Vorlesung Semantic Web

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Vorlesung im Wintersemester 2012/2013

Dr. Heiko Paulheim

Fachgebiet Knowledge Engineering

Was bisher geschah...

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." ✗
  - ...

Was bisher geschah...

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Wir haben gelernt, was Ontologien sind
  - RDF Schema als Sprache für Ontologien

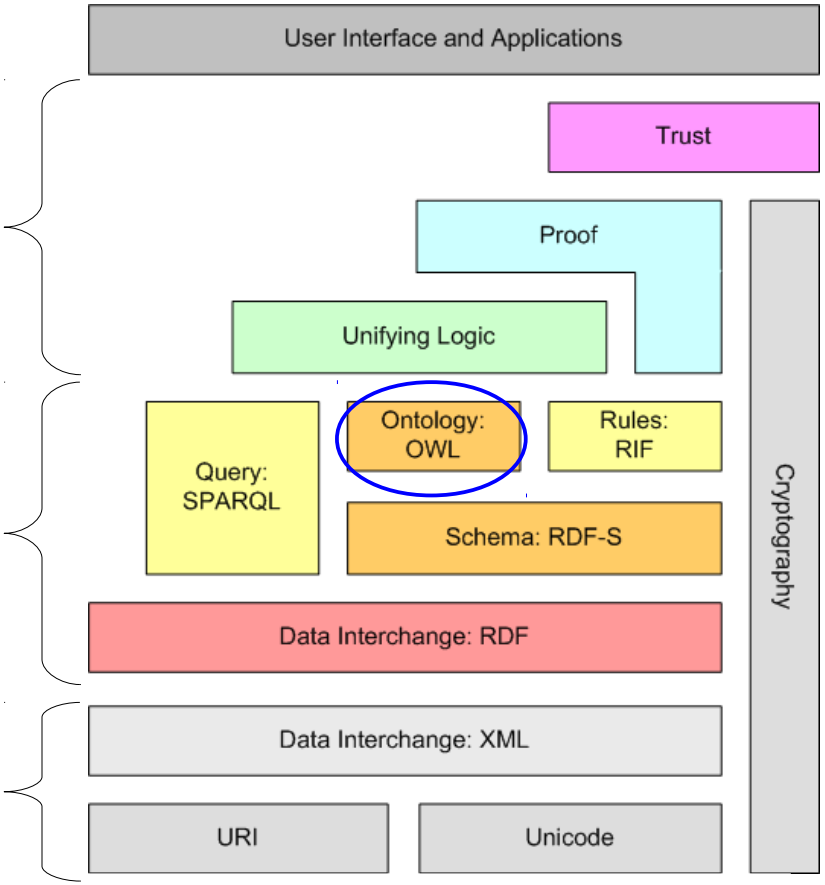
- Mit RDF Schema können wir schon interessante Dinge tun
  - aber manche Dinge eben nicht
  - Kardinalitäten festlegen
  - Widersprüche erzeugen
  - Die Non Unique Naming Assumption "austricksen"
  - Die Open World Assumption "austricksen"
  - ...

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/

Web Ontology Language (OWL)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Moment mal...

Web Ontology Language (OWL)

- Ausdrucksmächtiger als RDF Schema
- W3C-Standard (2004)

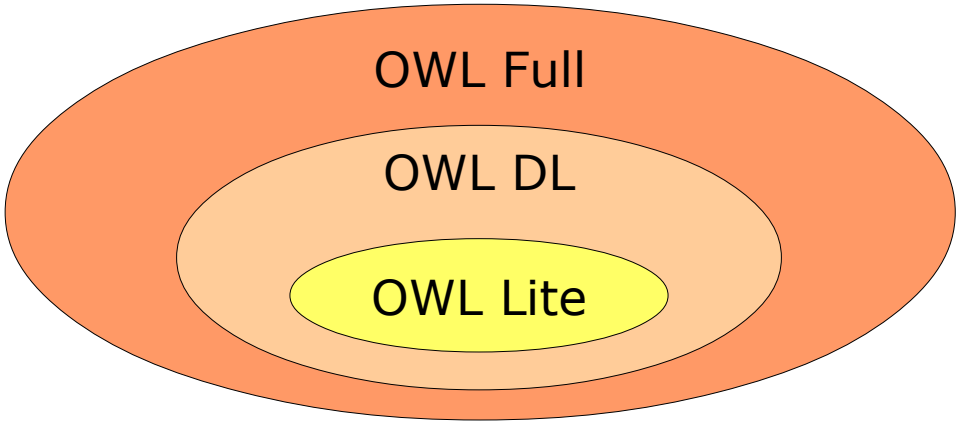
- Trade-off:
  - Ausdrucksmächtigkeit
  - Komplexität für Reasoner
  - Entscheidbarkeit

- Lösung: drei Varianten für OWL
  - OWL Lite
  - OWL DL
  - OWL Full

Web Ontology Language (OWL)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Drei Varianten
  - steigende Ausdrucksmächtigkeit
  - abwärtskompatibel



OWL und RDF Schema

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- beide basieren auf RDF
  - Auch OWL-Ontologien lassen sich in RDF ausdrücken!
  - als Tripel oder XML
- OWL ist ausdrucksmächtiger als RDF Schema
- Kompatibilität
  - OWL Lite und OWL DL nicht voll kompatibel zu RDF Schema
  - verwenden aber Teile von RDF Schema wieder
  - OWL Full und RDF Schema sind kompatibel

OWL: Klassen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Grundkonzept ist eine Klasse (`owl:Class`)
- Subklassenbeziehung wie bisher mit `rdfs:subClassOf`
  - Insbesondere gilt:
    `owl:Class rdfs:subClassOf rdfs:Class .`
- Zwei vordefinierte Klassen:
  - `owl:Thing`
  - `owl:Nothing`
- Für jede Klasse `c` gilt:
  - `c rdfs:subClassOf owl:Thing .`
  - `owl:Nothing rdfs:subClassOf c .`

OWL: Klassen

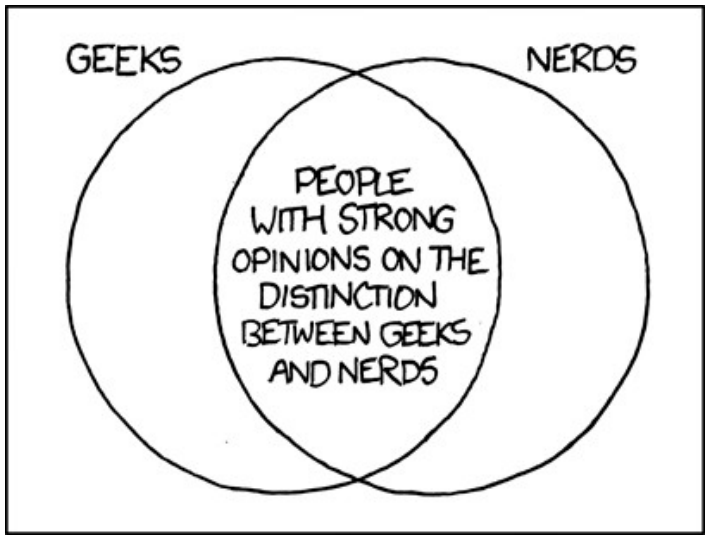
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

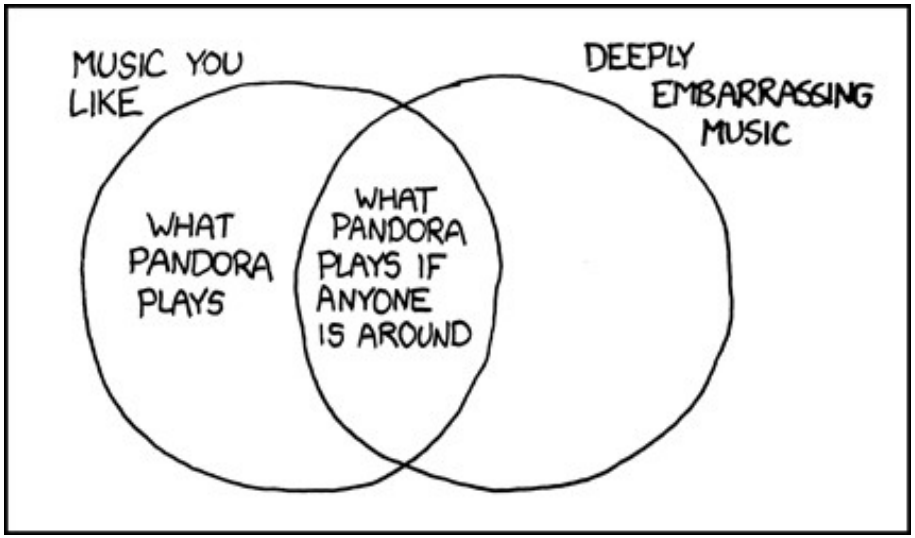
- Klassen können auch als Schnittmengen bekannter Klassen entstehen

```
:SwimmingMammals owl:intersectionOf
     (:SwimmingAnimals :Mammals) .
```

- Vereinigungs- und andere Mengen gibt es auch
  - aber nicht in OWL Lite!

OWL:Klassen





http://xkcd.com/747/
http://xkcd.com/668/

OWL: Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Auch in RDF/S gibt es rdf:Property
  - aber keine Unterscheidung in Datenwerte und Relationen:

```
:name a rdf:Property .
:name rdfs:range xsd:string .

:knows a rdf:Property .
:knows rdfs:range foaf:Person .
```

OWL: Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- In OWL unterscheidet man
  - `owl:DatatypeProperty`
  - `owl:ObjectProperty`
- Es gilt:
  - `owl:DatatypeProperty rdfs:subClassOf rdf:Property .`
  - `owl:ObjectProperty rdfs:subClassOf rdf:Property .`
- Für `DatatypeProperty` werden wieder XML-Datentypen genutzt
  - prinzipiell können alle verwendet werden
  - Tools müssen mindestens `xsd:string` und `xsd:integer` unterstützen

OWL: Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Properties können auch in OWL Hierarchien bilden

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

- Domain und Range können angegeben werden
- Domain
  - nur Klassen

```
:name rdfs:domain foaf:Person .
```

- Range
  - von DataProperties: XML-Datentypen

```
:name rdfs:range xsd:string .
```

  - von ObjectProperties: Klassen oder Restriktionen*

```
:knows rdfs:range foaf:Person .
```

* lernen wir noch kennen

Gleichheit und Ungleichheit (1)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Gleichheit zwischen Individuen
  - Erlaubt den Umgang mit mehreren Definitionen
  - auch in unterschiedlichen Datensets
  - behebt Probleme mit Non unique naming assumption

```
:Muenchen owl:sameAs :Munich .
```

- Das haben wir schon bei Linked Open Data gesehen
  - als Mittel zur Verlinkung von Datensets

```
myDataset:Darmstadt owl:sameAs dbpedia:Darmstadt .
```

Gleichheit und Ungleichheit (2)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Gleichheit zwischen Klassen und Properties
  - Ermöglicht Beziehungen zwischen Datensets auf T-Box-Ebene
  - erlaubt komplexere Konstrukte (sehen wir später)

```
:UniversityTeachers owl:equivalentClass :Lecturers .
:teaches owl:equivalentProperty :lecturerFor .
```

- Auch das ist für Linked Open Data nützlich
  - vgl. Übungsaufgabe 2.1:

```
dc:creator owl:equivalentProperty foaf:maker .
```

Gleichheit und Ungleichheit (3)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Ungleichheit zwischen Individuen
  - Ermöglicht fortgeschrittenes Reasoning
  - wie wir bald sehen werden

```
:Muenchen owl:differentFrom :Hamburg .
```

- Einfachere Notation für viele Individuen:
  - mit Hilfe von Listen
  - siehe *Notation von Listen in RDF*

```
owl:AllDifferent owl:distinctMembers
  (:Munich :Hamburg :Berlin :Darmstadt :Kassel) .
```

OWL: Besondere Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Symmetrische Properties

```
:sitsOppositeOf a owl:SymmetricProperty .
    :Tom :sitsOppositeOf :Sarah .
→   :Sarah :sitsOppositeOf :Tom .
```

- Inverse Properties

```
:supervises owl:inverseOf :supervisedBy .
    :Tom :supervises :Julia .
→   :Julia :supervisedBy :Tom .
```

- Transitive Properties

```
:hasOfficeMate a owl:TransitiveProperty .
    :Tom :hasOfficeMate :Jon . :Jon :hasOfficeMate :Kim .
→   :Tom :hasOfficeMate :Kim .
```

Einschränkungen für besondere Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Nur ObjectProperties dürfen transitiv, symmetrisch und invers sein
  - DataProperties nicht
- Warum?
- *Previously on RDF:*
  - "Literale können nur Objekt sein, nicht Subjekt oder Prädikat"

Einschränkungen für besondere Properties

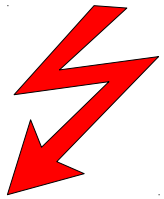
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Angenommen,

```
:samePerson a owl:DatatypeProperty .
:samePerson rdfs:range xsd:string .
:samePerson a owl:SymmetricProperty .

:Peter :samePerson "Peter" .

→   "Peter" :samePerson :Peter .
```



Einschränkungen für besondere Properties

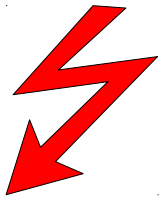
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Angenommen,

```
:hasName a owl:DatatypeProperty .
:hasName rdfs:range xsd:string .
:hasName owl:inverseOf :nameOf .

:Peter :hasName "Peter" .

→   "Peter" :nameOf :Peter .
```



Einschränkungen für besondere Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

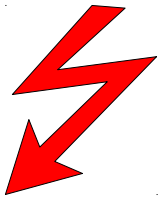
- Auch `owl:TransitiveProperty` ist auf ObjectProperties beschränkt

```
:hasPseudonym a owl:DatatypeProperty .
:hasPseudonym rdfs:range xsd:string .
:hasPseudonym a owl:TransitiveProperty .

:Thomas :hasPseudonym "Dr. Evil" .

+   "Dr. Evil" :hasPseudonym "Skullhead" .

→   :Thomas :hasPseudonym "Skullhead" .
```



- Was müsste hier stehen, damit wir die Aussage mit `owl:TransitiveProperty` folgern könnten?

Funktionale Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Funktionale Properties

```
:hasCapital a owl:FunctionalProperty .
:Finland :hasCapital :Helsinki .
:Finland :hasCapital :Helsingfors .
→  :Helsinki owl:sameAs :Helsingfors .
```

- Funktionale Properties
  - wenn A zu B in Beziehung fp steht
  - und A zu C in Beziehung fp steht
  - dann sind B und C gleich
- vereinfacht: fp(x) hat nur einen eindeutigen Wert
- "es kann nur einen geben"

http://www.allmystery.de/dateien/uh60808,1274716100,highlander-christopher-lambert.jpg

Invers funktionale Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Invers funktionale Properties

```
      :capitalOf a owl:InverseFunctionalProperty .
      :Helsinki :capitalOf :Finland .
      :Helsingfors :capitalOf :Finland .
→     :Helsinki owl:sameAs :Helsingfors .
```

- Invers funktionale Properties
  - wenn A zu C in Beziehung ifp steht
  - und B zu C in Beziehung ifp steht
  - dann sind A und B gleich
- Vereinfacht: ifp(x) identifiziert x eindeutig
  - wie ein Primärschlüssel in einer Datenbank

Invers funktionale Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Invers funktionale Properties
  - äquivalent zu: die Inverse ist ein funktionales Property

- Am Beispiel:

```
:capitalOf a owl:InverseFunctionalProperty .
```

- ist äquivalent zu

```
:capitalOf owl:inverseOf [ a owl:FunctionalProperty ] .
```

Invers funktionale Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

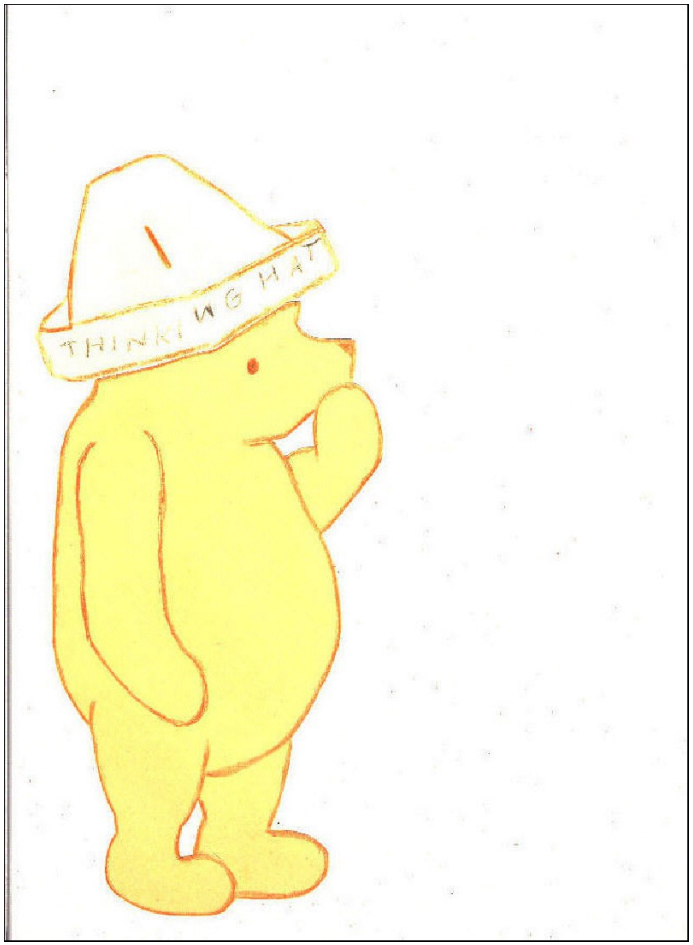
- Warum gilt das? Einerseits haben wir

```
    :capitalOf a owl:InverseFunctionalProperty .
    :Helsinki :capitalOf :Finland .
    :Helsingfors :capitalOf :Finland .
→   :Helsinki owl:sameAs :Helsingfors .
```

- und andererseits

```
    :capitalOf owl:inverseOf :hasCapital .
    :hasCapital a owl:FunctionalProperty .
→   :Finland :hasCapital :Helsinki .
→   :Finland :hasCapital :Helsingfors .
→   :Helsinki owl:sameAs :Helsingfors .
```

Puh!



- OWL kann noch viel mehr...
- ...aber mit dem, was wir bis jetzt haben, können wir auch schon einiges erreichen

- Zurück zu unserem Beispiel...

Was bisher geschah...

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." ✗
  - ...

Was bisher geschah…

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Was müssen wir tun, um die fehlenden Aussagen ableiten zu können?

Ausdrucksstarke Ontologien mit OWL

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- "Barcelona ist nicht die Hauptstadt von Spanien." ✖
- Warum eigentlich nicht?
  - Länder haben nur genau eine Hauptstadt
  - Barcelona ist nicht gleich Madrid

- Also:

```
:capitalOf a owl:InverseFunctionalProperty .
:Madrid :capitalOf :Spain .
:Madrid owl:differentFrom :Barcelona .

ASK { :Barcelona :capitalOf :Spain . } → false
```

Ausdrucksstarke Ontologien mit OWL

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- "Madrid ist nicht die Hauptstadt von Frankreich." ✖
- Warum eigentlich nicht?
  - Eine Stadt kann nur Hauptstadt von einem Land sein
  - Spanien ist nicht gleich Frankreich

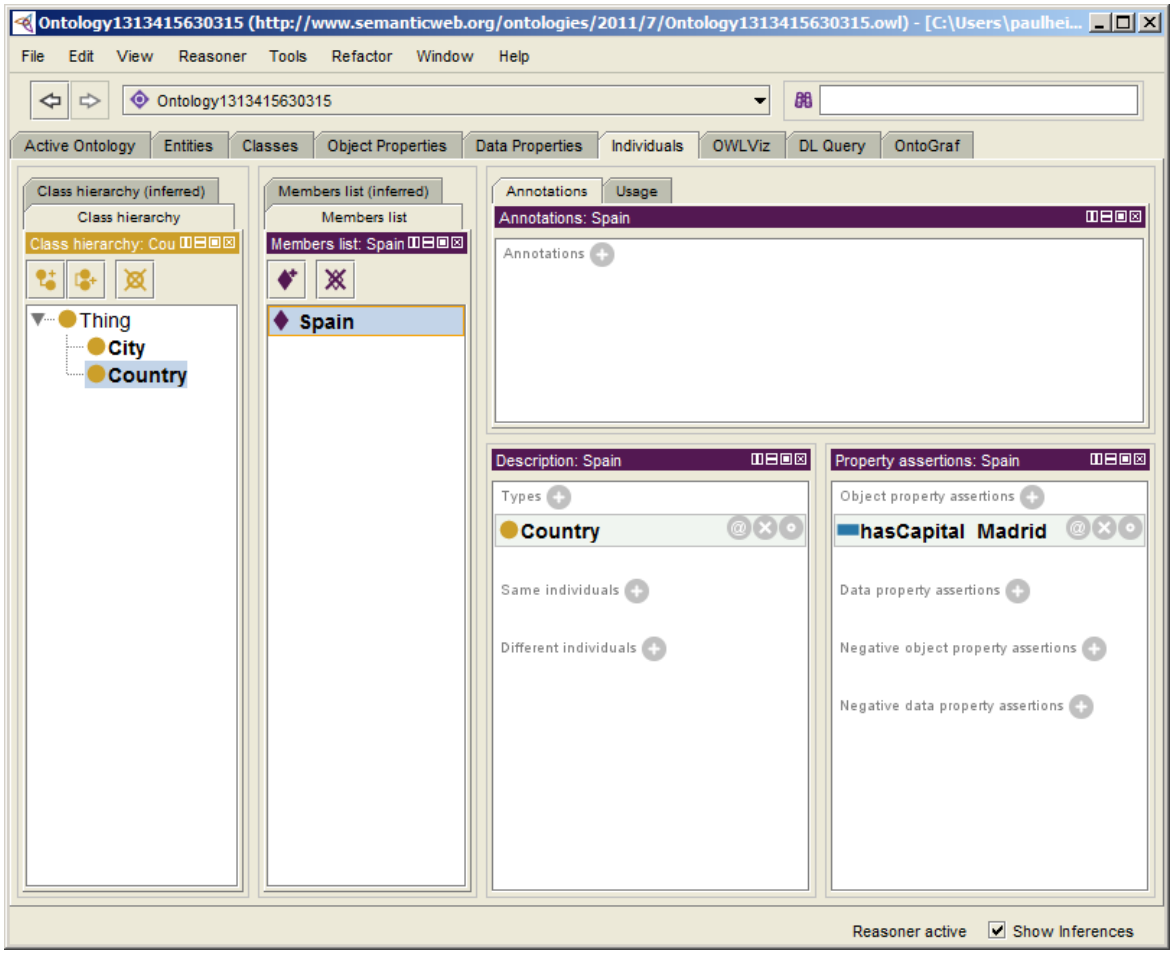
- Also:

```
:capitalOf a owl:FunctionalProperty .
:Madrid :capitalOf :Spain .
:Spain owl:differentFrom :France .

ASK { :Madrid :capitalOf :France . } → false
```

Protégé – ein Editor für OWL

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



OWL – The Story so Far

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Definition von Mengen von Dingen
  - Vereinigung, Schnittmenge, ...
- Properties
  - symmetrisch, invers, transitiv, funktional, invers funktional

Restriktionen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Restriktionen
  - sind ein sehr wichtiges und mächtiges Sprachmittel
  - Beispiel: vegane Rezepte enthalten nur Gemüse als Zutaten

```
:VeganRecipe rdfs:subClassOf :Recipe .
:VeganRecipe rdfs:subClassOf [
    a owl:Restriction .
    owl:onProperty :hasIngredient .
    owl:allValuesFrom :Vegetable .
] .
```

Unterschied von Restriktionen und Wertebereichen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Restriktion: lokal für eine Klasse

```
:VeganRecipe rdfs:subClassOf [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :hasIngredient ;
    owl:allValuesFrom :Vegetable .
] .
```

  - es kann andere Verwendungen von `hasIngredient` geben, die auch Fleisch oder Fisch vorsehen

- Wertebereich: globale Einschränkung

```
:hasIngredient rdfs:range :Food .
```

  - das gilt für *alle* Verwendungen von `hasIngredient`.

Aufbau von Restriktionen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- onProperty
  - gibt an, auf welches Property sich die Restriktion bezieht
- Restriktion der Werte
  - owl:allValuesFrom – alle Werte müssen dieser Klassen angehören
  - owl:someValuesFrom – mindestens ein Wert muss dieser Klasse angehören
- Restriktion der Kardinalität
  - owl:minCardinality – mindestens n Werte
  - owl:maxCardinality – maximal n Werte
  - owl:cardinality – genau n Werte
- Kardinalitäts- und Wertrestriktion nicht kombinierbar!

OWL Lite: nur n=0 oder n=1

Weitere Beispiele für Restriktionen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Jeder Mensch hat genau eine Mutter

```
:Human rdfs:subClassOf [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :hasMother ;
    owl:cardinality 1^^xsd:integer .
] .
```

- Fahrräder sind Fahrzeuge ohne Motor

```
:Bicycle rdfs:subClassOf :Vehicle .
:Bicycle rdfs:subClassOf [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :hasMotor ;
    owl:cardinality 0^^xsd:integer .
] .
```

Weitere Beispiele für Restriktionen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Für Ballsportarten braucht man einen Ball

```
:BallSports rdfs:subClassOf [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :requires ;
    owl:someValuesFrom :Ball .
] .
```

- Alle Sportarten, für die man einen Ball braucht, sind Ballsportarten

```
:BallSports owl:equivalentClass [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :requires ;
    owl:someValuesFrom :Ball .
] .
```

- Was ist da jetzt eigentlich der Unterschied?

Klassendefinitionen mit Restriktionen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Gegeben:

```
:BallSports owl:equivalentClass [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :requires ;
    owl:someValuesFrom :Ball .
] .
:Soccer :requires :soccerBall .
:soccerBall a :Ball.
```

- Daraus kann der Reasoner schließen, dass Fußball ein Ballspiel ist.
- Das geht mit `subClassOf` nicht
- Allerdings: Gymnastikübungen mit Ball werden so auch als Ballsport erkannt...

Restriktionen als Wertebereiche

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Restriktionen können nicht nur Klassen definieren
- Beispiel: man kann Bücher, Zeitschriften, Plakate lesen
  - also alles, was Buchstaben enthält

- Wertebereich des Prädikats *lesen*:

```
:reads rdfs:range [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :containsLetter ;
    owl:minCardinality 1^^xsd:integer .
] .
```

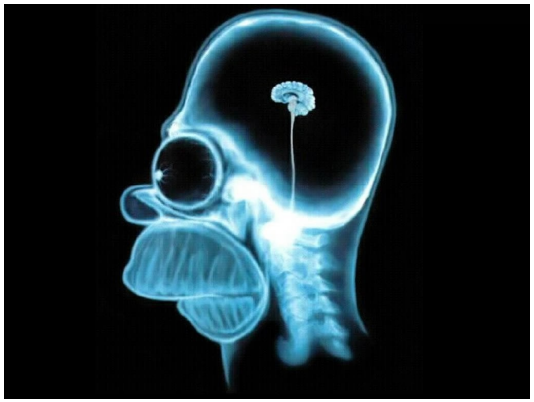
Restriktionen als Definitionsbereiche

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Was für Wertebereiche geht, geht auch für Definitionsbereiche
- z.B.: um über etwas nachzudenken, braucht man ein Gehirn

- Domäne von *thinksAbout*:

```
:thinksAbout rdfs:domain [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :hasBodyPart ;
    owl:someValuesFrom :Brain .
] .
```



Restriktionen schachteln

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Es geht immer auch etwas komplexer
- z.B. Großeltern sind Eltern von mindestens einem Menschen, der mindestens ein Kind hat:

```
:GrandParent owl:equivalentClass [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :hasChild ;
    owl:someValuesFrom [
          a owl:Restriction ;
          owl:onProperty :hasChild ;
          owl:minCardinality 1^^xsd:integer .
    ] .
] .
```

Restriktionen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

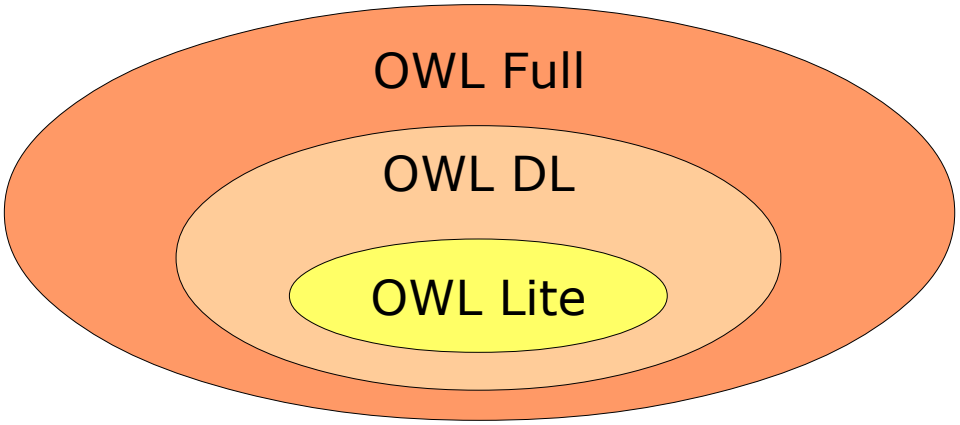
- in Protégé anlegen:
  - über Texteingabe im ClassExpression Editor
  - Syntax-Details siehe Tutorial

  - ...jetzt live on Protégé!

Web Ontology Language (OWL)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Was wir bisher kennen gelernt haben
  - ist das Vokabular von OWL Lite
  - schon einigermaßen brauchbar
  - "A little semantics goes a long way."



Darf's etwas mehr sein?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- OWL Lite kann schon viel
- OWL DL und OWL Full können mehr
  - sind aber auch komplexer
  - machen Reasoning schwerer

OWL DL

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- DL steht für "Description Logics"
  - Beschreibungslogik
  - eine Untermenge der Prädikatenlogik erster Stufe

  - damit werden wir uns beim Reasoning noch beschäftigen

Komplexere Mengendefinitionen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Vereinigungsmenge

```
:FacultyMembers owl:unionOf (:Students, :Professors) .
```

- Komplementäre Menge

```
:LivingThings owl:complementOf :InanimateThings .
```

- Disjunkte Mengen

```
:EdibleMushrooms owl:disjointWith :PoisonousMushrooms .
```

Komplexere Mengendefinitionen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Auch zusammen mit Restriktionen möglich

```
:VegetarianRecipe rdfs:subClassOf [
      a owl:Restriction ;
      owl:onProperty :hasIngredient ;
      owl:allValuesFrom [
            a owl:Class .
            owl:complementOf :Meat.
      ]
] .
```

Coming Soon

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

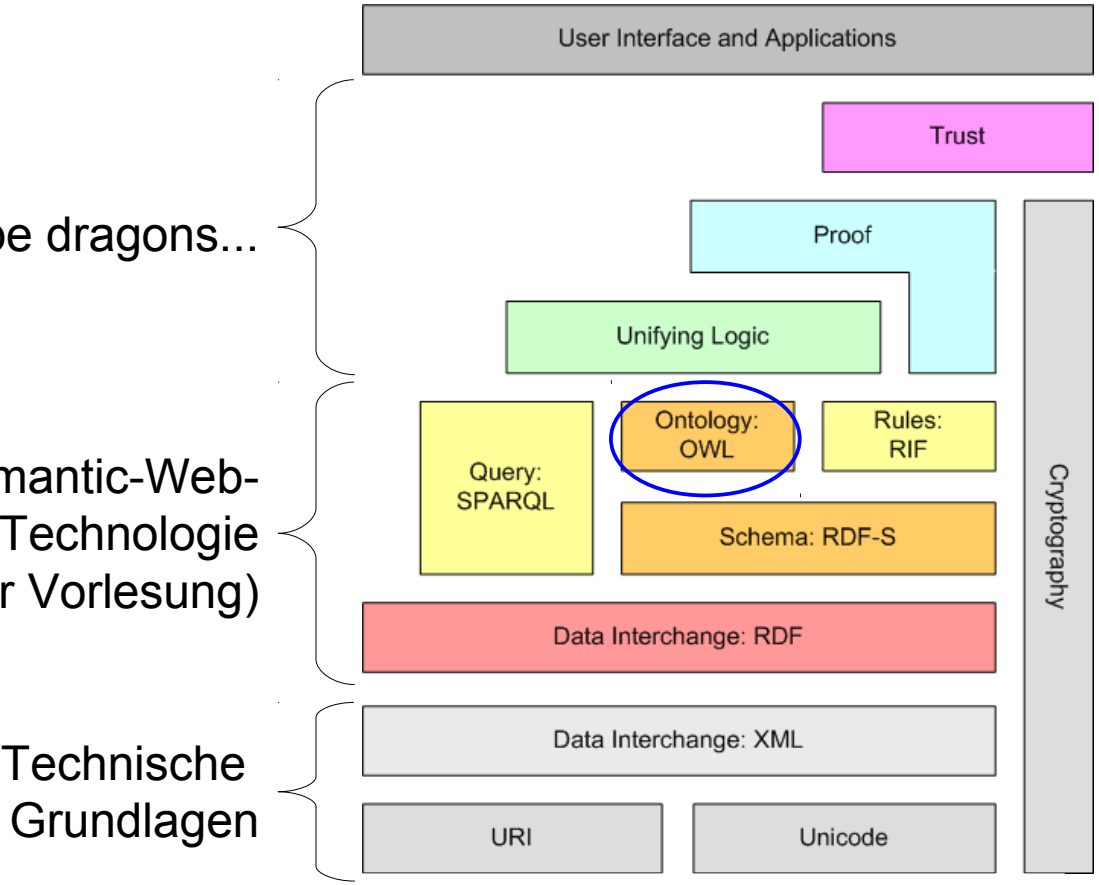
- weitere Sprachmittel in OWL DL und Full
  - noch komplexere Ontologien
- warum OWL Lite/DL und RDF Schema eigentlich inkompatibel sind
- Neuerungen in OWL 2

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 2012/2013

Dr. Heiko Paulheim

Fachgebiet Knowledge Engineering