Vorlesung Semantic Web

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Vorlesung im Wintersemester 2011/2012

Dr. Heiko Paulheim

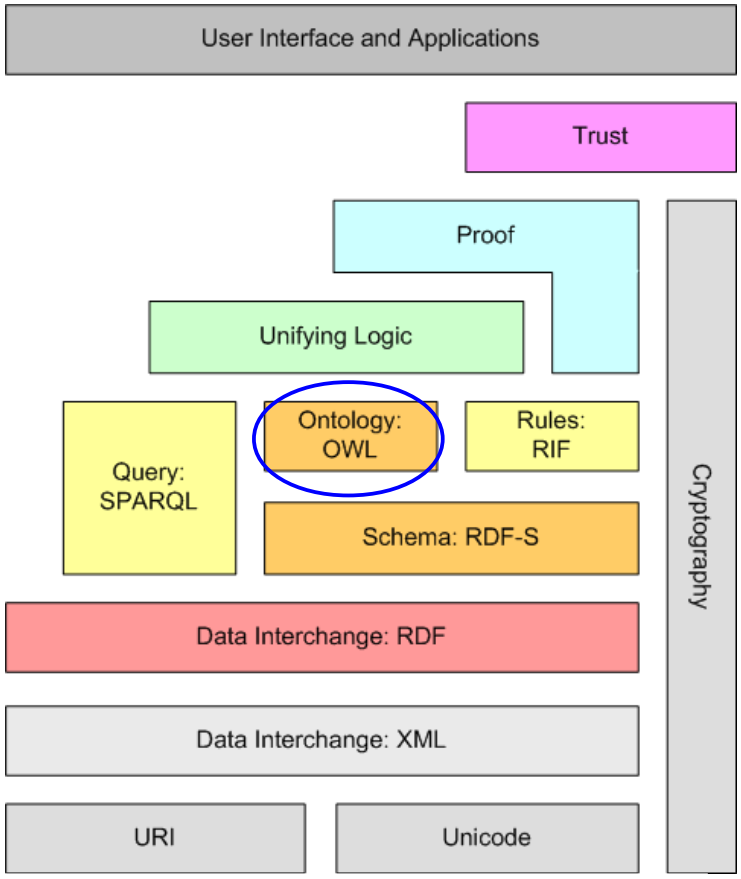
Fachgebiet Knowledge Engineering

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/

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

- Sprachmittel von OWL
  - Properties: symmetrisch, transitiv, …
  - Klassen: Schnittmengen, Komplement, Vereinigung
  - Restriktionen

- OWL kann aber noch mehr

Recap: Prinzipien von RDF

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Grundlegende Prinzipien der Wissensbereitstellung im Semantic Web
- AAA: Anybody can say Anything about Anything
- Non-unique name assumption
  - können wir umgehen mit owl:sameAs und owl:equivalentClass
- Open World Assumption
  - damit müssen wir bis jetzt leben

Abgeschlossene Klassen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Bisher gilt die Open World Assumption
  - alles, was wir nicht wissen, *könnte* gelten

- Beispiel:

```
:Heiko a :PeopleInD219 .
:Eneldo a :PeopleInD219 .
:Lorenz a :PeopleInD219 .
```

  - Das heißt nicht, dass es nicht noch weitere Personen in D219 geben könnte, z.B.

```
:KarlHeinz a :PeopleInD219 .
```

- Manchmal will man aber genau das sagen...

Abgeschlossene Klassen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Das geht mit `owl:oneOf`
- Beispiel:

```
:PeopleInD219 owl:oneOf (:Heiko :Eneldo :Lorenz) .
```

Einschränkungen von Wertebereichen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Für Relationen:

```
:AfricanStates :owl:subClassOf [
  a owl:Restriction ;
  owl:onProperty :locatedOnContinent
  owl:hasValue :Africa ] .
```

- Für Datenwerte:

```
:AlbumsFromTheEarly80s :owl:subClassOf [
  a owl:Restriction ;
  owl:onProperty :year
  owl:dataRange
    (1980^^xsd:integer
     1981^^xsd:integer
     1982^^xsd:integer) ] .
```

A Tale from the Road

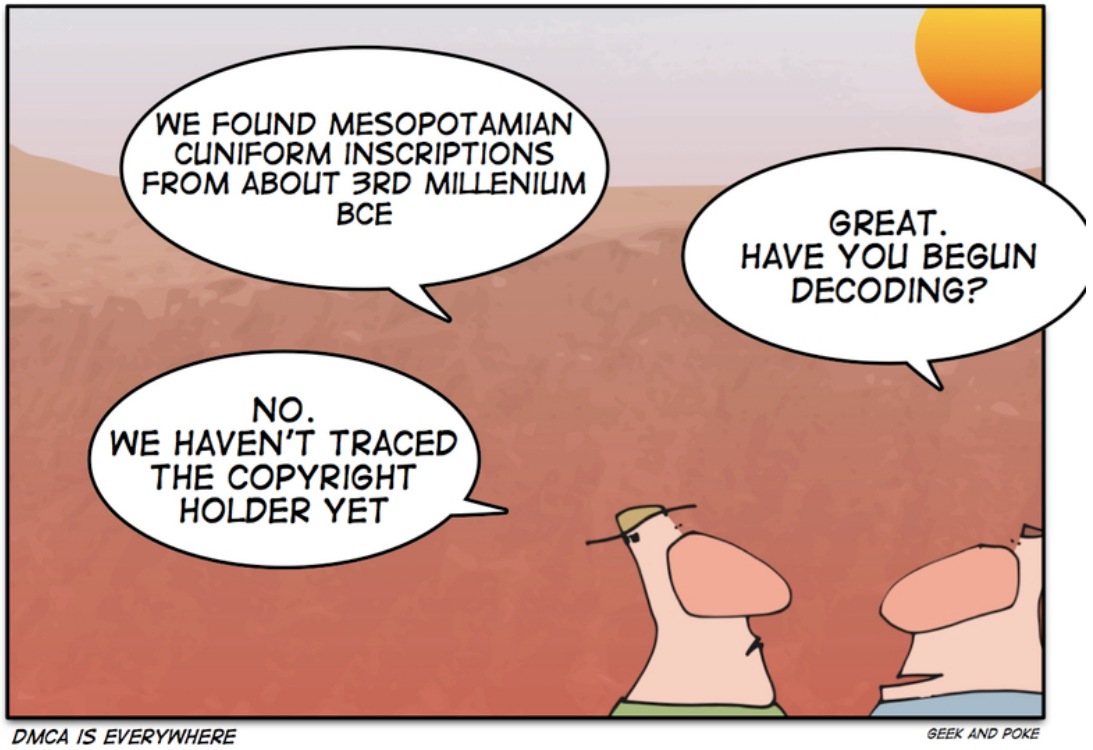
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- ALIS: EU-Projekt (2006-2009)
- Automated Legal Intelligent System
  - Automatische Suche nach relevanten Gesetzestexten
  - für einen bestimmten Fall
  - Mit Hilfe von Ontologien, Reasoning, etc.
  - Anwendungsfall: Copyright

A Tale from the Road

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Wichtige Unterscheidung (u.a.):
  - Single Author Work
  - Multi Author Work



http://geekandpoke.typepad.com/geekandpoke/2006/10/copyright_and_a.html

A Tale from the Road

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

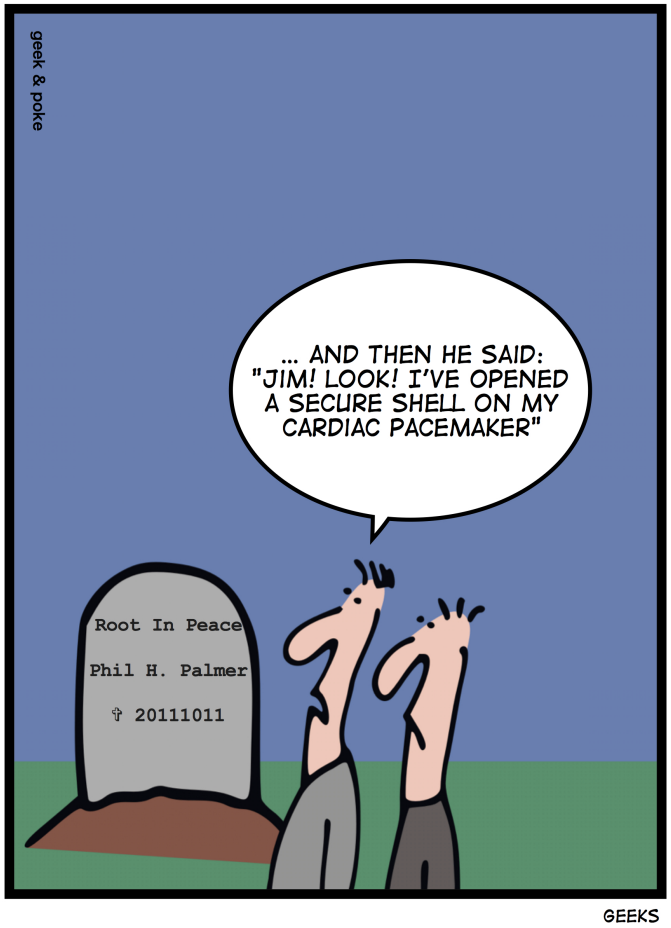
- Naive Lösung:

```
:hasAuthor a owl:ObjectProperty;
           rdfs:domain :Work ;
           rdfs:range :Author .

:SingleAuthorWork rdfs:subClassOf
   :Work,
   [ a owl:Restriction;
     owl:onProperty :hasAuthor ;
     owl:cardinality 1^^xsd:integer ] .

:MultiAuthorWork rdfs:subClassOf
   :Work,
   [ a owl:Restriction;
     owl:onProperty :hasAuthor ;
     owl:minCardinality 2^^xsd:integer ] .
```

A Tale from the Road

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Ergebnis:
  - keine so gute Idee...
  - warum eigentlich nicht?



http://geekandpoke.typepad.com/geekandpoke/2006/10/copyright_and_a.html

A Tale from the Road

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Gegeben

```
:DataMining :hasAuthor :IanWitten, :EibeFrank .
```

- was können wir daraus schließen?

- Also gut, wir brauchen

```
    :DataMining :hasAuthor :IanWitten, :EibeFrank .
    :IanWitten owl:differentFrom :EibeFrank .
→   :DataMining a :MultiAuthorWork .
```

A Tale from the Road

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Gegeben

```
:Faust :hasAuthor :Goethe .
```

- was können wir daraus schließen?

- Aber mit MultiAuthorWork hat das ja geklappt, wie wäre es mit

```
:Work owl:disjointUnionOf
  (:SingleAuthorWork,:MultiAuthorWork) .
```

?

- Merke: wir können die Entität :Faust weder in die eine noch in die Klasse einsortieren

A Tale from the Road

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Lösung:

```
:Faust a [ a owl:Restriction ;
           owl:onProperty :hasAuthor ;
           owl:allValuesFrom [
             a owl:Class ;
             owl:oneOf (:Goethe)
           ]
         ].
```

- Now live on Protégé...

OWL Full

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- In OWL Lite und OWL DL dürfen Klassen nicht gleichzeitig (uneingeschränkt) als Instanzen verwendet werden
- In OWL Full gibt es diese Beschränkung nicht:

```
:Elephant a owl:Class .
:Elephant a :Species .
:Elephant :livesIn :Africa .
:Species a owl:Class .
```

- In OWL Lite/DL ist eine Klasse immer nur Instanz von `owl:Class`
- In OWL Lite/DL können Klassen nur eine definierte Menge von Relationen eingehen (z.B. `rdfs:subClassOf`).

Dinge, die man mit OWL Full machen kann

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Klassen dürfen ihrerseits als Subjekte und Objekte verwendet werden
- Zum Beispiel ginge folgendes:

```
:ElementaryClass rdfs:subClassOf owl:Class .
:ElementaryClass rdfs:subClassOf [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty rdfs:subClassOf ;
    owl:maxCardinality 0^^xsd:integer ] .
```

Weitere Sprachmöglichkeiten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Metadaten zu Klassen und Properties definieren
- Geht mit `owl:AnnotationProperty`

```
:creator a owl:AnnotationProperty .
:creationTime a owl:AnnotationProperty .
:Animal a owl:Class .
:Animal :creator :Heiko .
:Animal :creationTime "2011"^^xsd:integer .
```

- Achtung: in OWL Lite/DL dürfen AnnotationProperties nicht mit anderen Properties vermischt werden!

Weitere Sprachmöglichkeiten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Metadaten zur Ontologie

```
<owl:Ontology rdf:about="">
  <owl:versionInfo>v 1.2 2011-08-23</owl:versionInfo>
  <rdfs:comment>An example ontology</rdfs:comment>
  <owl:imports rdf:resource="http://www.example.org/foo"/>
</owl:Ontology>
```

Zusammen mit einem xml-Namespace identifiziert das die aktuelle Ontologie

- Weitere definierte Attribute:

```
owl:priorVersion
owl:incompatibleWith
owl:backwardCompatibleWith
```

Modulare Ontologien mit owl:import

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Die `owl:import` Anweisung wird von gängigen Werkzeugen aufgelöst
- Das ermöglicht die Wiederverwendung von Ontologien
- Beispiel: Entwicklung einer Studenten-Ontologie

```
@prefix : <http://students.org/> .

@prefix foaf: <http://xmlns.com/foaf/0.1/>
<http://students.org> a owl:Ontology .
<http://students.org> owl:imports
<http://xmlns.com/foaf/0.1/> .

:Student a foaf:Person .
```

RDF Schema vs. OWL

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- OWL Lite und DL sind zu RDF Schema inkompatibel!
- Die Verwendung von Klassen ist in RDF Schema nicht eingeschränkt

```
:TomsKlasse a rdfs:Class .
:TomsKlasse foaf:name "Toms Klasse" .
:Tom a :TomsKlasse .
:Tom foaf:name "Tom" .
```

- Das darf man mit OWL-Klassen (in Lite/DL) nicht machen
- Sonst funktioniert das Reasoning nicht mehr

- owl:Class ist die Untermenge von rdfs:Class, die "sauber" verwendet wird

Vergleich OWL Lite/DL/Full

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- OWL Lite:
  - Klassendefinition nur mit subClassOf und intersectionOf
  - Restriktion von Kardinalitäten nur mit 0 und 1
  - Qualitative Restriktion nicht mit hasValue
  - Explizite Typisierung
- OWL DL:
  - alle Sprachelemente erlaubt
  - saubere Trennung von Klassen, Instanzen, Object-/Data-/AnnotationProperties
  - Kardinalität nicht zusammen mit transitiven Properties verwendbar
  - Explizite Typisierung
- OWL Full:
  - alles ist erlaubt

Eine kleine Ontologie

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Bleiben wir bei der Studenten-Ontologie

- Erster Schritt: Klassen definieren

```
:UniversityMember rdfs:subClassOf foaf:Person .
:Student rdfs:subClassOf :UniversityMember .
:UniversityEmployee rdfs:subClassOf :UniversityMember .
:Assistant rdfs:subClassOf :UniversityEmployee .
:Professor rdfs:subClassOf :UniversityEmployee .

:Lecture rdfs:subClassOf :Course .
:Seminar rdfs:subClassOf :Course .
```

Eine kleine Ontologie

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Zweiter Schritt: Beziehungen zwischen Klassen definieren

```
:attends rdfs:domain :Student ;
         rdfs:range :Course .
:attendedBy owl:inversePropertyOf :attends .

:teaches rdfs:domain :UniversityEmployee ;
         rdfs:range :Course .
:taughtBy owl:inversePropertyOf :teaches .
```

Eine kleine Ontologie

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Dritter Schritt: Weitere Konzepte und Axiome definieren

```
:SmallClass owl:equivalentClass [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :attendedBy ;
    owl:maxCardinality 10^^xsd:integer .
] .

:LazyEmployee owl:equivalentClass [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :teaches ;
    owl:allValuesFrom :Seminar .
] .
```

Schlussfolgern mit Ontologien

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Wann können wir folgern, dass Karl-Heinz ein fauler Dozent ist?
- Probieren wir's aus...

Komplexität von Ontologien

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Reasoning (Schlussfolgern) mit Ontologien ist oft wichtig
- ...und meist ein "teures" Unterfangen

- Die Performance von Reasonern hängt stark von der Komplexität der Ontologie ab
- Die meisten brauchbaren Ontologien sind OWL DL
  - aber hier gibt es deutliche Unterschiede

- Wie bestimmt man die Komplexität?

  → Komplexitätsklassen für Ontologien

Einfache Ontologien: ALC

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- ALC: Attribute Language with Complement

- Erlaubte Konstrukte:
  - subClassOf, equivalentClass
  - unionOf, complementOf, disjointWith
  - Restriktionen: allValuesFrom, someValuesFrom
  - domain, range
  - sowie die Definition von Individuen

SHIQ, SHOIN & co

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Komplexere Ontologien werden mit Buchstabenkürzeln bezeichnet
- Dabei ist
  - S = ALC plus transitive Properties (die Basis)
  - H = Hierarchien von Properties (subPropertyOf)
  - O = abgeschlossene Klassen (oneOf)
  - I = Inverse Rollen (inversePropertyOf)
  - N = numerische Restriktionen (min/maxCardinality)
  - (D) = Verwendung von Datentypen (xsd:integer & co)
  - F = Funktionale Properties
  - Q = qualifizierende numerische Restriktionen (erst ab OWL2)

Beispiel: Komplexität

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Unsere Beispielontologie hat die Komplexität SIN, da sie
  - inverse Properties und
  - Zahlenrestriktionen
- verwendet*
- Fügen wir noch eine abgeschlossene Klasse hinzu, haben wir SOIN.

*) die Konstrukte aus der importierten FOAF-Ontologie nicht berücksichtigt

OWL2 – die nächste Generation

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Der erste OWL-Standard wurde 2004 verabschiedet
- OWL2: 2009
  - Syntaktische Vereinfachungen
  - Neue Sprachmittel
  - Profile

OWL2: Syntaktische Vereinfachungen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Disjoint Classes und Disjoint Union
  - OWL 1:

```
:Wine owl:equivalentClass [
  a            owl:Class ;
  owl:unionOf (:RedWine :RoséWine :WhiteWine) ] .
:RedWine  owl:disjointWith :RoséWine, :WhiteWine .
:RoséWine owl:disjointWith :WhiteWine .
```

  - OWL 2:

```
:Wine owl:disjointUnionOf (:RedWine :RoséWine :WhiteWine ).
```

  - auch möglich:

```
_:x a            owl:AllDisjointClasses ;
    owl:members (:RedWine :RoséWine WhiteWine ).
```

OWL2: Syntaktische Vereinfachungen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Negative(Object|Data)PropertyAssertation
- ermöglichen negative Aussagen
- z.B.: Paul ist nicht der Vater von Peter

```
_x [ a owl:NegativeObjectPropertyAssertion;
      owl:sourceIndividual :Paul ;
      owl:targetIndividual :Peter ;
      owl:assertionProperty :vaterVon ] .
```

- Warum ist das eine syntaktische Vereinfachung?
- Wie soll das denn sonst gehen?

OWL2: Syntaktische Vereinfachen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Negative(Object|Data)PropertyAssertion
- Über Mengen!
- Paul ist nicht der Vater Peter

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

OWL2:
Neue Property-Typen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Reflexive, irreflexive und asymmetrische Properties
- Jeder Mensch ist verwandt mit sich selbst:

```
:relativeOf a owl:ReflexiveProperty .
```

- Niemand kann Elternteil von sich selbst sein:

```
:parentOf a owl:IrreflexiveProperty .
```

- Wenn x größer ist als y, kann y nicht größer als x sein

```
:tallerThan a owl:AsymmetricProperty .
```

OWL2: Property Chains und disjunkte Properties

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Großeltern sind die Eltern der Eltern,
  Onkel sind Brüder von Eltern

```
:grandparentOf owl:propertyChainAxiom (:parentOf :parentOf) .
:uncleOf owl:propertyChainAxiom (:brotherOf :parentOf) .
```

- Niemand kann gleichzeitig Großelternteil und Elternteil von einer Person sein

```
:parentOf owl:propertyDisjointWith :grandParentOf .
```

OWL2: Qualifizierte Restriktionen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Rückblende OWL:
  Kardinalitäts- und Wertrestriktion nicht kombinierbar!
- d.h.: "klassiches" OWL kann nur entweder all/someValuesFrom oder min/maxCardinality

- Ein belesener Mensch hat mindestens 1000 Bücher gelesen (Zeitungen und Zeitschriften zählen nicht)

```
:LiteratePerson rdfs:subClassOf [
  a owl:Restriction ;
  owl:onProperty :hasRead;
  owl:minQualifiedCardinality "1000"^^xsd:integer ;
  owl:onClass :Book ] .
```

Analog existieren auch `owl:maxQualifiedCardinality` und `owl:qualifiedCardinality` (exakt)

OWL2:
Neue Klassenkonstruktionen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

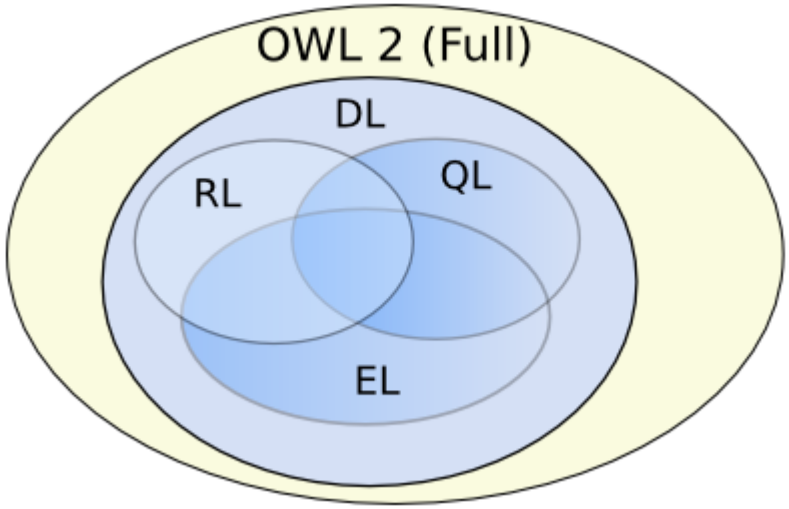
- Selbstrestriktion
- Beispiel: Menge aller Autodidakten

```
:AutoDidact owl:equivalentClass [
  a owl:Restriction ;
  owl:onProperty :teaches ;
  owl:hasSelf "true"^^xsd:boolean ] .
```

OWL2 Profile

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Profile sind Untermengen von OWL2
  - EL, RL und QL
  - ähnlich wie Komplexitätsklassen
- Unterschiedliches Laufzeit- und Speicherverhalten
- Je nach Anforderungen



OWL2 Profile

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- OWL2 EL (Expressive Language)
  - Schnelles Reasoning auf Standard-Ontologien
  - Einschränkungen z.B.
    - someValuesFrom, aber nicht allValuesFrom
    - keine Verwendung von inversen und symmetrischen Properties
    - kein unionOf und complementOf
- OWL2 QL (Query Language)
  - Schnelles Query Answering auf relationalen Datenbanken
  - Einschränkungen z.B.
    - kein unionOf, allValuesFrom, hasSelf, …
    - keine Kardinalitäten und funktionale Properties

OWL2 Profile

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- OWL2 RL ("Rule Language")
  - Subset ähnlich wie Regelsprachen (z.B. Datalog)
    - subClassOf wird in Regel übersetzt (Head ← Body)
    - Head = Superklasse, Body = Subklasse
  - Einschränkungen z.B.
    - Nur qualifizierte Restriktionen mit 0 oder 1
    - Bestimmte Restrektionen für Head/Body

- Für alle Profile gilt
  - Reasoning kann in polynomieller Zeit implementiert werden
  - Reasoning auf der Vereinigung von zwei Profilen geht nur noch in exponentieller Zeit

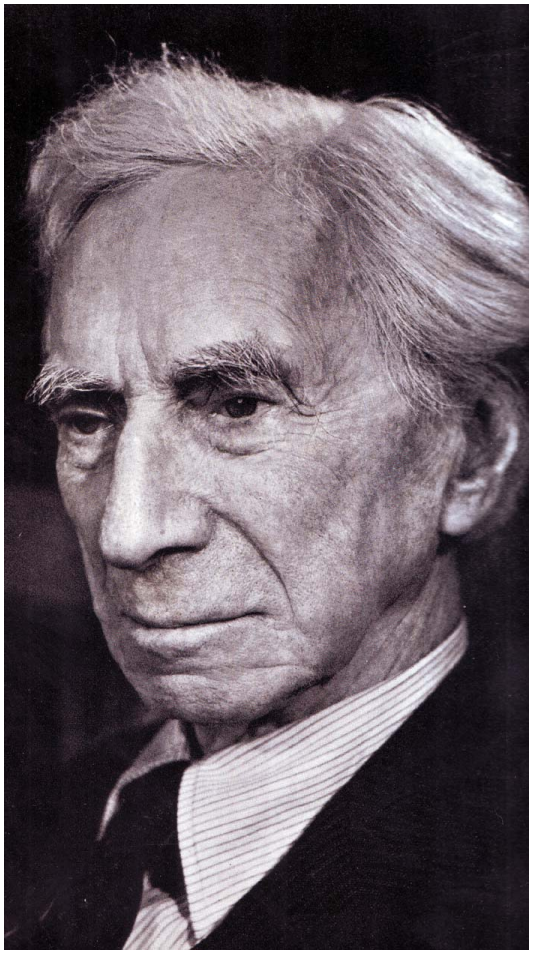
Beispiel in OWL2: Das Barbier-Paradoxon

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Ein klasissches Paradoxon (nach Bertrand Russell, 1918)

- In einer Stadt gibt es genau einen Barbier, der genau all diejenigen rasiert, die sich nicht selbst rasieren.

  Wer rasiert den Barbier?



Beispiel in OWL2: Das Barbier-Paradoxon

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Definition der Klassen

```
:People owl:disjointUnionOf (:PeopleWhoShaveThemselves
:PeopleWhoDoNotShaveThemselves ) .
```

- Definition der Relationen

```
:shavedBy rdfs:domain :People .
:shavedBy rdfs:range :People .
:shaves owl:inverseOf :shavedBy .
```

- Jeder Mensch wird von genau einem Menschen rasiert

```
:People rdfs:subClassOf [
    a owl:Restriction ;
    owl:onProperty :shavedBy ;
    owl:cardinality "1"^^xsd:integer ] .
```

Beispiel in OWL2: Das Barbier-Paradoxon

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Und dann brauchen wir noch genau einen Barbier:

```
:Barbers rdfs:subClassOf :People ;
         owl:equivalentClass [
           a owl:Class ;
           owl:equivalentClass [
             rdf:type owl:Class ;
             owl:oneOf ( :theBarber )
           ]
         ] .
```

Beispiel in OWL2: Das Barbier-Paradoxon

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Definition von Menschen, die sich selbst rasieren:

```
:PeopleWhoShaveThemselves owl:equivalentClass [
  rdf:type owl:Class ;
  owl:intersectionOf
  ( :People
    [
      a owl:Restriction ;
      owl:onProperty :shavedBy ;
      owl:hasSelf "true"^^xsd:boolean
    ]
   )
] .
```

Beispiel in OWL2: Das Barbier-Paradoxon

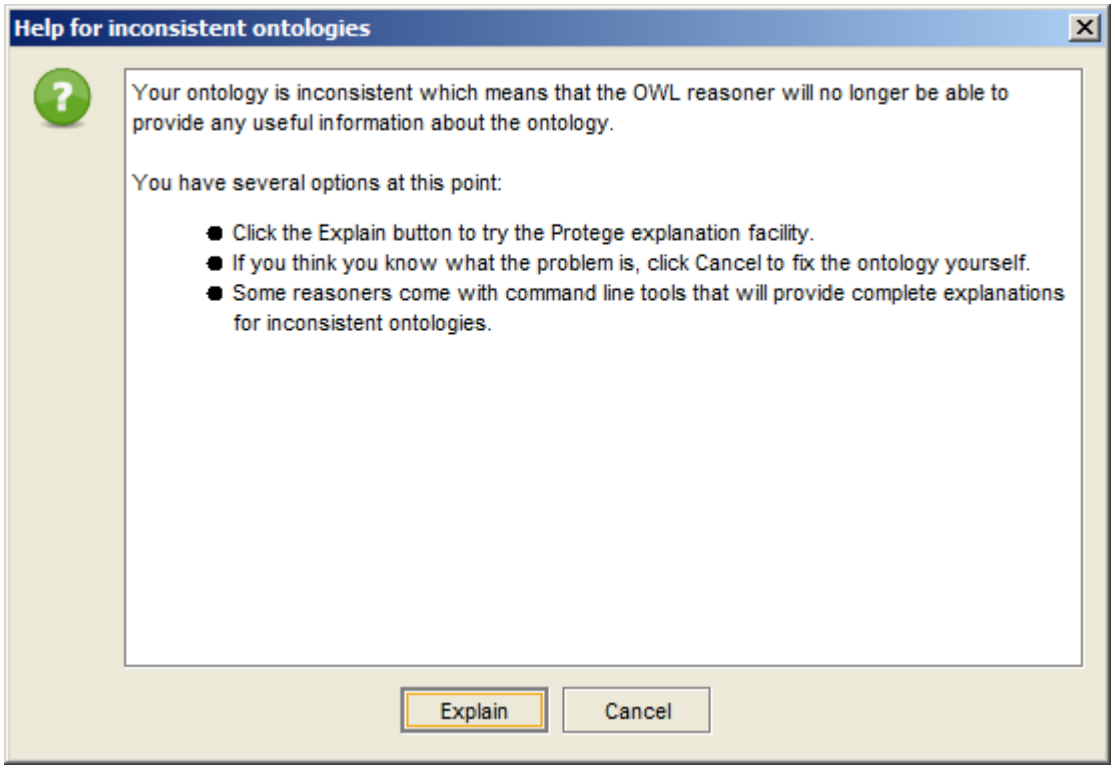
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Menschen, die sich nicht selbst rasieren, werden von Barbieren rasiert:

```
:PeopleWhoDoNotShaveThemselves owl:equivalentClass [
   a owl:Class ;
   owl:intersectionOf (
    :People
    [ a owl:Restriction
      owl:onProperty :shavedBy ;
      owl:allValuesFrom :Barbers
    ]
   )
] .
```

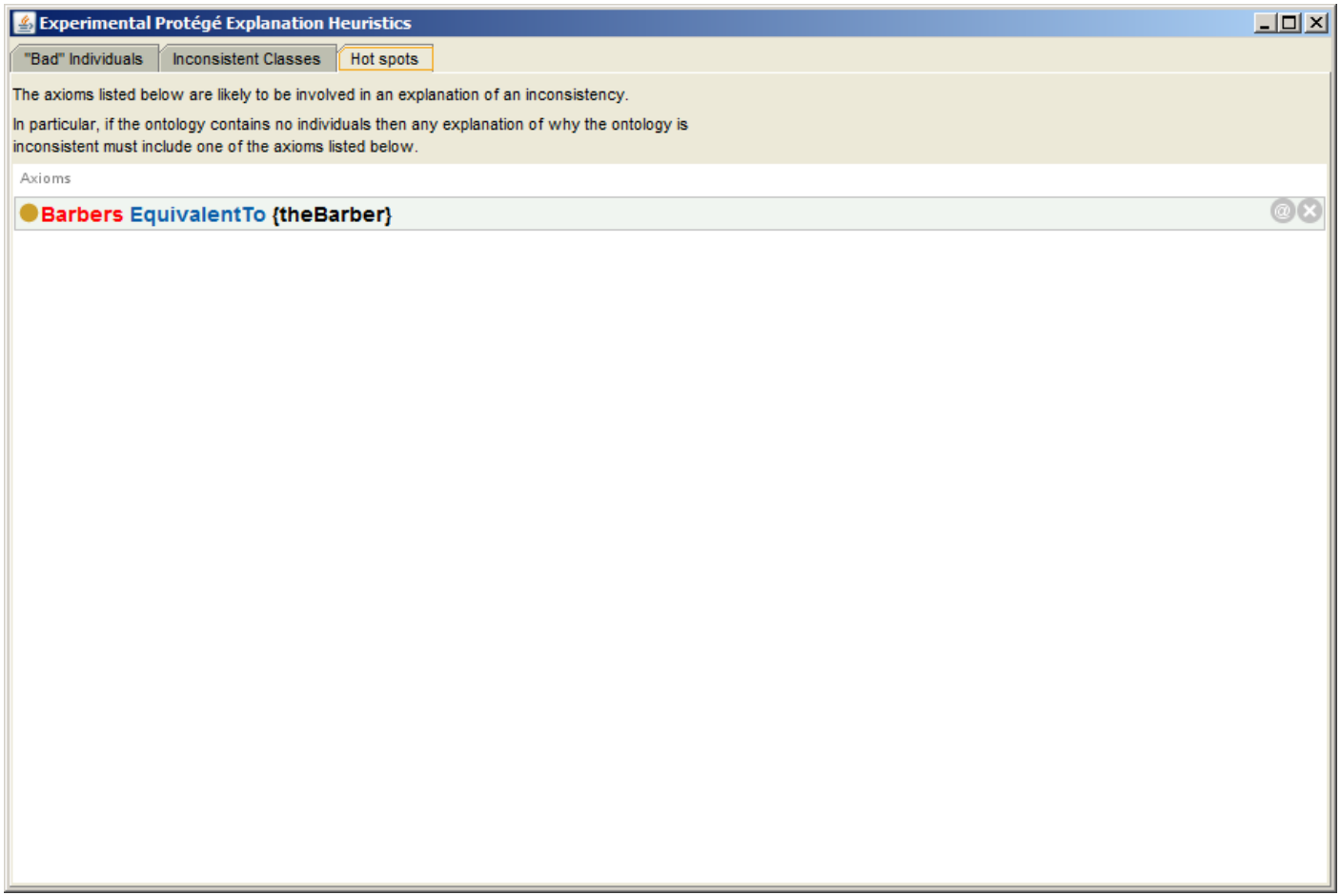
Beispiel in OWL2: Das Barbier-Paradoxon

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Beispiel in OWL2: Das Barbier-Paradoxon

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Zusammenfassung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

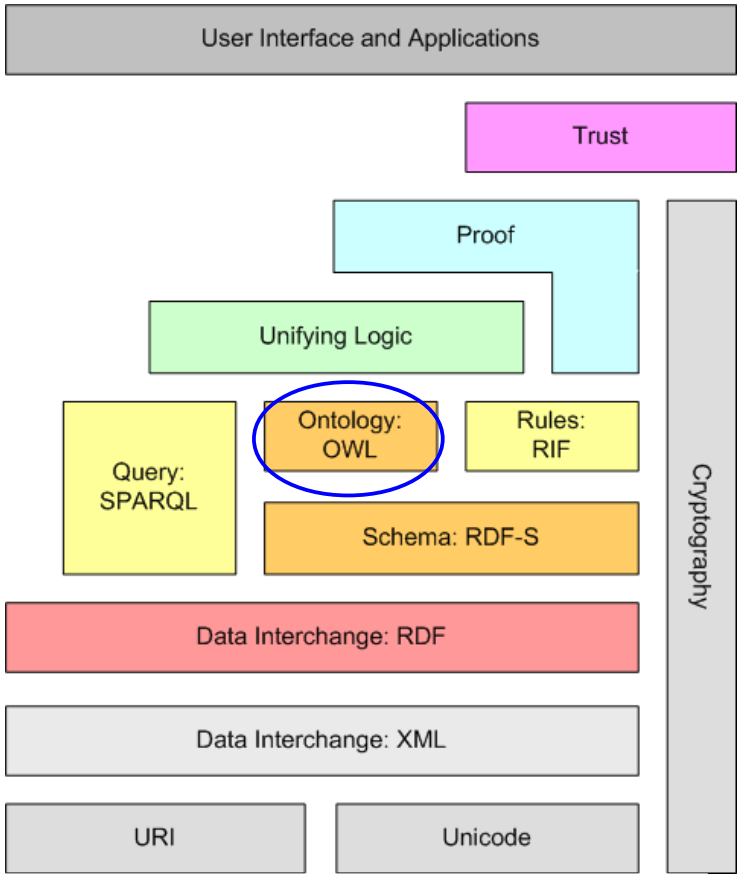
- OWL ist eine Sprache für Ontologien
- Mächtiger als RDF Schema
- Mengenorientiert
- Komplexe Zusammenhänge können formuliert werden

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