Semantic Web Technologies I

Lehrveranstaltung im WS11/12

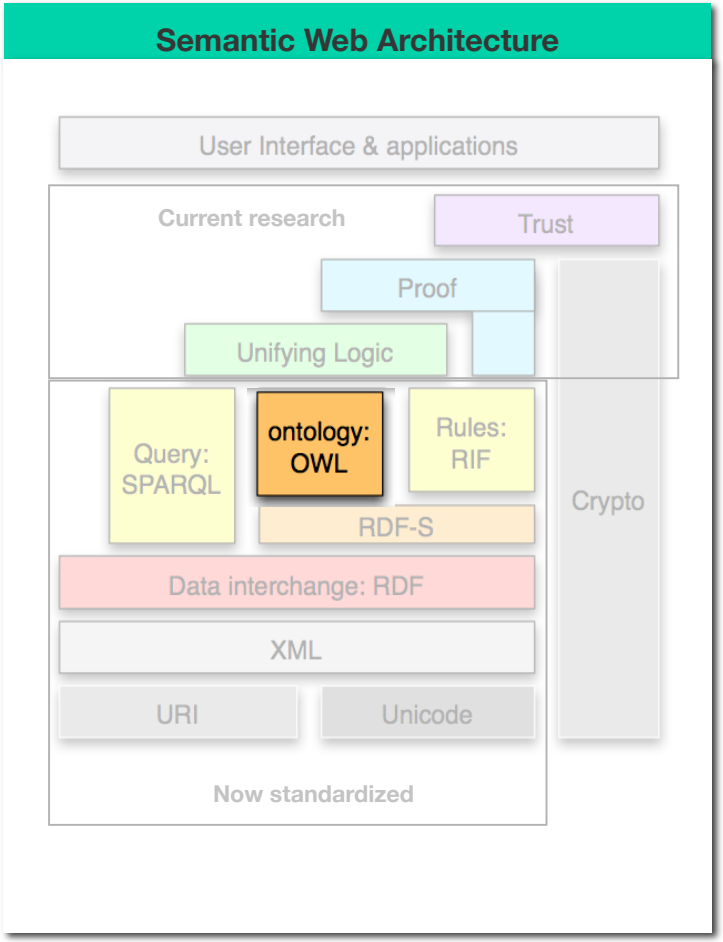
Dr. Elena Simperl
PD Dr. Sebastian Rudolph

AIFB

OWL – Syntax & Intuition

2/2

PD Dr. Sebastian Rudolph



Semantic Web
TECHNOLOGIES

Agenda

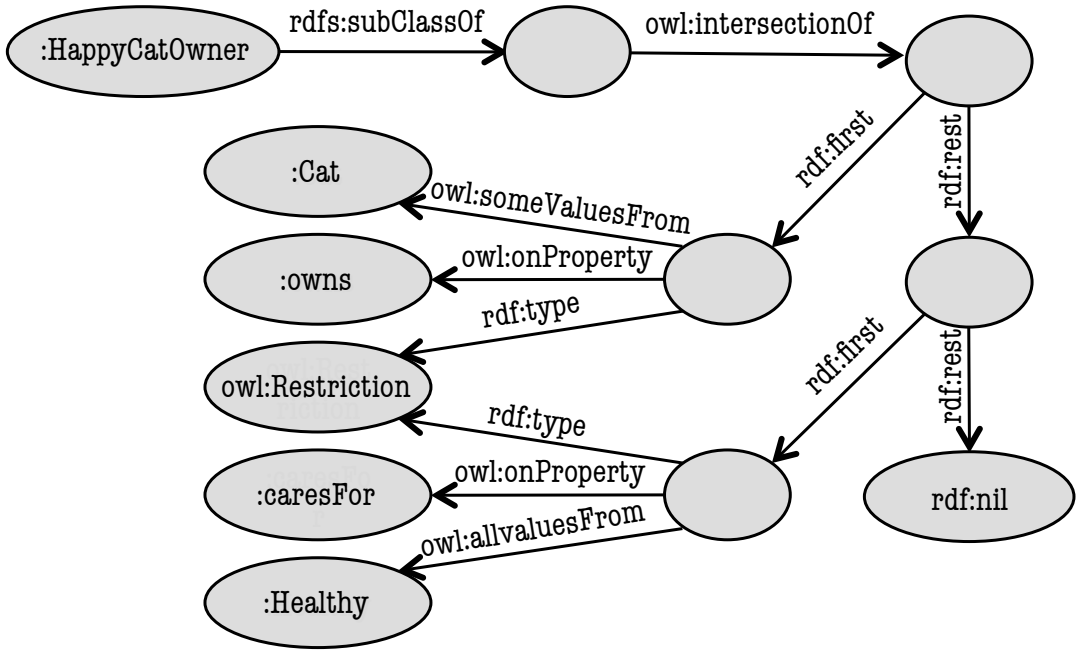
+ Anmerkungen zur RDF-basierten Syntax von OWL
+ fortgeschrittene Modellierungsmittel in OWL
  - mehr Klassenkonstruktoren
  - erweiterte Modellierungsmöglichkeiten für Properties
  - Handhabung von Datenwerten
  - Profile von OWL

RDF-basierte OWL-Syntax

```
@prefix :     <http://www.example.org/#> .
@prefix owl:  <http://www.w3.org/2002/07/owl#> .
@prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> .
@prefix rdf:  <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> .
@prefix xsd:  <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> .

:owns          rdf:type owl:ObjectProperty .
:caresFor      rdf:type owl:ObjectProperty .
:Cat           rdf:type owl:Class .
:Dead          rdf:type owl:Class .
:Alive         rdf:type owl:Class .
:Healthy       rdf:type owl:Class .
:HappyCatOwner rdf:type owl:Class .

:owns          rdfs:subPropertyOf :caresFor .

:Healthy       rdfs:subClassOf [ owl:complementOf :Dead ] .
:Cat           rdfs:subClassOf [ owl:unionOf (:Dead :Alive) ] .
:HappyCatOwner rdfs:subClassOf
       [ owl:intersectionOf
          ( [ rdf:type owl:Restriction ;
              owl:onProperty :owns ; owl:someValuesFrom :Cat ]
            [ rdf:type owl:Restriction ;
              owl:onProperty :caresFor ; owl:allValuesFrom :Healthy] )
        ] .

:schrödinger   rdf:type :HappyCatOwner .
```

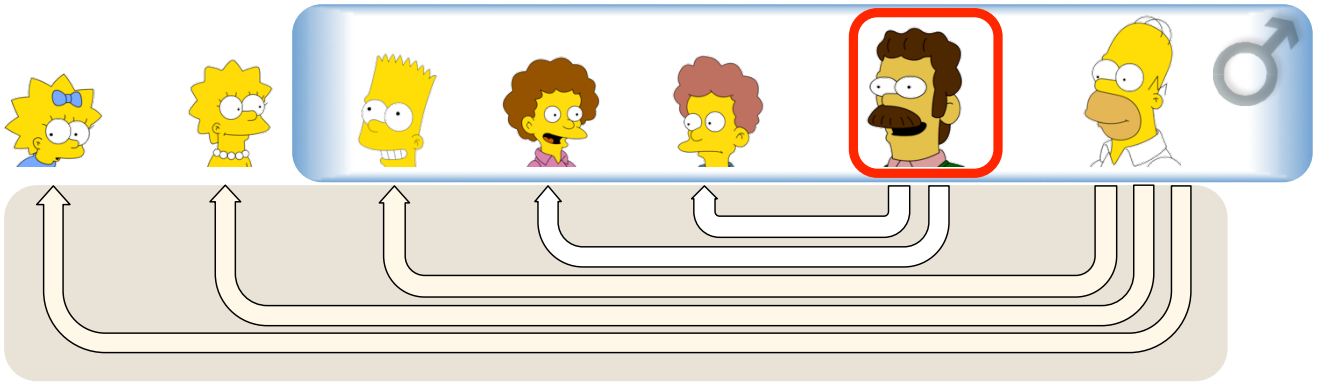
RDF-basierte OWL-Syntax

```
:HappyCatOwner rdfs:subClassOf
       [ owl:intersectionOf
          ( [ rdf:type owl:Restriction ;
              owl:onProperty :owns ; owl:someValuesFrom :Cat ]
            [ rdf:type owl:Restriction ;
              owl:onProperty :caresFor ; owl:allValuesFrom :Healthy] )
        ] .
```



Mehr komplexe Klassen: Qualifizerte Kardinalitätsrestriktionen

- [rdf:type owl:Restriction ;
  owl:minQualifiedCardinality
  "*n*"^^xsd:nonNegativeInteger ;
  owl:onProperty *prop* ; owl:onClass *class*]
- Beispiel:
  [rdf:type owl:Restriction ; owl:minQualifiedCardinality
  "2"^^xsd:nonNegativeInteger ;
  owl:onClass ex:Male; owl:onProperty ex:parentOf]



Semantic Web
TECHNOLOGIES

Mehr komplexe Klassen: Qualifizerte Kardinalitätsrestriktionen

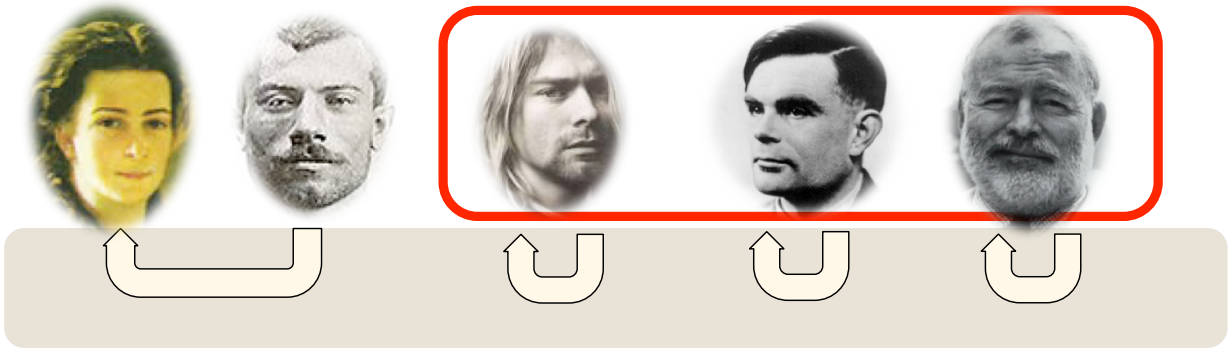
- analog zu owl:minQualifiedCardinality („mindestens“):
  - „höchstens“: owl:maxQualifiedCardinality
  - „genau“: owl:QualifiedCardinality

Semantic Web
TECHNOLOGIES

Mehr komplexe Klassen: Self-Restriktion

- [rdf:type owl:Restriction ;
  owl:onProperty *prop* ;
  owl:hasSelf "true"^^xsd:boolean]

- Beispiel: [rdf:type owl:Restriction ;
  owl:onProperty ex:hasKilled ;
  owl:hasSelf "true"^^xsd:boolean]

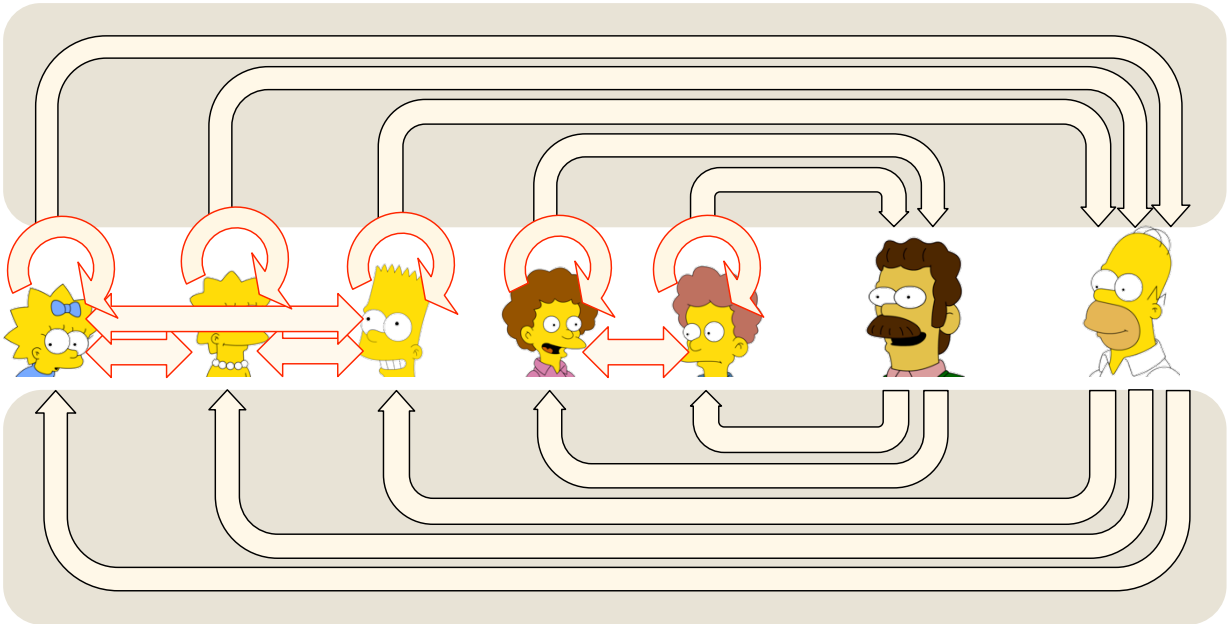


Property Chain Axioms

- *prop* owl:propertyChainAxiom (*prop1*, … , *propn*) .

- Beispiel:

  ex:siblingOf owl:propertyChainAxiom
  (ex:childOf, ex:parentOf) .



Semantic Web
TECHNOLOGIES

Probleme mit Entscheidbarkeit

- role chain axioms können leicht zur Unentscheidbarkeit führen
- um Entscheidbarkeit zu garantieren, werden zwei globale Einschränkungen für OWL-DL-Ontologien gefordert:
  - die Menge der property chain axioms und subproperty Aussagen muss *regulär* sein
  - Properties, die in Kardinalitäts- und Self-Restriktionen verwendet werden müssen *simple* Properties sein

Semantic Web TECHNOLOGIES

Property-Chain-Axiome: Regularität

- wir kürzen ab:
  R owl:propertyChainAxiom (S_1 … S_n). mit $S_1 \circ \ldots \circ S_n \sqsubseteq R$
  S owlrdfs:subPropertyOf R. mit $S \sqsubseteq R$

- Regularitätsbedingung: es muss eine lineare Ordnung $\prec$ auf den Properties existieren, so dass jedes Property-Chain-Axiom und jedes Subproperty-Axiom eine der folgenden Formen hat (wobei $S_i \prec R$ für alle i= 1, 2, . . . , *n* gelten muss):

  $R \circ R \sqsubseteq R$ [owl:inverseOf R] $\sqsubseteq R$ $S_1 \circ S_2 \circ \ldots \circ S_n \sqsubseteq R$

  $R \circ S_1 \circ S_2 \circ \ldots \circ S_n \sqsubseteq R$ $S_1 \circ S_2 \circ \ldots \circ S_n \circ R \sqsubseteq R$

- Beispiel 1: $R \circ S \sqsubseteq R$ $S \circ S \sqsubseteq S$ $R \circ S \circ R \sqsubseteq T$
  regulär mit Ordnung $S \prec R \prec T$

- Beispiel 2: $R \circ T \circ S \sqsubseteq T$
  nicht regulär, da Form nicht zulässig

- Example 3: $R \circ S \sqsubseteq S$ $S \circ R \sqsubseteq R$
  nicht regulär, weil keine passsende Ordnung existiert

Semantic Web
TECHNOLOGIES

Property-Chain-Axiome: Simplizität

- Kombination von Property-Chain-Axiomsen und Kardinalitäts- oder Self-Restriktionen kann zur Unentscheidbarkeit führen
- Bedingung: verwende nur *simple* Properties in Kardinalitäts- oder Self-Restriktionen (d.h. solche, die nicht – direkt oder indirekt – von Property-Ketten abgeleitet werden können)
- formal:
  - für jedes Property-Chain-Axiom $S_1 \circ S_2 \circ \ldots \circ S_n \sqsubseteq R$ mit n>1, ist R non-simpel
  - for jedes Subproperty-Axiom $S \sqsubseteq R$ mit non-simplem S ist auch R non-simpel
  - alle anderen Properties sind simpel
- Beispiel:
  $Q \circ P \sqsubseteq R$ $R \circ P \sqsubseteq R$ $R \sqsubseteq S$ $P \sqsubseteq R$ $Q \sqsubseteq S$
  non-simpel: R, S simpel: P, Q

Semantic Web
TECHNOLOGIES

Eigenschaften von Properties

- mit OWL kann auch spezifiziert werden, dass Properties die folgenden Eigenschaften haben:
  - disjoint from another
  - functional
  - inverse functional
  - transitive
  - symmetric
  - asymmetric
  - reflexive
  - irreflexive

„syntaktischer Zucker“ (mit schon eingeführten Features ausdrückbar)

Semantic Web
TECHNOLOGIES

Datentypen in OWL

- wie in RDF, können mithilfe von Properties Individuen mit Datenwerten verknüpft werden:

```
ex:john ex:hasAge “42“^^xsd:integer .
```

Ranges von Datentypen

- Ranges von konkreten Rollen:
  Datentypen (häufig verwendet: Datentypen aus XML Schema)
- Beispiel:

```
@prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> .
                          ...
        ex:hasAge   rdfs:range   xsd:integer .
```

- Interpretation der Datentypen ist in XML Schema definiert (OWL beseitigt einige Unklarheiten, z.B. “Gibt es eine Überschneidung der Wertebereiche von floating point und integer?”)
- Achtung: Datentypen müssen immer noch explizit angegeben werden! Mit dem obigen Axiom erhält man:

```
ex:jean     ex:hasAge   "17"^^xsd:integer .     ← Korrekt
ex:paul     ex:hasAge   "23"^^xsd:decimal .     ← Korrekt
ex:claire   ex:hasAge   "42" .                  ← Inkonsistent!
```

Definieren Neuer Datentypen

- in XML Schema können Datentypen eingeschränkt werden → **datatype facets**
- Beispiel:

```
ex:personAge  owl:equivalentClass
  [ rdf:type  rdfs:Datatype;
    owl:onDatatype  xsd:integer;
    owl:withRestrictions (
       [ xsd:minInclusive  "0"^^xsd:integer ]
       [ xsd:maxInclusive  "150"^^xsd:integer ]
    )
  ] .
```

- die möglichen Arten der Einschränkung hängen vom Datentyp ab, einige facets sind nur eingeschränkt in OWL verfügbar → für Details s. Specs

Einfache Datenintegration in OWL

- praktisches Problem: gegeben Ontologien aus verschiedenen Quellen, welche URIs beziehen sich auf dieselben Individuen?
- typischer Ansatz in OWL:
  - Gleichheit explizit machen durch `owl:sameAs`
  - Definition von Properties als invers funktional (“selber Wert → selbes Individuum”)
- Probleme:
  - `owl:sameAs` erfordert explizite Mappings (selten im Web)
  - OWL DL verbietet invers funktionale konkrete Rollen
  - Es kann nur eine Property zur globalen Identifikation verwendet werden, keine Kombinationen (zum Beispiel ist nicht darstellbar: “Alle Teilnehmer von SWebT1 mit demselben Namen und dem selben Geburtstag sind gleich.”)

OWL 2 Keys

- OWL 2 stellt eine Möglichkeit bereit, das zu modellieren:

```
ex:SwebT1Student  owl:hasKey  (ex:name, ex:birthday) .
```

- **Einschränkung:** Keys beziehen sich nur auf benannte Individuen, d.h. Objekte der Interpretationsdomäne, für die es eine URI gibt.
- Konkret: wenn es zwei URIs ***u*** und ***v*** gibt und ein Name ***n*** und ein Datum ***b*** existiert, so dass

```
u rdf:type ex:ESSLLIStudent; ex:name n ; ex:birthday b .
v rdf:type ex:ESSLLIStudent; ex:name n ; ex:birthday b .
```

dann können wir schließen: ***u*** **owl:sameAs** ***v*** **.**

OWL 2 Profile

- **Design-Kriterium für OWL "tractable" Profile:**
  Identifikation maximaler OWL 2 Teilsprachen für die automatisches Schlussfolgern in PTime realisiert werden kann.
- Hauptquelle für "intractability": **Nichtdeterminismus** (erfordert Raten/ Backtracking)
- `owl:unionOf`, oder `owl:complementOf` + `owl:intersectionOf`
- Max.-Kardinalitäts-Restriktionen
- Kombination von existentiellen (`owl:someValuesFrom`) and universellen (`owl:allValuesFrom`) Restriktionen in Überklassen
- Aufzählungsklassen (`owl:oneOf`) mit mehr als einem Element
- endliche Datentypen

→ diese Features sind in keinem OWL 2 Profil erlaubt

OWL 2 EL

- **OWL-Profile basierend auf der Beschreibungslogik EL++**
- Intuition: Konzentration auf terminologische Ausdrucksstärke für leichtgewichtige Ontologien
- erlaubt `owl:someValuesFrom` aber nicht `owl:allvaluesFrom`
- Domains, Klassen-/Property-Hierarchien, `owl:intersectionOf`, disjunkte Klassen/Properties, property chains, `owl:hasSelf`, `owl:hasValue`, Keys
- keine inversen oder symmetrischen Properties
- `rdfs:range` erlaubt aber mit Einschränkungen
- verboten: `owl:unionOf` , `owl:complementOf`
- zahlreiche Einschränkungen auf erlaubten Datentypen

OWL 2 EL: Features

- Standard reasoning in OWL 2 EL:
  PTime-vollständig
- wird verwendet in praktisch relevanten Ontologien:
  primäres Beispiel ist SNOMED CT
  (Ontologie zu klinischem Vokabular mit Klassen und Properties in der Größenordnung 10^5)
- schnelle Implementierungen sind verfügbar:
  volle Klassifikation von SNOMED-CT in <10min;
  Echtzeitverhalten, wenn adäquat vorverarbeitet (Aufteilung in “logische Module”)

OWL 2 QL

- **OWL-Profil zugeschnitten auf datenintensive Anwendungen**
- Intuition: Ontologie wird in Datenbak gespeichert, Verwendung von OWL-Klassen als leichtgewichtige Anfragen, Anfragebeantwortung erfolgt durch Umwandlung in und Ausführung von SQL
- verschiedene Einschränkungen bei Unter- und Überklassen in `rdfs:subClassOf`:
  - Unterklassen: Klassennamen oder `owl:someValuesFrom` (existential) mit `owl:Thing`
  - Überklassen: Klassennamen, `owl:someValuesFrom` oder `owl:intersectionOf` with Überklassen als Argument (rekursiv), oder `owl:complementOf` mit Unterklassenargument
- Property-Hierarchien, Disjunktheit, Inverse, (A)symmetry zulässig, Range und Domain eingeschränkt
- disjunkte Klassen und Klassenäquivalenz nur für Unterklassenargumente (s.o.)
- verboten: `owl:unionOf`, `owl:allValuesFrom`, `owl:hasSelf`, `owl:hasKey`, `owl:hasValue`, `owl:oneOf`, `owl:sameAs`, `owl:propertyChainAxiom`, `owl:TransitiveProperty`, Kardinalitäten, (invers) funktionale Properties

OWL 2 QL: Features

- Standard reasoning in OWL 2 QL: PTime
  für spezielle assertionale Anfragen sogar LogSpace
  (das ist besser als PTime)
- bequeme leichtgewichtige Schnittstelle für Legacy-Daten
- schnelle Implementierungen aufsetzend auf bestehenden Datenbaksystemen (relational or RDF-basiert): skaliert auf sehr große Datenmengen

OWL 2 RL

- **OWL-Profil, welches in OWL ausdrückbare (Horn-)Regeln abdeckt:**
- Intuition: Subklassenaxiome in OWL RL können als Implikationen verstanden werden mit Regelkopf (Überklasse) und Regelrumpf (Unterklasse)
- verschiedene Einschränkungen für Unter und Überklassen bei `rdfs:subClassOf`:
  - Unterklassen: Klassennamen, `owl:oneOf`, `owl:hasValue`, `owl:intersectionOf`, `owl:unionOf`, `owl:someValuesFrom` mit zulässiger Unterklasse als Argument
  - Überklassen: Klassennamen, `owl:allValuesFrom` oder `owl:hasValue`; max. Kardinalitäten nur mit 0 oder 1 zulässig, alle mit zulässiger Überklasse als Argument
- Domains und Ranges nur für zulässige Unterklassen; Property-Hierarchien, Disjunktheit, Inverse, (A)symmetrie, Transitivität, role chains, (inverse) Functionalität, Irreflexivität voll unterstützt
- Disjunktheit und Keys nur bezüglich zulässiger Unterklassen; Klassenäquivalenz nur für Ausdrücke, die gleichzeitig die Kriterien für Unter- und Überklassen erfüllen; keine Einschränkungen hinsichtlich `owl:sameAs`
- einige Enschränkung hinsichtlich verwendbarer Datentypen

OWL 2 RL: Features

- Standard reasoning in OWL 2 RL:
  PTime-vollständig
- Regelbasierter Ansatz vereinfacht Modellierung und Implementierung:
  selbst “naive” Implementierungen können nützlich sein
- schnelle und skalierbare Inferenzmaschinen
  (z.B.: Oracle)

Do We Really Need So Many OWLs?

- **Drei neue OWL-Profiles mit recht komplexen Beschreibungen … warum nicht nur eine?**
- die Vereinigung von je zwei dieser drei Profile ist nicht mehr leichtgewichtig! Reasoning in QL+RL, QL+EL, RL+EL ist ExpTime-hart
- Einschränkung auf weniger Profile = Aufgabe potenziell nützlicher Kombinationen von Modellierungsmitteln
- Grundidee: Profile sind “größt-mögliche” berechnungstechnisch gutartige Teilsprachen von OWL 2 → Auswahl der passenden Sprache je nach Anwendung

OWL in der Praxis: Tools

- Editoren (http://semanticweb.org/wiki/Editors)
  - der gebräuchlichste: Protégé 4
  - andere: TopBraid Composer ($), *NeOn toolkit*
  - special purpose apps, besonders für leichtgewichtige Ontologien (z.B. FOAF-Editoren)
- Reasoner (http://semanticweb.org/wiki/Reasoners)
  - OWL DL: Pellet, HermiT, FaCT++, RacerPro ($)
  - OWL EL: CEL, SHER, snorocket ($)
  - OWL RL: OWLIM, Jena, Oracle Prime (part of O 11g) ($),
  - OWL QL: Owlgres, QuOnto, Quill
- viele Tools verwenden die **OWL API** Bibliothek (Java)

Nichtstandard-Reasoning in OWL

Es gibt mehr als Editieren und deduktives automatisches Schlussfolgern:

- **Explanation:** finde Mengen von Axiomen, die eine bestimmte Konsequenz erklären (wichtig zum Editieren und Debuggen)
- **Modularisierung:** extrahiere Teilontologien, die für bestimmte Zwecke ausreichen
- **Repair:** finde und behebe Modellierungsfehler in Ontologien (verwandt mit Explanation)
- **Least Common Subsumer:** finde den speziellsten Klassenausdruck der allgemeiner ist als eine Menge gegebener Klassenausdrücke
- **Abduction:** gegeben eine gewünschte Konsequenz, finde mögliche Input-Axiome die zu dieser Konsequenz führen würden

→ dafür gibt es implementierte Verfahren, die häufig auf Standard-Reasoning-Tools aufsetzen

Überblick: wichtige OWL Features

Feature	Related OWL vocabulary	FOL	DL
top/bottom class	`owl:Thing/owl:Nothing`	(axiomatise)	$\top/\bot$
Class intersection	`owl:intersectionOf`	$\wedge$	$\sqcap$
Class union	`owl:unionOf`	$\vee$	$\sqcup$
Class complement	`owl:complementOf`	$\neg$	$\neg$
Enumerated class	`owl:oneOf`	(ax. with $\approx$)	{a}
Property restrictions	`owl:onProperty`		
Existential	`owl:someValueFrom`	$\exists y \ldots$	$\exists R.C$
Universal	`owl:allValuesFrom`	$\forall y \ldots$	$\forall R.C$
Min. cardinality	`owl:minQualifiedCardinality` `owl:onClass`	$\exists y1 \ldots yn. \ldots$	$\geq n\ S.C$
Max. cardinality	`owl:maxQualifiedCardinality` `owl:onClass`	$\forall y1 \ldots yn+1. \ldots \rightarrow \ldots$	$\leq n\ S.C$
Local reflexivity	`owl:hasSelf`	R(x,x)	$\exists R.Self$

Überblick: wichtige OWL Features

Feature	Related OWL vocabulary	DL
Property chain	`owl:propertyChainAxiom`	∘
Inverse	`owl:inverseOf`	R^-
Key	`owl:hasKey`	rule, see Lecture 5
Property disjointness	`owl:propertyDisjointWith`	Dis(R,S)
Property characteristics	`rdf:hasType`	
Symmetric	`owl:SymmetricProperty`	Sym(R)
Asymmetric	`owl:AsymmetricProperty`	Asy(R)
Reflexive	`owl:ReflexiveProperty`	Ref(R)
Irreflexive	`owl:IrreflexiveProperty`	Irr(R)
Transitivity	`owl:TransitiveProperty`	Tra(R)

Subclass	`rdfs:subClassOf`	$\forall x.C(x) \rightarrow D(x)$	$C \sqsubseteq D$
Subproperty	`rdfs:subPropertyOf`	$\forall x,y.R(x,y) \rightarrow S(x,y)$	$R \sqsubseteq S$

Zusammenfassung

- OWL: ausdrucksstarke Ontologiesprache mit praktischer Bedeutung
- Strukturell in RDF representierbar (XML oder Turtle syntax)
- verschiedene Varianten für unterschiedliche Anwendungen:
  - OWL Full verfügt über volle semantische RDF-Kompatibilität (unentscheidbar)
  - OWL DL entscheidbar aber aufwändig (N2ExpTime)
  - OWL-Profiles für leichtgewichtiges Schlussfolgern (in PTime)