be dragons...

Semantic-Web-Technologie (Fokus der Vorlesung)

Technische Grundlagen

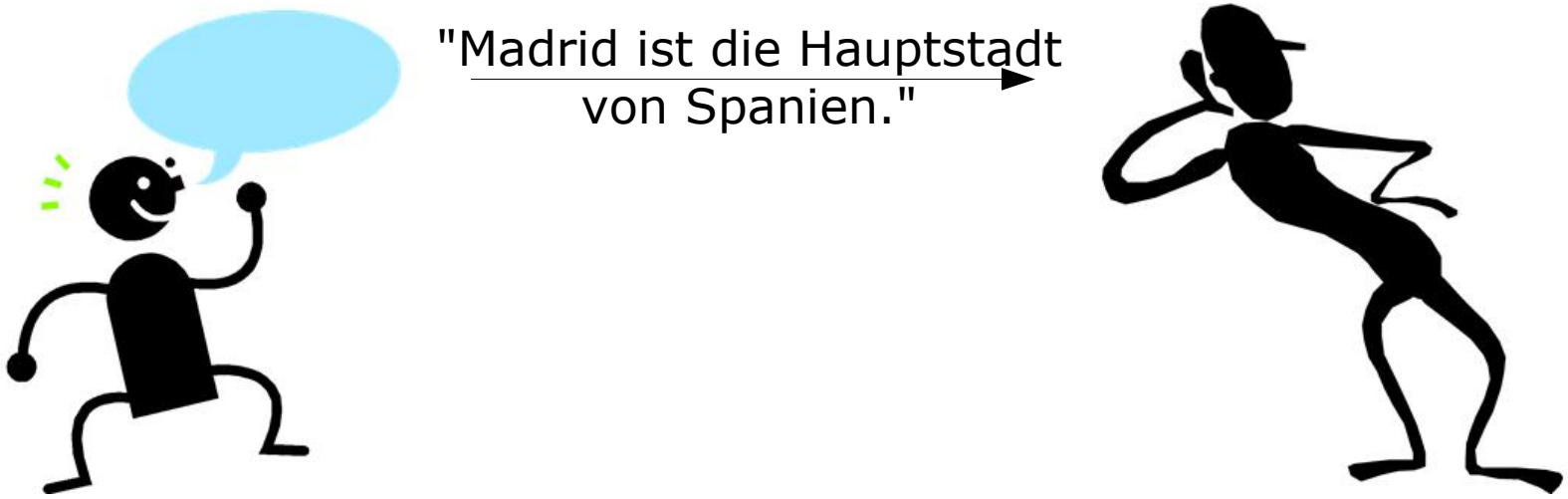


Berners-Lee (2009): *Semantic Web and Linked Data*
http://www.w3.org/2009/Talks/0120-campus-party-tbl/

Was fehlt bis jetzt?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Computer verstehen die Informationen im Web nicht
- Aber was heißt eigentlich *verstehen*?



Semantik (revisited)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Betrachten wir folgenden Satz:

  "Madrid ist die Hauptstadt von Spanien."

- Im Semantic Web (RDF):

  :Madrid :capitalOf :Spain .

- Wie viele Informationen können wir [Menschen] aus diesem Satz erhalten?
  - (1 Information = 1 Aussagesatz <S,P,O>)
  - Schätzungen? Meinungen?

Semantik (revisited)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Betrachten wir folgenden Satz:

  "Madrid ist die Hauptstadt von Spanien."

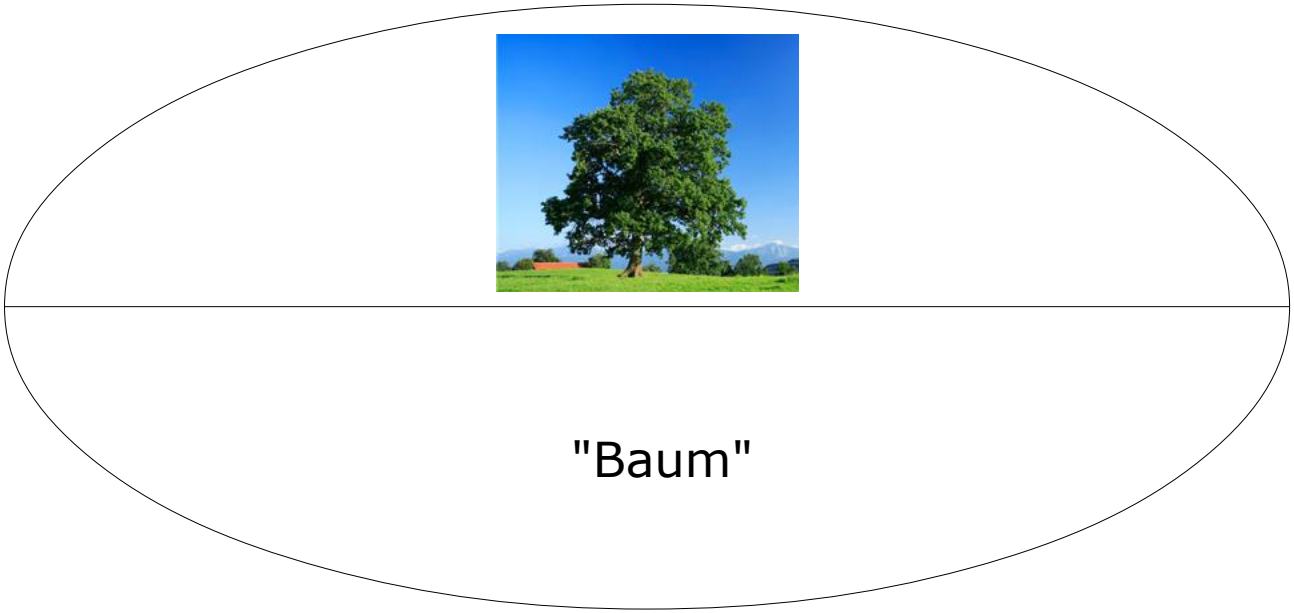
- Aussagen, die wir erhalten können:
  - "Madrid ist die Hauptstadt von Spanien."
  - "Spanien ist ein Land."
  - "Madrid ist eine Stadt."
  - "Madrid liegt in Spanien."
  - "Barcelona ist nicht die Hauptstadt von Spanien."
  - "Madrid ist nicht die Hauptstadt von Frankreich."
  - "Madrid ist kein Land."
  - ...

Wie funktioniert Semantik?

Ausflug in die Linguistik: Das Zeichemodell von Saussure

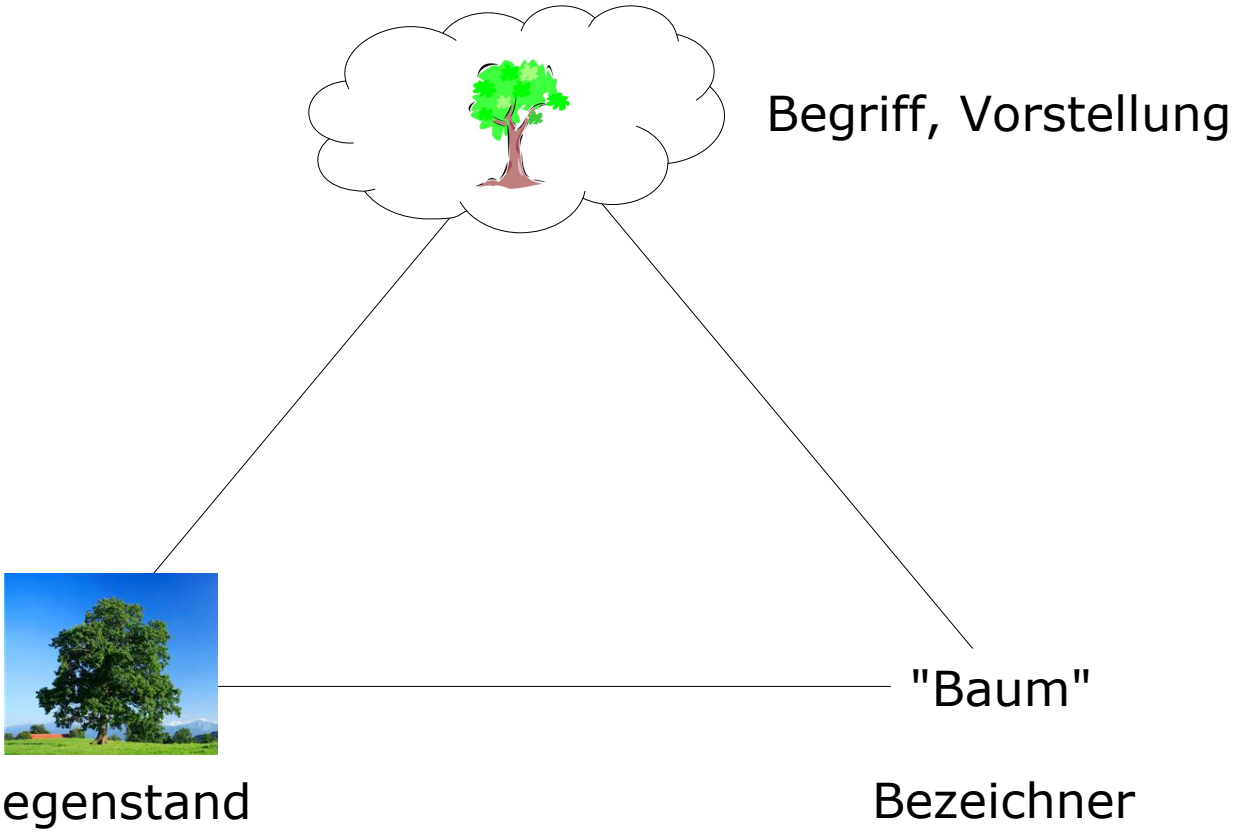
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Ferdinand de Saussure (1857-1913):
  - Zeichen (signifiant) und Bezeichnetes (signifié) untrennbar verbunden



Ausflug in die Linguistik: Das semiotische Dreieck

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Charles Odgen (1923): *The Meaning of Meaning.*

Wie funktioniert Semantik?

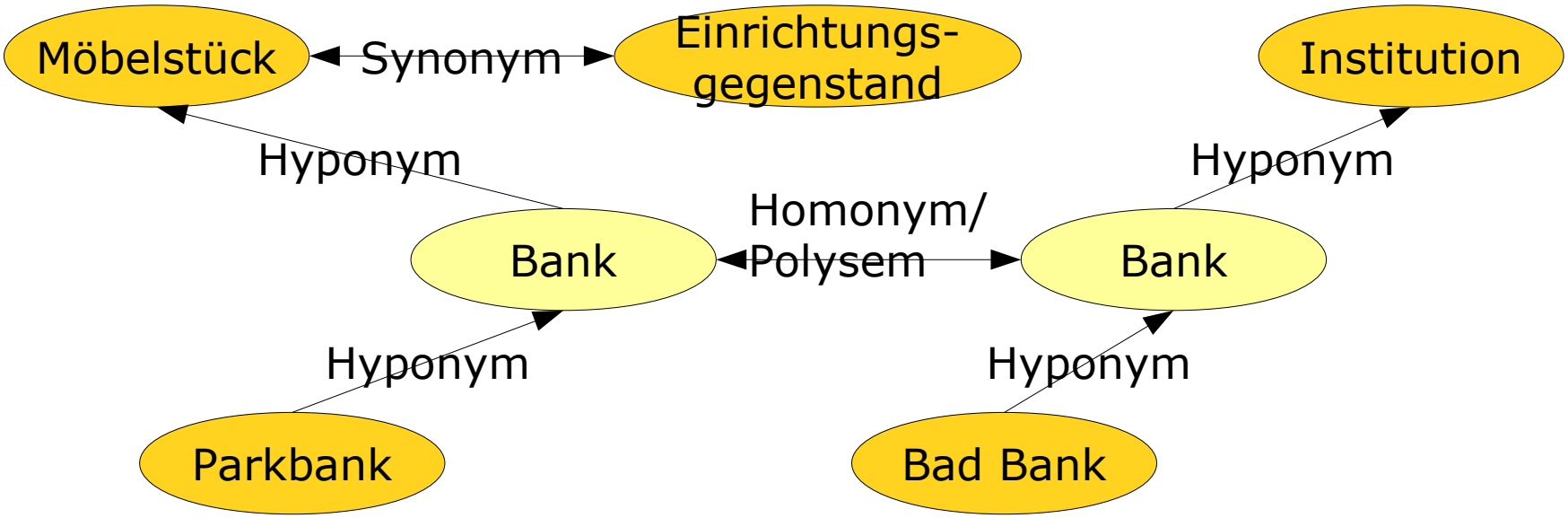
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Lexikalische Semantik
  - Die Bedeutung wird bestimmt durch Beziehungen zu anderen Begriffen
- Extensionale Semantik:
  - Die Bedeutung wird bestimmt durch alle Instanzen
- Intensionale Semantik, z.B. Merkmalssemantik
  - Die Bedeutung wird bestimmt durch Eigenschaften, die eine Instanz haben muss
- Prototypensemantik
  - Die Bedeutung wird bestimmt durch die Nähe zu einer prototypischen Instanz
- ...

Lexikalische Semantik

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

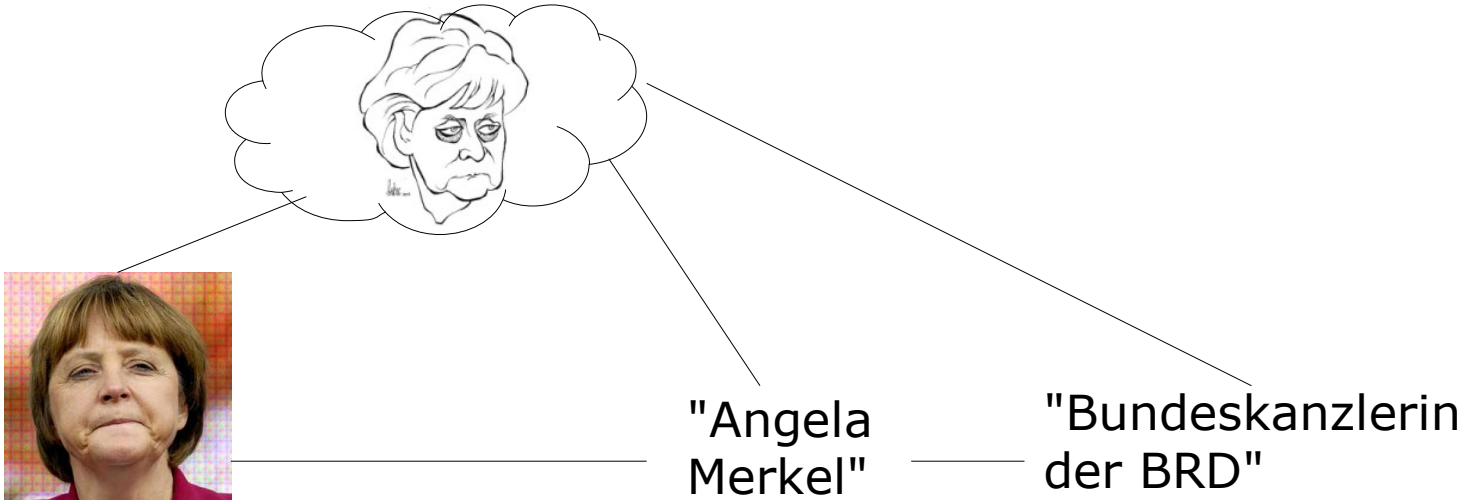
- Definiert Begriffe über Beziehungen zu anderen Begriffen



Extensionale Semantik

- Aufzählung von Instanzen
  - Beispiel: EU-Mitgliedsstaaten sind Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, …, Zypern.

- *Angela Merkel == Bundeskanzlerin der BRD*
  - beide Begriffe haben dieselbe Extension



Intensionale Semantik

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Beschreibt Eigenschaften von Dingen
- Seme: bedeutungsunterscheidende Elemente

Begriff	Hat Flügel	Kann schwimmen	Hat Fell	Hat Federn
Ente	+	+	-	+
Vogel	+	O	-	+
Biene	+	-	-	-
Delphin	-	+	-	-
...				

Intensionale vs. extensionale Semantik

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Intensional verschiedene Dinge können extensional gleich sein
- Klassisches Beispiel: Morgenstern und Abendstern

Begriff	Himmelskörper	hell	sichtbar am Morgenhimmel	sichtbar am Abendhimmel
Morgenstern	+	+	+	+
Abendstern	+	+	-	-
...				

- aber: beide Begriffe haben dieselbe Extension (die Venus)

Intensionale vs. Extensionale Semantik

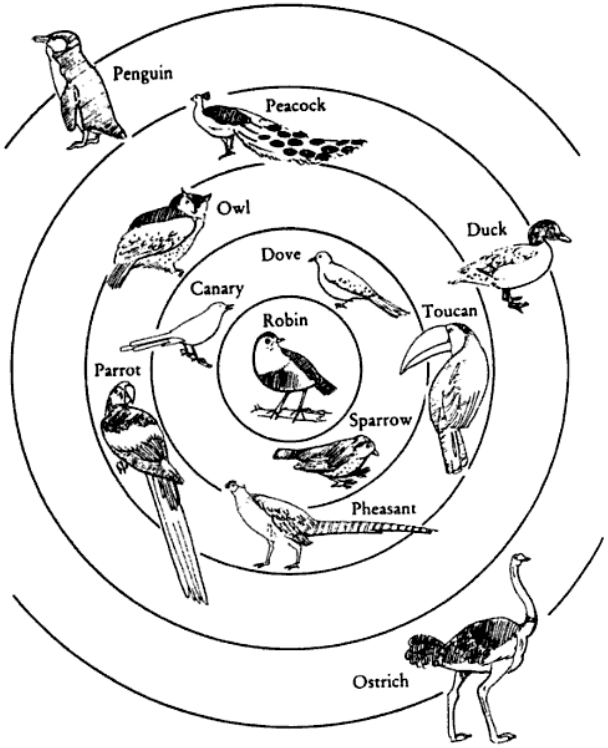
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Die Extension kann sich über die Zeit ändern, ohne dass die Intension sich ändert
  - z.B.: die Extension von "Student"
  - ändert das die Semantik?

- Die Extension eines Begriffes kann auch leer sein
  - Einhorn
  - Marsmensch
  - Yeti (?)
  - ...

Prototypensemantik

- Intentionale und extensionale Semantik sind crisp
- Prototypensemantik: Fuzzy-Variante



Jean Aitchison: Words in the Mind (1987

Wie funktioniert Semantik?

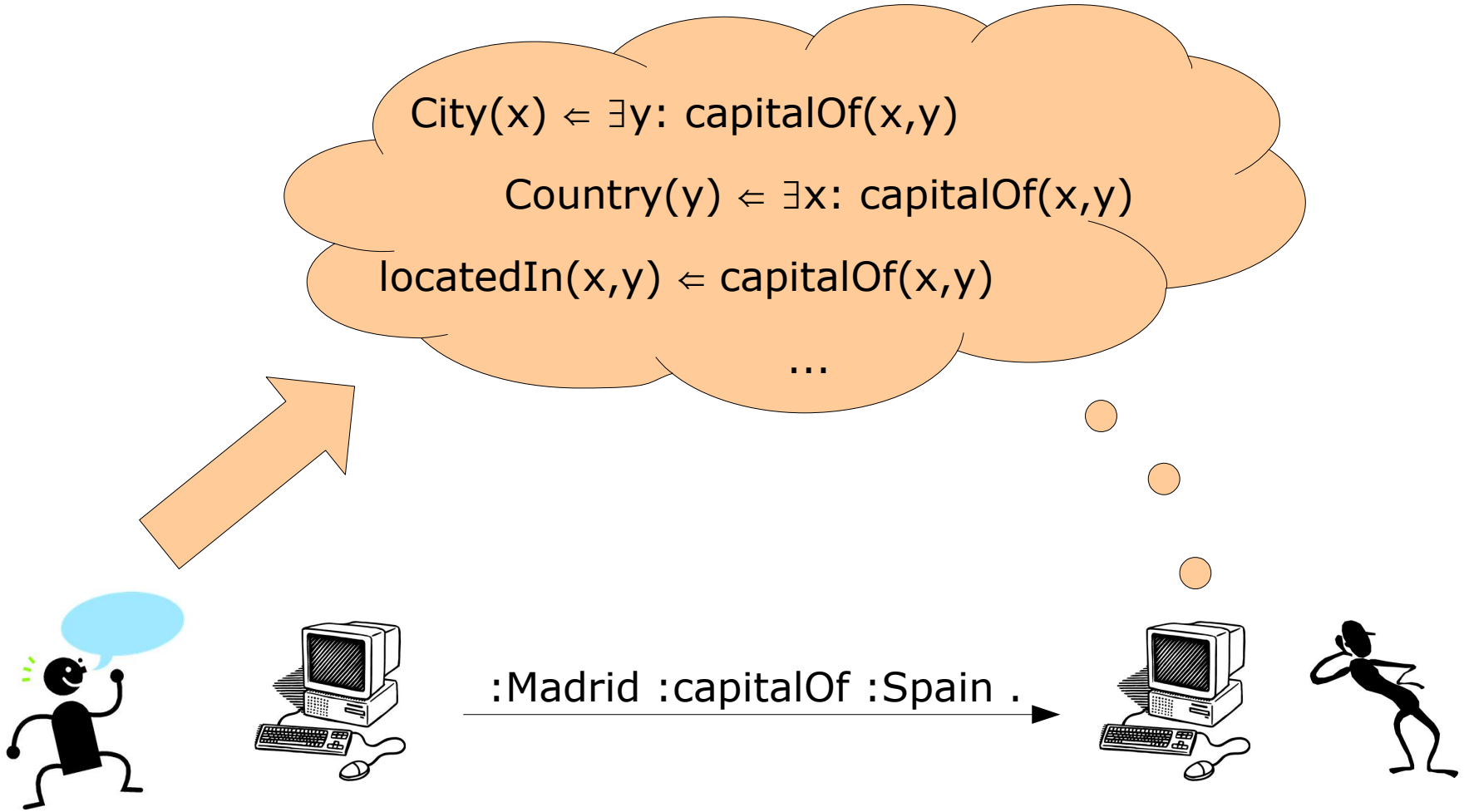
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Semantik definiert die Bedeutung von Begriffen
- Im Semantic Web machen wir das auch
  - Methoden aus lexikalischer, intensionaler und extensionaler Semantik

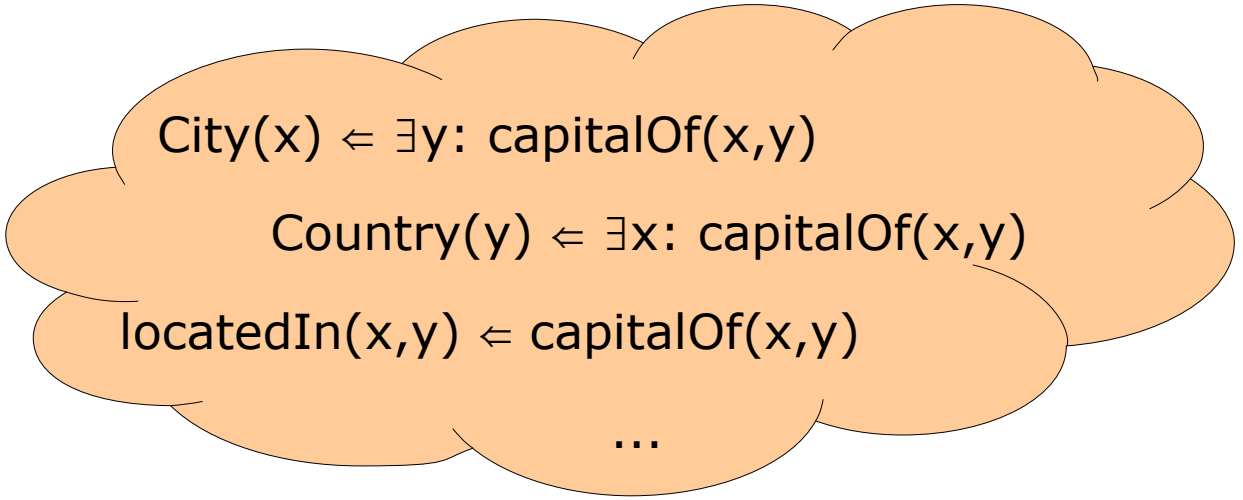
http://walkinthewords.blogspot.com/2008/05/linguistic-cartoon-favorites-semantics.html

Wie funktioniert Semantik?

Semantik im Semantic Web



Ontologien



- "An ontology is an explicit specification of a conceptualization."[1]

- Ontologien codieren das Wissen einer Domäne
- Sie bilden ein gemeinsames Vokabular
  - und beschreiben die Semantik der darin enthaltenen Begriffe

[1] Gruber (1993): *Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing.* In: International Journal Human-Computer Studies Vol. 43, Issues 5-6, pp. 907-928.

Was ist eigentlich eine Ontologie?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Ontologie (ohne Artikel) ist die "Lehre vom Seienden"
  - griechisch: *όντος* (das, was ist), *λόγος* (die Lehre)
  - Subdisziplin der Philosophie

- In der Informatik (mit Artikel)
  - eine formalisierte Beschreibung einer Domäne
  - ein gemeinsam genutztes Vokabular
  - eine logische Theorie

Ontologie – weitere Definitionen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Guarino und Giaretta (1995):

  "a logical theory which gives an explicit, partial account of a conceptualization"

- Uschold und Gruninger (1996):

  "shared understanding of some domain of interest"
  "an explicit account or representation of some part of a conceptualisation"

- Guarino (1998):

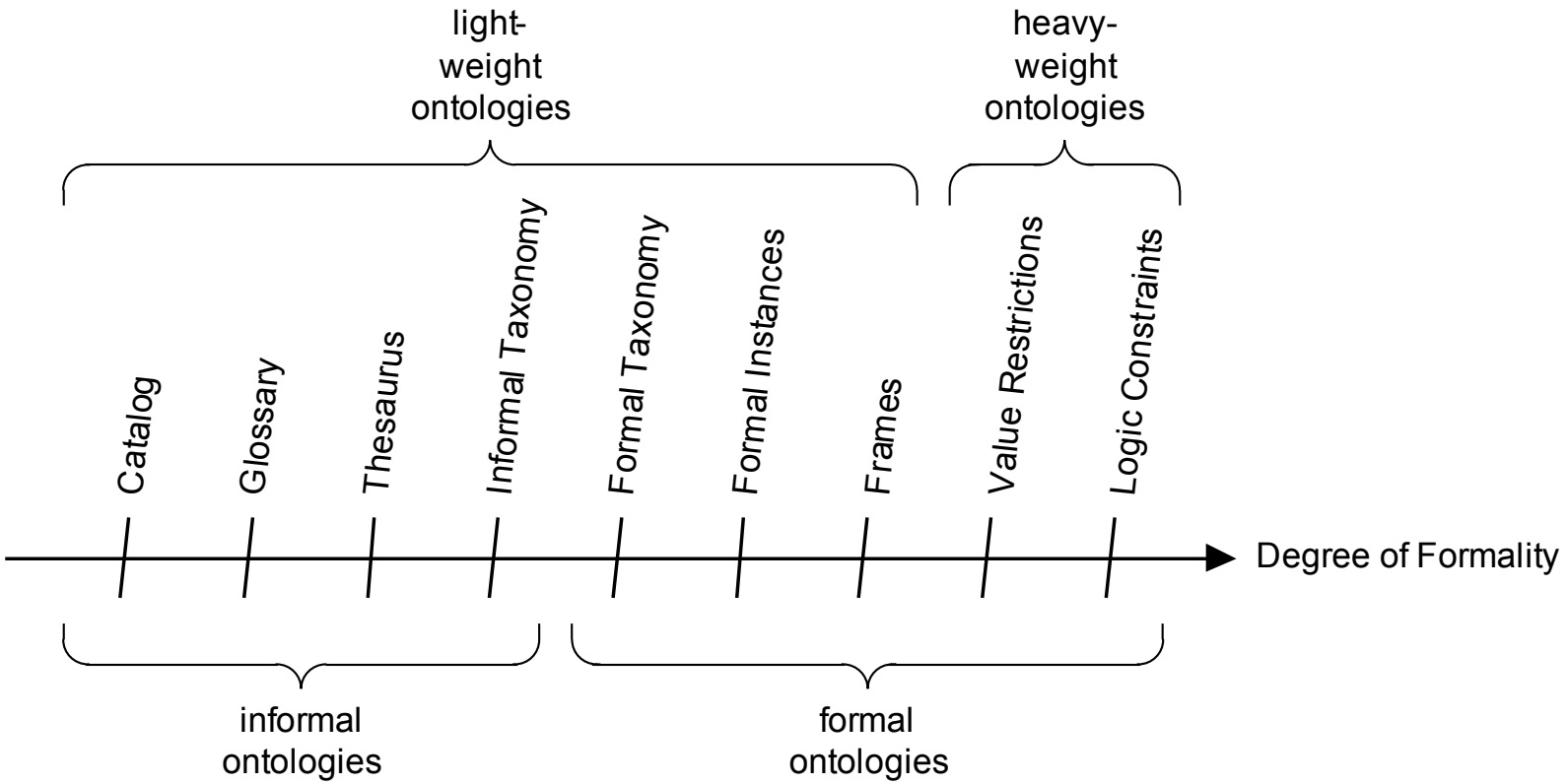
  "a set of logical axioms designed to account for the intended meaning of a vocabulary"

Ontologie – essentielle Eigenschaften

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Explizit
  - Keine "versteckten" Bedeutungen
- Formal
  - z.B. Logik-Sprachen, Regeln, …
- Geteilt
  - Martin Hepp: "Autists don't build Ontologies"
  - Eine Ontologie für einen allein ist nicht unbedingt sinnvoll
- Partiell
  - Eine komplette "Welt-Ontologie" wird es (wahrscheinlich) nie geben

Klassifikation von Ontologien



Lassila & McGuiness (2001): *The Role of Frame-Based Representation on the Semantic Web.*
In: Linköping Electronic Articles in Computer and Information Science 6(5).

Klassifikation von Ontologien: informelle Ontologien

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Katalog
  - Begriffssammlung, geordnetes Vokabular
- Glossar
  - Katalog + Erklärungen zu Begriffen (informell, textuell)
- Thesaurus
  - Glossar + Verweise auf andere Begriffe
  - Synonyme, Antonyme, Hyponyme, Hyperonyme
- Informelle Taxonomie
  - Subklassenbeziehungen
  - können "unecht" sein: $C \supset D \not\Rightarrow D(x) \rightarrow C(x)$
  - Beispiel Webshop-Hierarchie: "Fachbücher" ⊃ "Informatik"

Klassifikation von Ontologien: Informelle Ontologien

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Informelle Ontologien helfen im Semantic Web kaum weiter
  - textuelle Beschreibungen
  - unechte Beziehungen

- Informelle Taxonomien können zu falschen Schlussfolgerungen führen
- Beispiel:

  Fachbücher $\supset$ Informatik $\supset$ Algorithmen

  Quicksort $\in$ Algorithmen $\rightarrow$ Quicksort $\in$ Fachbücher??

Klassifikation von Ontologien: formale Ontologien

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Formale Taxonomien
  - echte Subklassenbeziehung: $C \supset D \Rightarrow D(x) \rightarrow C(x)$
- Formale Instanzen
  - Formale Taxonomien plus Instanzen
  - z.B. Spanien $\in$ Länder
- Frames
  - Formale Instanzen + Beziehungen zwischen Dingen
  - z.B. hatHauptstadt(Spanien, Madrid)
- Wertrestriktionen
  - Frames + Einschränkungen von Definitions- und Wertebereich
  - z.B. "Die Hauptstadt eines Landes kann nur eine Stadt sein."
- Logische Bedingungen
  - Alles, was darüber hinausgeht (z.B. komplexe Regeln)

Die älteste Ontologie

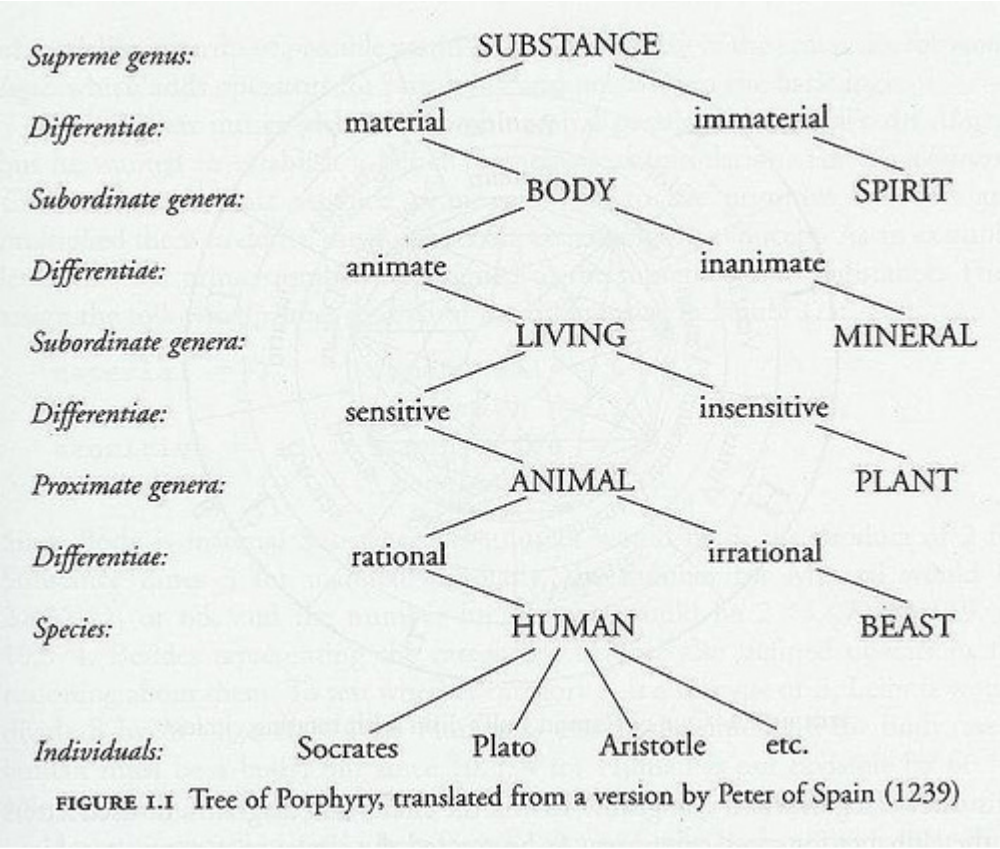


FIGURE 1.1 Tree of Porphyry, translated from a version by Peter of Spain (1239)

Porphyrios, griechischer Philosoph, ca. 233-301

Einfache Ontologien codieren: RDF Schema (RDFS)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Standardisiert vom W3C (2004)
- Wichtigstes Element: Klassen

```
:Country a rdfs:Class .
```

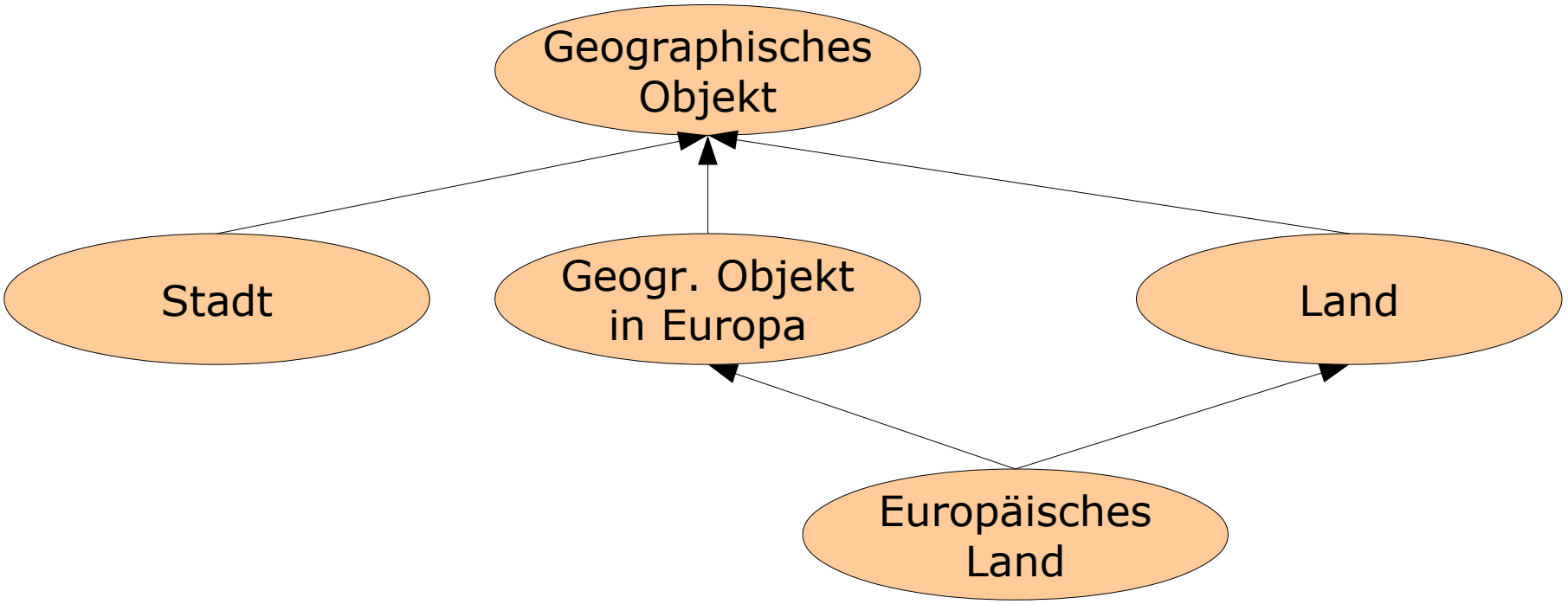
- Klassen bilden Hierarchien

```
:EuropeanCountry rdfs:subClassOf :Country .
```

Klassenhierarchien in RDF Schema

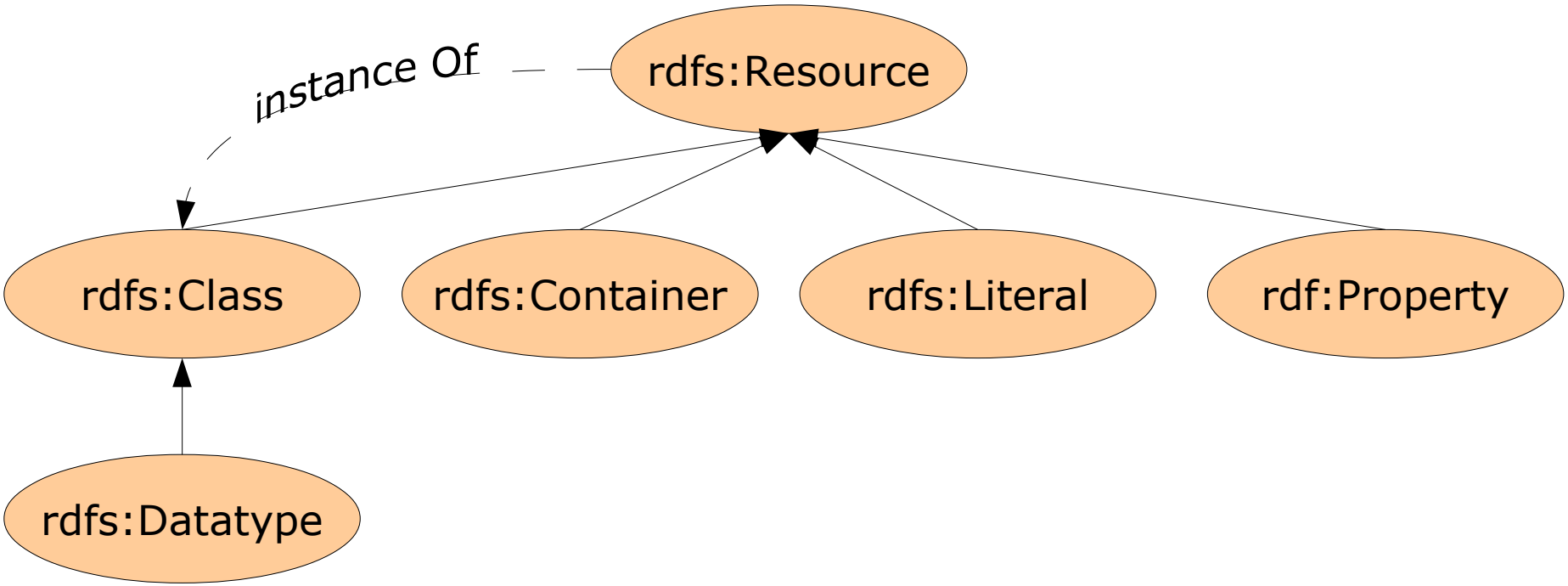
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Mehrfachvererbung ist erlaubt



Konvention für diese VL: unbeschriftete Pfeile = rdfs:subClassOf

Einige vordefinierte Konzepte in RDFS



Properties in RDF Schema

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Properties sind das zweitwichtigste Element
- entsprechen zweiwertigen Prädikaten

```
:Madrid :capitalOf :Spain .
:capitalOf a rdf:Property .
```

- Auch Properties bilden Hierarchien

```
:capitalOf rdfs:subPropertyOf :locatedIn .
```

Definitions- und Wertebereiche von Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Properties existieren prinzipiell losgelöst von Klassen
  - das ist anders als z.B. in OOP

- Festlegen von Definitions- und Wertebereich:

```
:capitalOf rdfs:domain :City .
:capitalOf rdfs:range :Country .
```

- Definitions- und Wertebereich werden an Sub-Properties vererbt
- Können dort weiter eingeschränkt werden (dazu später mehr)

Vordefinierte Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Einige haben wir schon kennen gelernt:

```
rdf:type
rdf:first
rdf:rest
rdf:_1, rdf:_2, ...
    ⊆ rdfs:containerMembershipProperty

rdfs:subClassOf
rdfs:subPropertyOf
rdfs:domain
rdfs:range
```

Weitere vordefinierte Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Labels:

```
:Germany rdfs:label "Deutschland"@de .
:Germany rdfs:label "Germany"@en .
```

- Kommentare:

```
:Germany rdfs:comment "Germany as a political entity."@en .
```

- Verweise auf weitere Ressourcen:

```
:Germany rdfs:seeAlso <http://www.deutschland.de/> .
```

- Verweis auf definierendes Schema:

```
:Country rdf:definedBy <http://foo.bar/countries.rdfs> .
```

URIs vs. Labels

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Ein URI ist letztlich nur ein eindeutiger Bezeichner
  - eben ein Identifier
  - muss nicht als solcher verstehbar sein

```
http://www.countries.org/4327893
```

- Labels sind für das menschliche Verständnis gedacht
- und potentiell mehrsprachig

```
countries:4327893 rfds:label "Deutschland"@de .
countries:4327893 rdfs:label "Germany"@en .
countries:4327893 rdfs:label "Tyskland"@sv .
...
```

URIs vs. Labels

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Auch auf Schemaebene können Labels vergeben werden

```
:Country a rdfs:Class .
:Country rdfs:label "Land"@de .
:Country rdfs:label "Country"@en .

:locatedIn a rdf:Property .
:locatedIn rdfs:label "liegt in"@de .
:locatedIn rdfs:label "is located in"@en .
:locatedIn rdfs:comment "bezogen auf geographische Lage" .
```

RDF Schema und RDF

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Jedes RDF Schema ist selbst ein gültiges RDF-Dokument
- Damit gelten alle Eigenschaften von RDF auch für RDF Schema!

- Non-unique Naming Assumption

```
schema1:Country a rdfs:Class .
schema2:Land a rdfs:Class .
```

- Open World Assumption

```
:Country rdfs:subClassOf :GeographicObject .
:City rdfs:subClassOf : GeographicObject .
```

Unsere erste Ontologie

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Städte, Länder und ihre Hauptstädte

```
:Country a rdfs:Class .
:City a rdfs:Class .
:locatedIn a rdf:Property .
:capitalOf rdfs:subPropertyOf :locatedIn .
:capitalOf rdfs:domain :City .
:capitalOf rdfs:range :Country .

:Madrid :capitalOf :Spain .
```

Beschreibung der Terminologie (T-Box)

Beschreibung der Assertionen oder Behauptungen (A-Box)

Was haben wir jetzt gewonnen?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
:Country a rdfs:Class .
:City a rdfs:Class .
:locatedIn a rdfs:Property .
:capitalOf rdfs:subPropertyOf :locatedIn .
:capitalOf rdfs:domain :City .
:capitalOf rdfs:range :Country .
```

:Madrid :capitalOf :Spain .

Was haben wir jetzt gewonnen?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
  :Madrid :capitalOf :Spain .
+ :capitalOf rdfs:domain :City
→ :Madrid a :City .
```

```
  :Madrid :capitalOf :Spain .
+ :capitalOf rdfs:range:Country
→ :Spain a :Country .
```

```
  :Madrid :capitalOf :Spain .
+ :capitalOf rdfs:subPropertyOf :locatedIn .
→ :Madrid :locatedIn :Spain .
```

Reasoning auf RDF

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Mit Hilfe von RDF Schema kann man *deduktiv* schließen
- Das heißt,
  - aus Regeln und Fakten
  - neue Fakten ableiten
- Tools dazu heißen Reasoner

- Das Gegenteil hierzu ist *induktives* Schließen
  - aus Fakten Regeln ableiten
  - wird u.a. in der Vorlesung "Maschinelles Lernen" behandelt

Kleine Geschichte des Reasoning

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

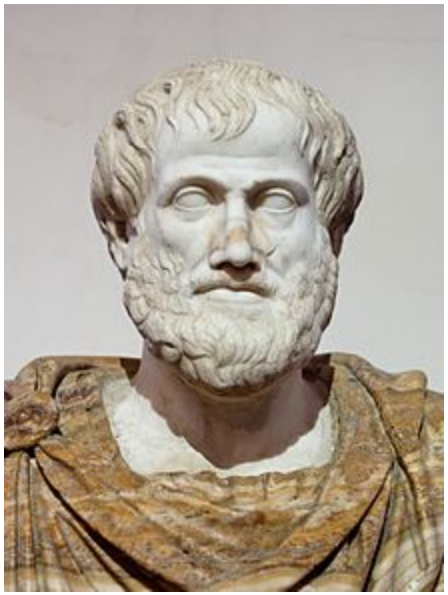
- Aristoteles (384 – 322 v.Chr.)
- Syllogismen
  - Ableitung von Fakten mit Hilfe von Regeln

- Beispiel:

  Alle Menschen sind sterblich.

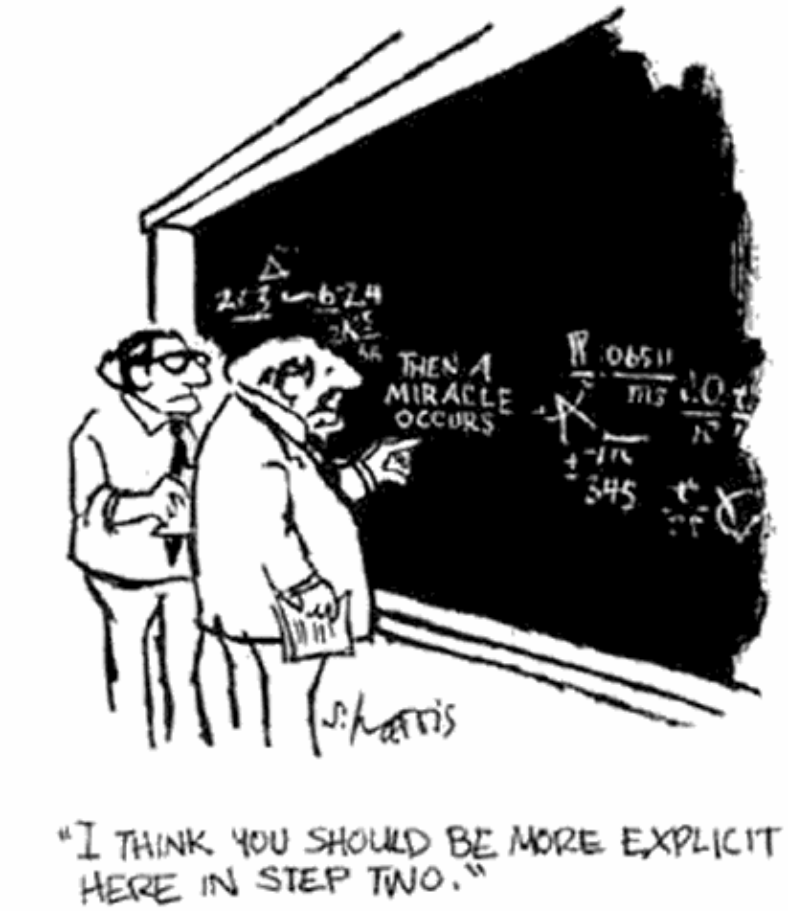
  Sokrates ist ein Mensch.

  → Sokrates ist sterblich.



Wie funktioniert Reasoning mit RDF Schema?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



http://www.flickr.com/photos/skepticalist/4372728626/

Definition: Extension

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Wiederholung Semantik:
  - Menge aller Dinge, die von einem Begriff identifiziert werden
  - z.B. Menge aller Häuser ist die Extension von "Haus"
  - kann auch leer sein (z.B. Extension von "Yeti")

- Extension eines RDF-Graphen:
  - Menge aller Aussagen, die in einem RDF-Graphen enthalten sind
  - Abbildung von IP auf IR x IR
    - IP: Menge der Prädikate
    - IR: Menge der Ressourcen

Extension vs. Interpretation

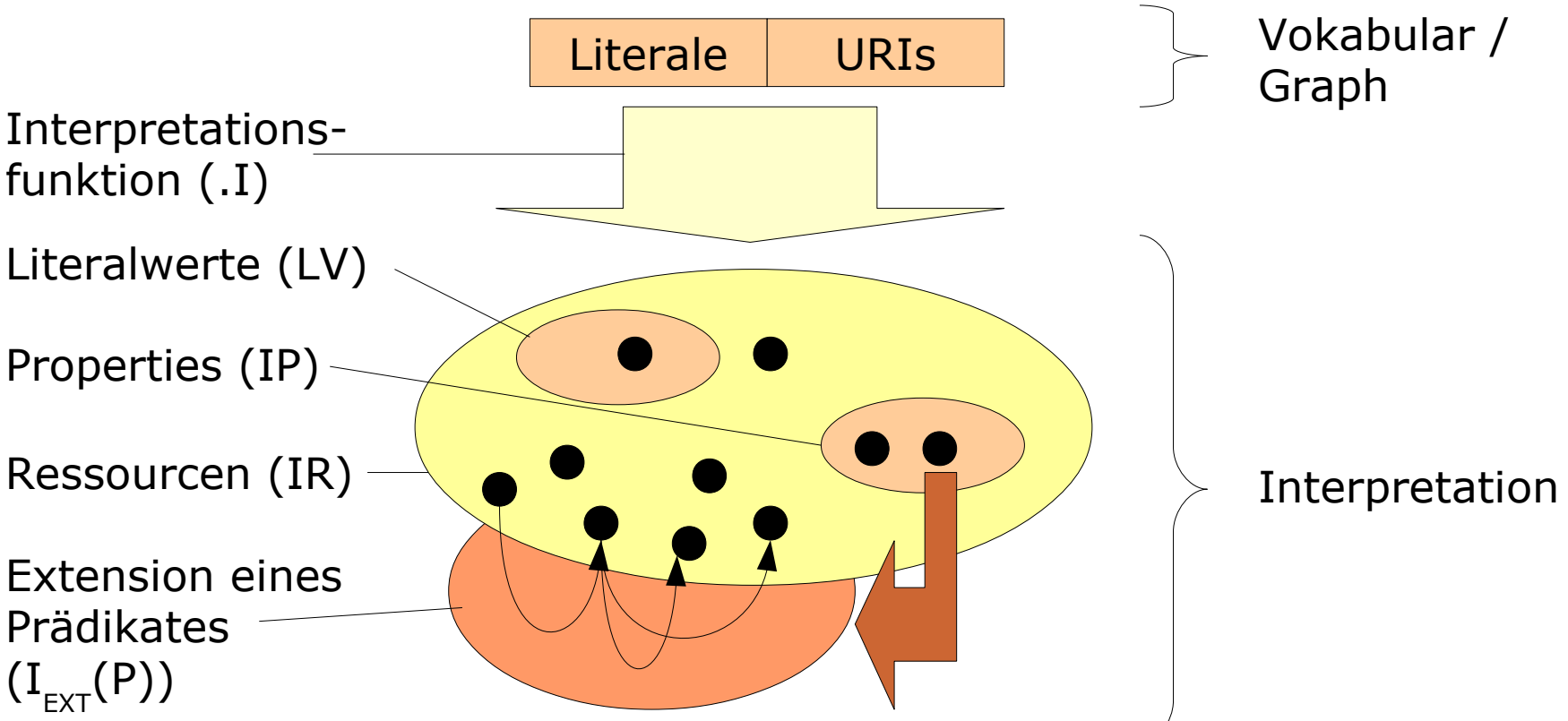
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Die Interpretation bestimmt die Extension eines Graphen
- Bildet den Graph auf eine Extensionsfunktion ab

- Einfachste Interpretation:
  - $<s,p,o> \in G \rightarrow <s,o> \in I_{EXT}(p)$

- Diese Interpretation enthält alle Aussagen, die *explizit* im Graph enthalten sind
- Wir sind aber besonders an den *impliziten* Aussagen interessiert!

Extension: schematisch



Angelehnt an: Hitzler et al. (2008): *Semantic Web Grundlagen.*

Extension mit Ableitungsregeln

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- RDFS-Ableitungsregeln bilden eine Interpretationsfunktion
- Erzeugen eine Extension
  - auf Basis bestehender Ressourcen, Literale und Properties
  - zusätzliche Paare der Form <s,o> $\in I_{EXT}(p)$
  - z.B.
    - <Madrid, Stadt> $\in I_{EXT}$(rdf:type)
    - <Madrid, Spanien> $\in I_{EXT}$(liegt_in)
- Merke:
  - es entstehen niemals *neue* Ressourcen, Literale, Properties!

Reasoning mit Hilfe von Ableitungsregeln

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Ableitungsregeln bilden eine Interpretationsfunktion
- Entailment: Menge aller Konsequenzen aus einem Graphen
- Einfachster Reasoning-Algorithmus (Forward Chaining):

```
Gegeben: RDF-Graph G
Menge von Ableitungsregeln R
Entailment E = G
Wiederhole
        M := { }
        Für alle Regeln in R
                Für jede Aussage A in G
                        Wende R auf A an
                        Wenn Ergebnis nicht in M enthalten
                                Füge Ergebnis zu M hinzu
        Füge alle Elemente von M zu E hinzu
bis M = { }
```

Ableitungsregeln für RDF und RDF Schema (1)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

ID	Voraussetzung	Konsequenz
rdf1	s p o .	p rdf:type rdf:Property .
rdfs1	s p l . l ist ein Literal	l rdf:type rdfs:Literal .
rdfs2	s p o . p rdfs:domain c .	s rdf:type c .
rdfs3	s p o . p rdfs:range c .	o rdf:type c .
rdfs4a	s p o .	s rdf:type rdfs:Resource .
rdfs4b	s p o . o ist ein URI oder Blank Node	o rdf:type rdfs:Resource .
rdfs5	p1 rdfs:subPropertyOf p2 . p2 rdfs:subPropertyOf P3 .	p1 rdfs:subPropertyOf p3 .
rdfs6	p rdf:type rdf:Property .	p rdfs:subPropertyOf p .

W3C (2004): *RDF Semantics.* http://www.w3.org/TR/rdf-mt/

Ableitungsregeln für RDF und RDF Schema (2)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

ID	Voraussetzung	Konsequenz
rdfs7	p1 rdfs:subPropertyOf p2 . s p1 o .	s p2 o.
rdfs8	c rdf:type rdfs:Class .	c rdfs:subClassOf rdfs:Resource.
rdfs9	s rdf:type c1 . c1 rdfs:subClassOf c2 .	s rdf:type c2 .
rdfs10	c rdf:type rdfs:Class .	c rdfs:subClassOf c .
rdfs11	c1 rdfs:subClassOf c2 . c2 rdfs:subClassOf c3 .	c1 rdfs:subClassOf c3 .
rdfs12	p rdf:type rdfs:container- MembershipProperty.	p rdfs:subPropertyOf rdfs:member .
rdfs13	d rdf:type rdfs:Datatype .	d rdfs:subClassOf rdfs:Literal .

W3C (2004): *RDF Semantics.* http://www.w3.org/TR/rdf-mt/

Anwendung von Ableitungsregeln

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Betrachten wir wieder unser Ausgangsbeispiel

  :Madrid :capitalOf :Spain .

  (ohne die zusätzliche Ontologie)

```
                  :Madrid :capitalOf :Spain .                (a0)
(a0 + rdf1)       :capitalOf rdf:type rdf:Property .         (a1)
(a1 + rdf1)       rdf:type rdf:type rdf:Property .           (a2)
(a0 + rdfs4a)     :Madrid rdf:type rdfs:Resource .           (a3)
(a0 + rdfs4b)     :Spain rdf:type rdfs:Resource .            (a4)
(a1 + rdfs4a)     rdf:type rdf:type rdfs:Resource .          (a5)

                  ...
```

Anwendung von Ableitungsregeln

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Beispiel mit Ontologie:

```
:Employee a rdfs:Class .
:Employee rdfs:subClassOf :Human .
:Room a rdfs:Class .
:hasOffice a rdf:Property .
:worksIn rdfs:subPropertyOf :hasOffice .
:hasOffice rdfs:domain :Employee .
:hasOffice rdfs:range :Room .

:Tim :worksIn :D0815 .
```

Anwendung von Ableitungsregeln

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Beispiel:

```
:Tim :worksIn :D0815 .
:worksIn rdfs:subPropertyOf :hasOffice .
```

ID	Voraussetzung	Konsequenz
rdfs7	p1 rdfs:subPropertyOf p2 . s p1 o .	s p2 o.

→ :Tim :hasOffice :D0815 .

Anwendung von Ableitungsregeln

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Beispiel:

```
:Tim :hasOffice :D0815 .
:hasOffice rdfs:domain :Employee .
```

ID	Voraussetzung	Konsequenz
rdfs2	s p o . p rdfs:domain c .	s rdf:type c .

→ :Tim rdf:type :Employee .

Anwendung von Ableitungsregeln

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Beispiel:

```
:Tim rdf:type :Employee.
:Employee rdfs:subClassOf :Human .
```

ID	Voraussetzung	Konsequenz
rdfs9	s rdf:type c1 . c1 rdfs:subClassOf c2 .	s rdf:type c2 .

→ :Tim rdf:type :Human .

Was passiert bei mehreren (konkurrierenden) Aussagen?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Beispiel soziales Netzwerk:

```
:knows rdfs:range :People .
:knows rdfs:range :MemberOfSocialNetwork .
```

- Was soll die Semantik davon sein?
  - Jeder, den jemand kennt,
    ist ein Mensch *und* ein Mitglied des sozialen Netzwerks
  - Jeder, den jemand kennt,
    ist ein Mensch *oder* ein Mitglied des sozialen Netzwerks

Die Ableitungsregeln werden es uns verraten…

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
                  :knows rdfs:range :Human .                          (a0)
                  :knows rdfs:range :MemberOfSocialNetwork .          (a1)
                  :Peter :taughtBy :Stephen .                         (a2)
(rdfs3+a0+a2)     :Stephen rdf:type :Human .                          (a3)
(rdfs3+a1+a2)     :Stephen rdf:type :MemberOfSocialNetwork .          (a4)
                  ...
```

- Diese Schlusskette funktioniert für beliebige Objekte
  - diese sind stets in beiden Klassen enthalten

    → es gilt also die Semantik mit der Schnittmenge!

Was haben wir jetzt gewonnen?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Betrachten wir folgenden Satz:

- "Madrid ist die Hauptstadt von Spanien."

- Aussagen, die wir erhalten können:
  - "Madrid ist die Hauptstadt von Spanien." ✓
  - "Spanien ist ein Land." ✓
  - "Madrid ist eine Stadt." ✓
  - "Madrid liegt in Spanien." ✓
  - "Barcelona ist nicht die Hauptstadt von Spanien." ✗
  - "Madrid ist nicht die Hauptstadt von Frankreich." ✗
  - "Madrid ist kein Land." ✗
  - ...

Was wir (bis jetzt) noch nicht können

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- "Jedes Land hat nur genau eine Hauptstadt"
  - Kardinalitäten von Properties
- "Jede Stadt kann nur Hauptstadt von genau einem Land sein"
  - Funktionale Properties
- "Eine Stadt ist nicht gleichzeitig ein Land."
  - Disjunkte Klassen
- ...
- hier brauchen wir mächtigere Sprachmittel als RDF Schema!

Was wir (bis jetzt) noch nicht können

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- "Jedes Land hat nur genau eine Hauptstadt"
  - d.h., "Ein Land kann *nicht* zwei oder mehr Hauptstädte haben."
- "Jede Stadt kann nur Hauptstadt von genau einem Land sein"
  - d.h., "Eine Stadt kann *nicht* Hauptstadt von zwei *verschiedenen* Ländern sein."
- "Eine Stadt ist *nicht* gleichzeitig ein Land."

Was wir (bis jetzt) noch nicht können

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Merke: in RDF und RDFS gibt es *keine* Verneinung

- Damit kann man auch keine Widersprüche erzeugen
  - das macht das Reasoning schön einfach
  - schränkt aber auch die Mächtigkeit ein
  - Beispiel:

    Säugetiere legen keine Eier
    ein Pinguin legt Eier
    → ein Pinguin ist kein Säugetier

- Wir werden noch Formalismen kennenlernen, die auch Verneinung unterstützen

Was wir (bis jetzt) noch nicht können

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

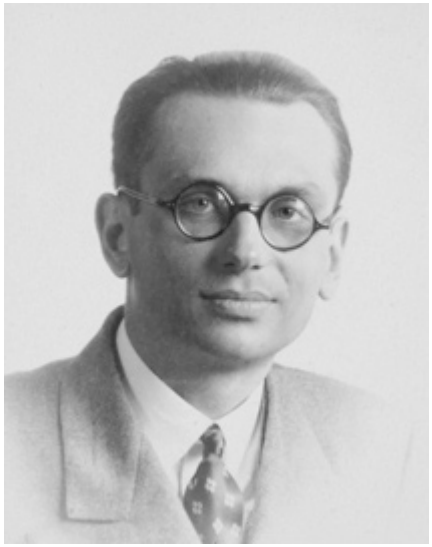
- Die Freiheit von Verneinung passt gut zum AAA-Prinzip
  - Anybody can say anything about anything
- und zur Open World Assumption

- Neu hinkommende Aussagen fügen sich immer in das vorhandene Wissen ein
- Dieses Prinzip heißt "Monotonie"

Was wir (bis jetzt) noch nicht können

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Kurt Gödel (1906-1978)
- Logische Systeme sind entweder
  - nicht besonders ausdrucksstark oder
  - nicht widerspruchsfrei
- RDF Schema gehört zur ersten Klasse



Was wir (bis jetzt) noch nicht können

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Jim Hendler (*1957)
- "A little semantics goes a long way."

Moment mal...

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- "Damit kann man auch keine Widersprüche erzeugen"
- Und was ist mit

```
:Peter a :Baby .
:Peter a :Adult .
```

- Ist das denn etwa kein Widerspruch?!

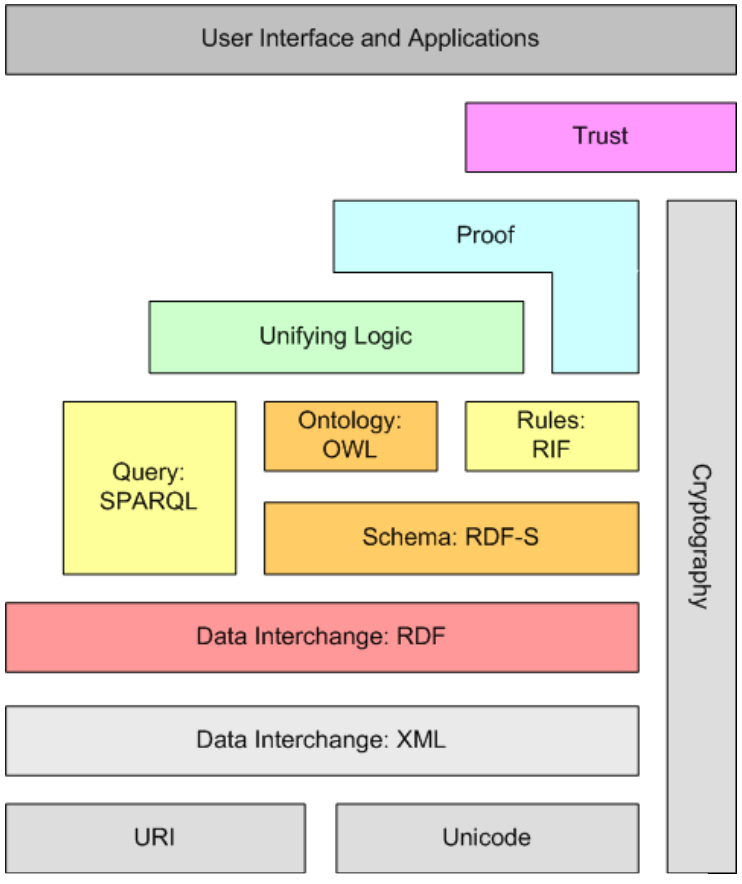
- Für uns Menschen schon
- aber ein Rechner weiß das nicht
  - Non-unique name assumption!

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/

Vorlesung Semantic Web

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Vorlesung im Wintersemester 2011/2012

Dr. Heiko Paulheim

Fachgebiet Knowledge Engineering