

[www.semantic-web-grundlagen.de](http://www.semantic-web-grundlagen.de)

# Semanti Web TechnologiesI

Lehrveranstaltung im WS13/14

Dr. Andreas Harth  
Dipl.-Inf. Martin Junghans  
M.Sc. Anees Mehdi

# Semanti von RDF(S)

Dr. Andreas Harth

Einleitung und XML

Einführung in RDF

RDF Schema

Logik - Grundlagen

Semantik von RDF(S)

OWL - Syntax und Intuition

OWL - Semantik und Reasoning

OWL 2

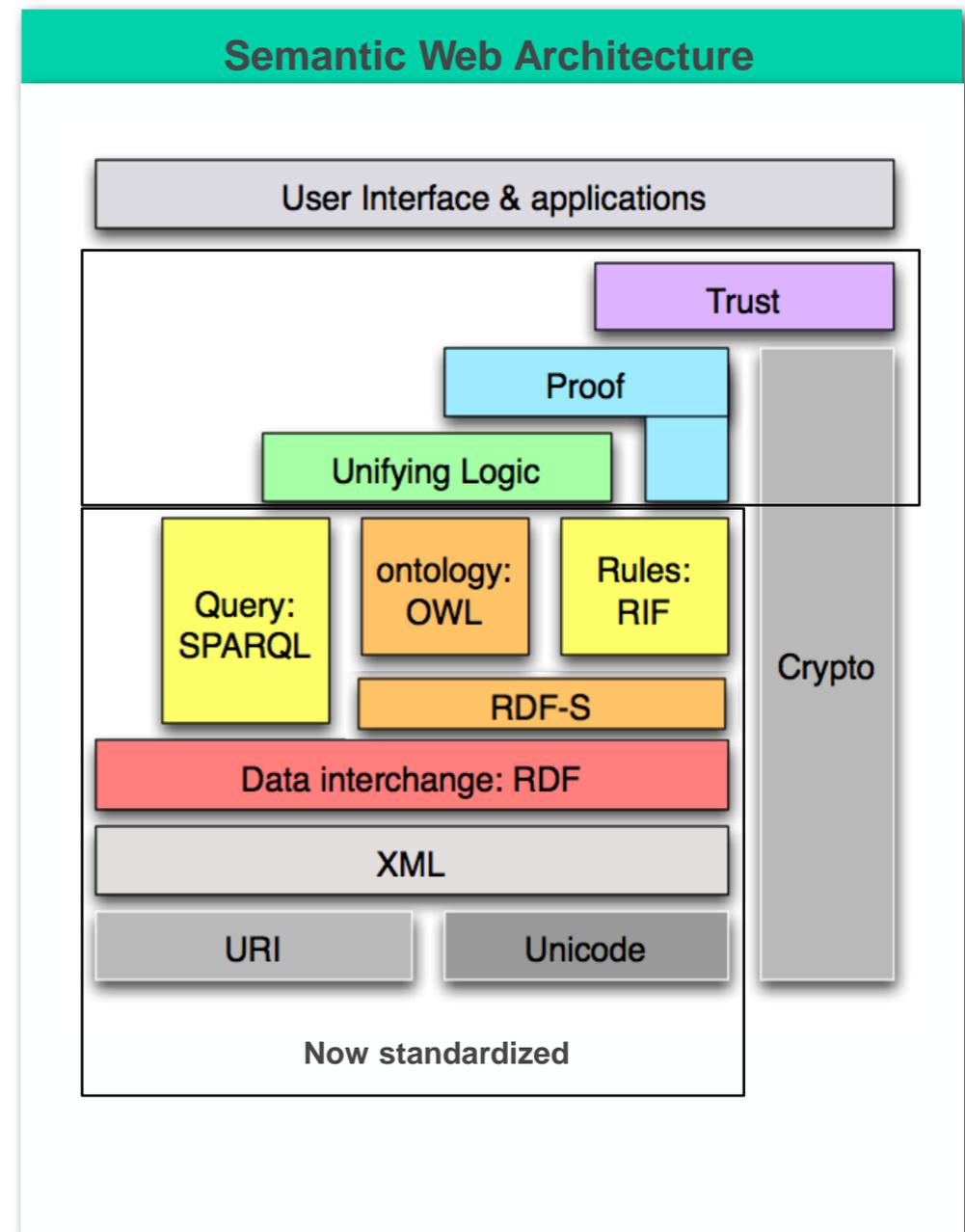
SPARQL - Syntax und Intuition

Konjunktive Anfragen / Einführung Regelsprachen

Regeln für OWL

Ontology Engineering

Semantic Web - Anwendungen



# Semanti von RDF(S)

Dr. Andreas Harth

Einleitung und XML

Einführung in RDF

RDF Schema

Logik - Grundlagen

Semantik von RDF(S)

OWL - Syntax und Intuition

OWL - Semantik und Reasoning

OWL 2

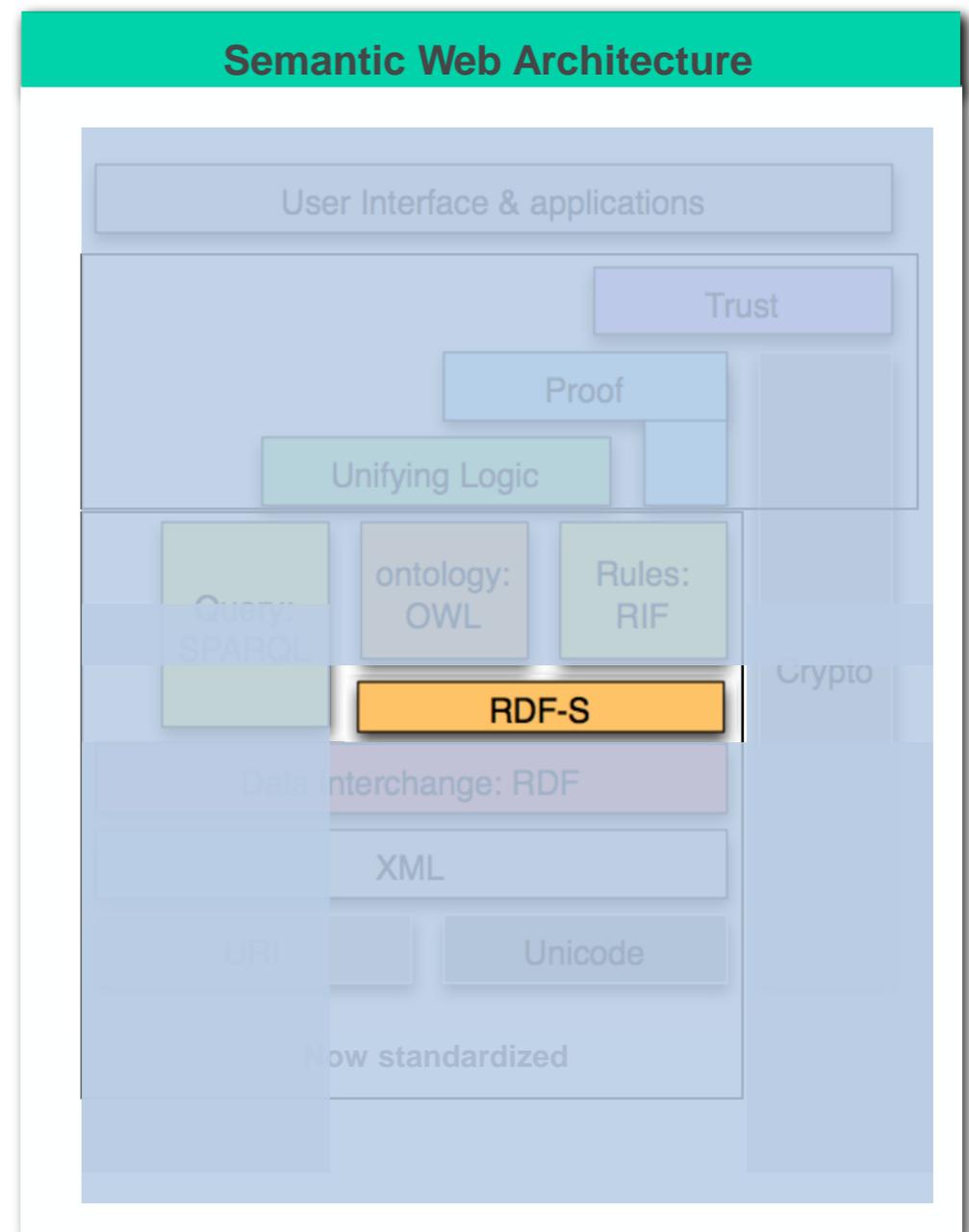
SPARQL - Syntax und Intuition

Konjunktive Anfragen / Einführung Regelsprachen

Regeln für OWL

Ontology Engineering

Semantic Web - Anwendungen



# AGENDA



- Motivation
- Vorbetrachtungen
- einfache Folgerung
- RDF-Folgerung
- RDFS-Folgerung
- Unzulänglichkeiten von RDF(S)

# AGENDA



- Motivation
- Vorbetrachtungen
- einfache Folgerung
- RDF-Folgerung
- RDFS-Folgerung
- Unzulänglichkeiten von RDF(S)

# WARUM FORMALE SEMANTIK?

- nach Einführung von RDFS Kritik von Tool-Herstellern: verschiedene Tools - Inkompatibilitäten (trotz Spezifikation)
- z.B. bei triple stores:
  - gleiches RDF-Dokument
  - gleiche SPARQL-Anfrage
  - verschiedene Antworten
- daher: modelltheoretische Semantik für RDF(S)

# AGENDA



- Motivation
- Vorbetrachtungen
- einfache Folgerung
- RDF-Folgerung
- RDFS-Folgerung
- Unzulänglichkeiten von RDF(S)

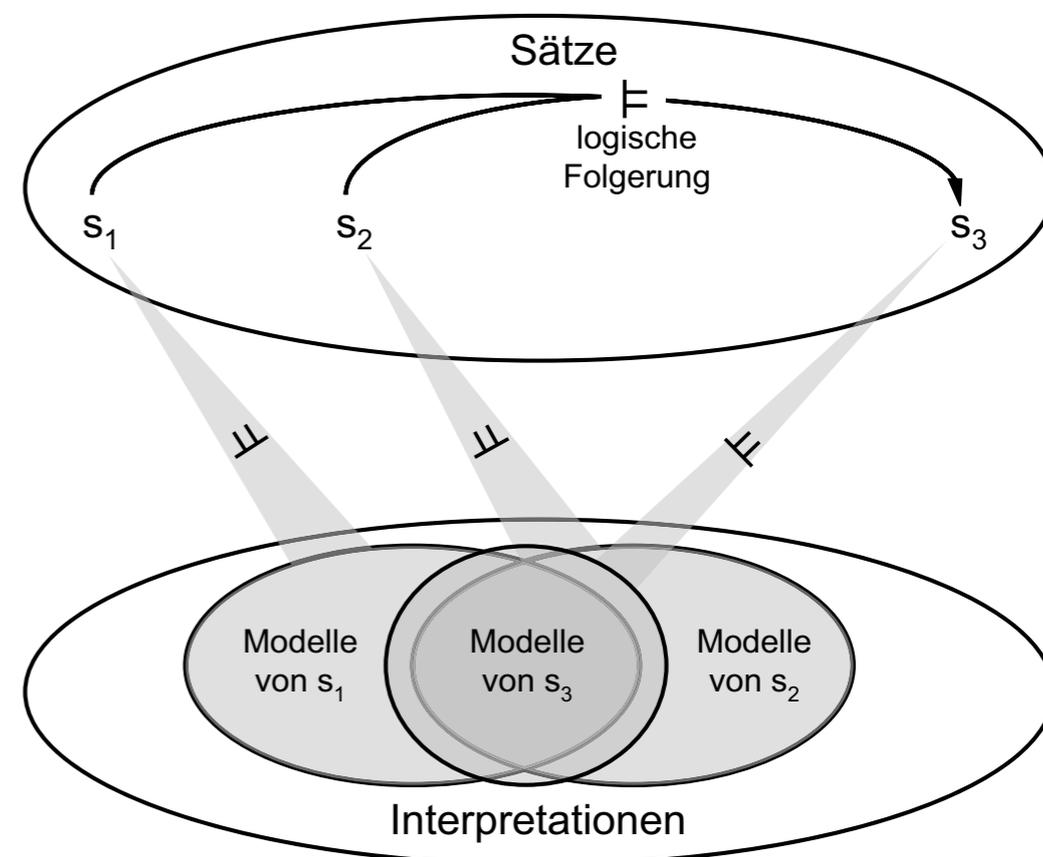
# WAS IST DIE SYNTAX?

- also: was sind die Sätze in RDF(S)?
  - Grundelemente (Vokabular  $V$ ): URIs, bnodes und Literale (sind selbst keine Sätze)
  - jedes Tripel
$$(s,p,o) \in (\text{URI} \cup \text{bnode}) \times \text{URI} \times (\text{URI} \cup \text{bnode} \cup \text{Literal})$$
ist ein Satz
  - jede endliche Menge von Tripeln (genannt Graph) ist ein Satz

# WAS IST DIE SEMANTIK?

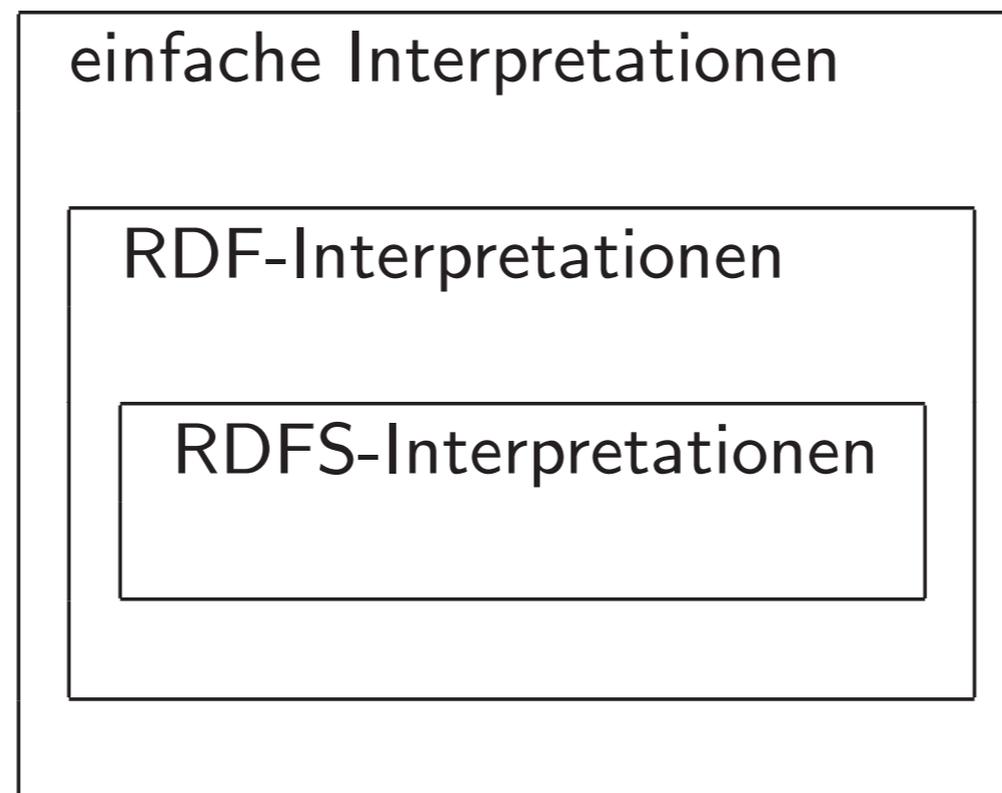


- Konsequenzrelation, die sagt, wann ein RDF (S)-Graph  $G'$  aus einem RDF(S)-Graphen  $G$  folgt, d.h.  $G \models G'$
- Modelltheoretische Semantik: wir definieren Menge von Interpretationen und legen fest, wann eine Interpretation Modell eines Graphen ist



# WAS IST DIE SEMANTIK?

- Vorgehen schrittweise:



- je eingeschränkter die Interpretationen umso stärker die Folgerungsrelation

# AGENDA



- Motivation
- Vorbetrachtungen
- einfache Folgerung
- RDF-Folgerung
- RDFS-Folgerung
- Unzulänglichkeiten von RDF(S)

# SEMANTIK DER EINFACHEN FOLGERUNG



- einfache Interpretation:

Wir definieren also: Eine *einfache Interpretation*  $\mathcal{I}$  für ein Vokabular  $V$  besteht aus

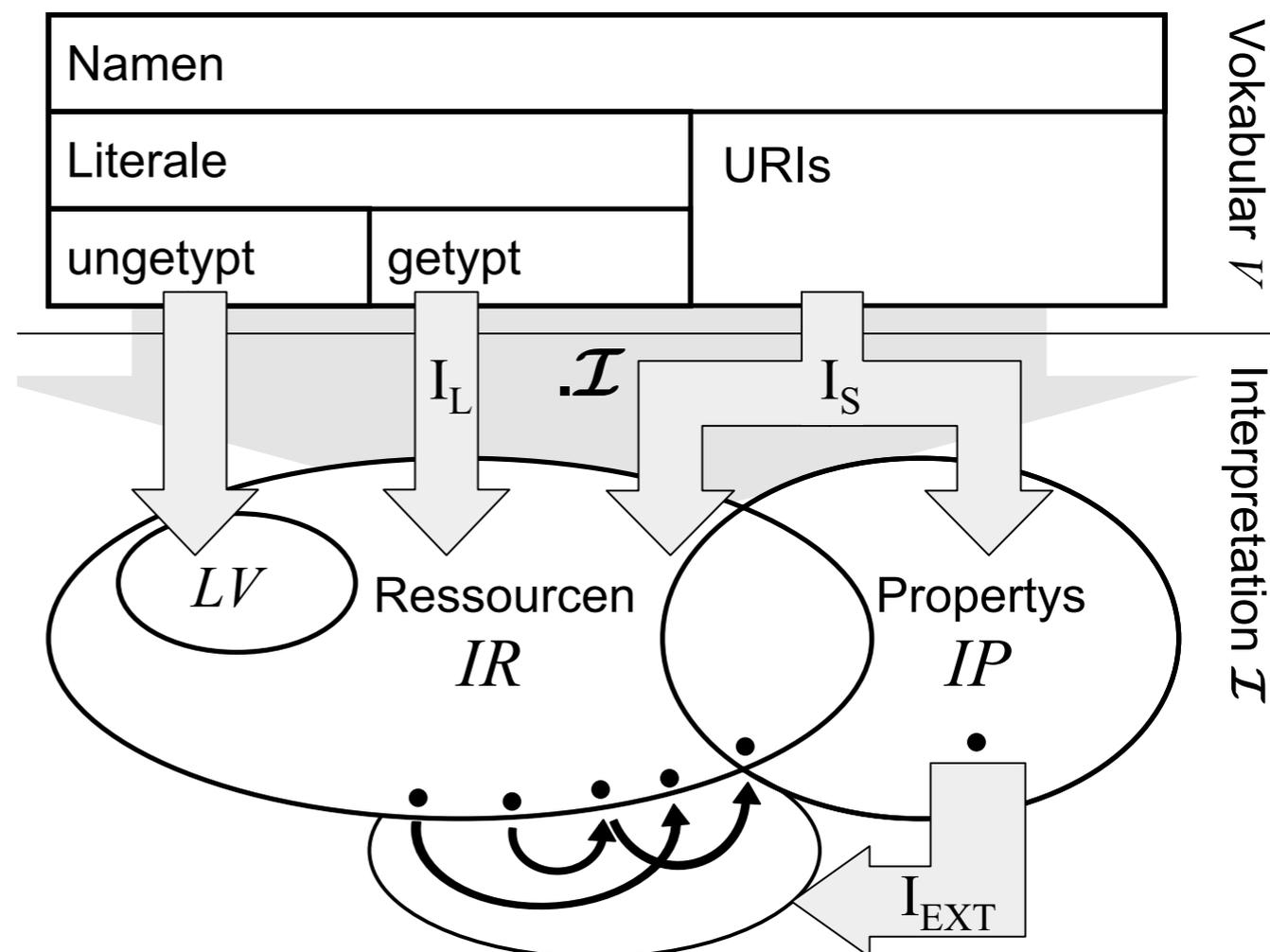
- $IR$ , einer nichtleeren Menge von *Ressourcen*, auch genannt Domäne oder (Diskurs-)Universum von  $\mathcal{I}$ ,
- $IP$ , der Menge der *Propertys* von  $\mathcal{I}$
- $I_{\text{EXT}}$ , einer Funktion, welche jeder Property eine Menge von Paaren aus  $IR$  zuordnet, also  $I_{\text{EXT}} : IP \rightarrow 2^{IR \times IR}$ , dabei nennt man  $I_{\text{EXT}}(p)$  auch die *Extension* der Property  $p$ ,
- $I_S$ , einer Funktion, welche URIs aus  $V$  in die Vereinigung der Mengen  $IR$  und  $IP$  abbildet, also  $I_S : V \rightarrow IR \cup IP$ ,
- $I_L$ , einer Funktion von den getypten Literalen aus  $V$  in die Menge  $IR$  der Ressourcen und
- $LV$  einer speziellen Teilmenge von  $IR$ , genannt Menge der Literalwerte, die (mindestens) alle ungetypten Literale aus  $V$  enthält.

# SEMANTIK DER EINFACHEN FOLGERUNG



- jedes ungetypte Literal " $a$ " wird auf  $a$  abgebildet:  $(\text{"}a\text{"})^{\mathcal{I}} = a$ ,
- jedes ungetypte Literal mit Sprachangabe " $a$ "@ $t$  wird auf das Paar  $\langle a, t \rangle$  abgebildet:  $(\text{"}a\text{"}@t)^{\mathcal{I}} = \langle a, t \rangle$ ,
- jedes getypte Literal  $l$  wird auf  $I_L(l)$  abgebildet:  $l^{\mathcal{I}} = I_L(l)$  und
- jede URI  $u$  wird auf  $I_S(u)$  abgebildet:  $u^{\mathcal{I}} = I_S(u)$ .

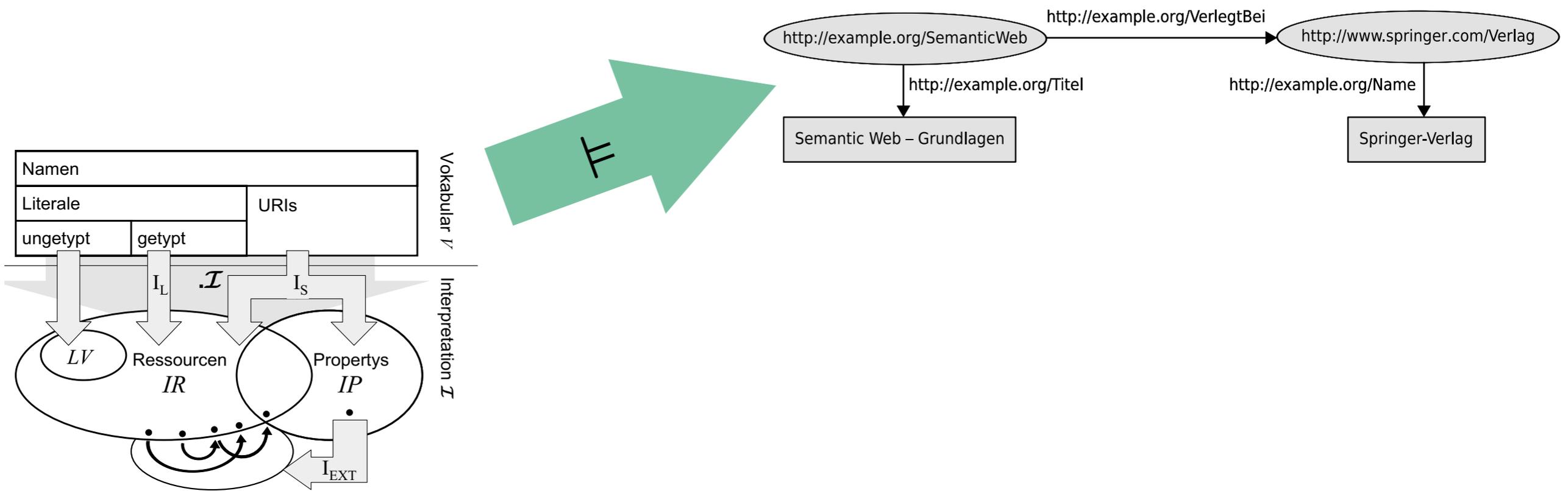
- Interpretation (schematisch):



# SEMANTIK DER EINFACHEN FOLGERUNG



- Frage: Wann ist eine gegebene Interpretation Modell eines Graphen?

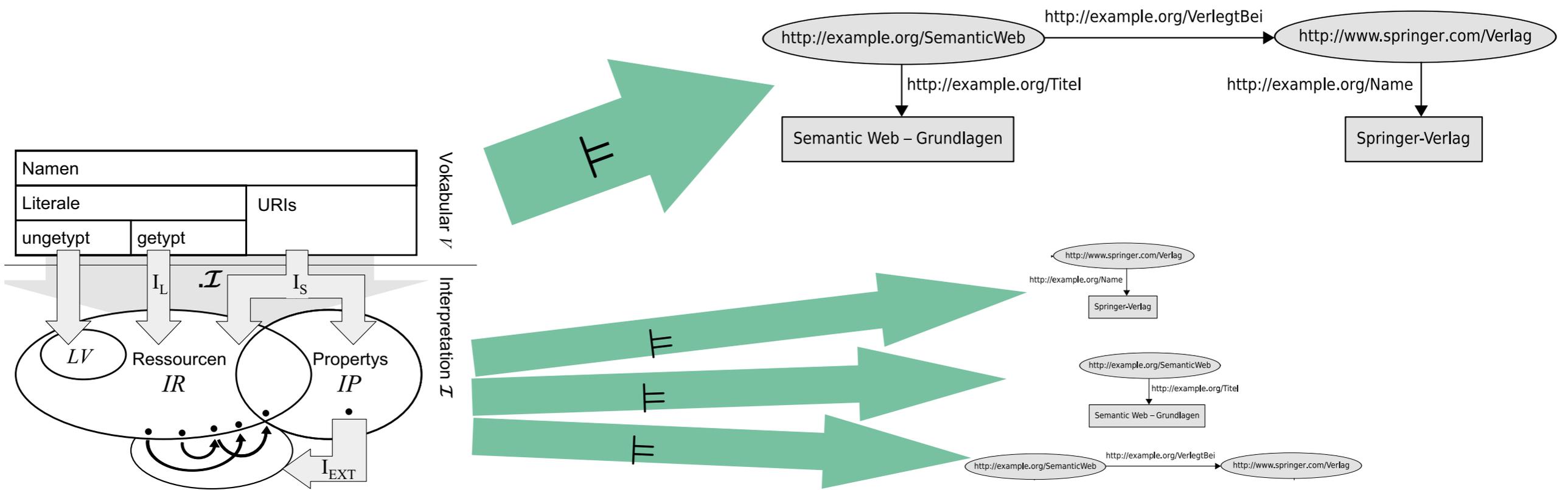


- ...wenn sie Modell jedes Tripels des Graphen ist!

# SEMANTIK DER EINFACHEN FOLGERUNG



- Frage: Wann ist eine gegebene Interpretation Modell eines Graphen?

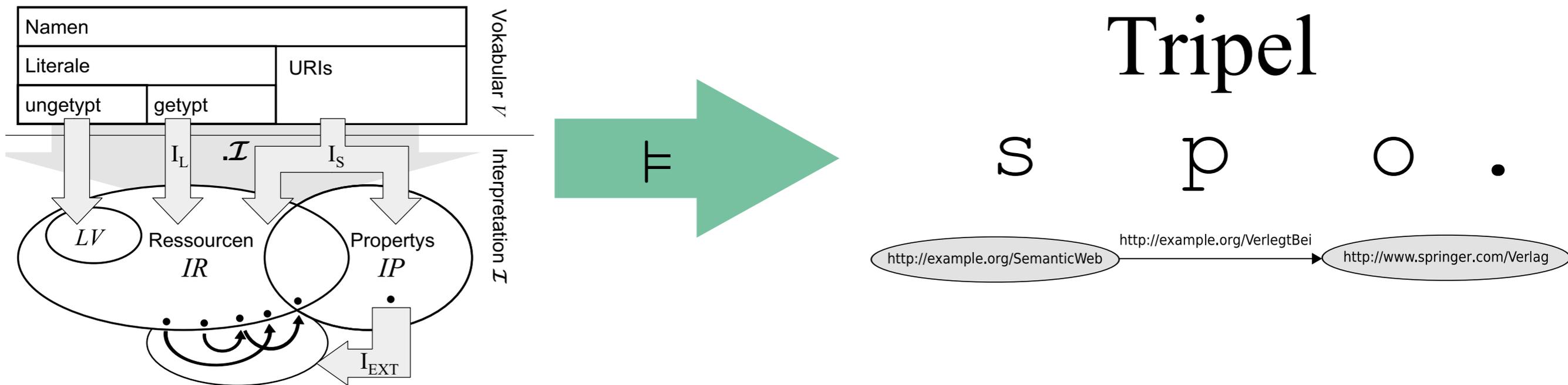


- ...wenn sie Modell jedes Tripels des Graphen ist!

# SEMANTIK DER EINFACHEN FOLGERUNG



- Frage: Wann ist eine gegebene Interpretation Modell eines Tripels?

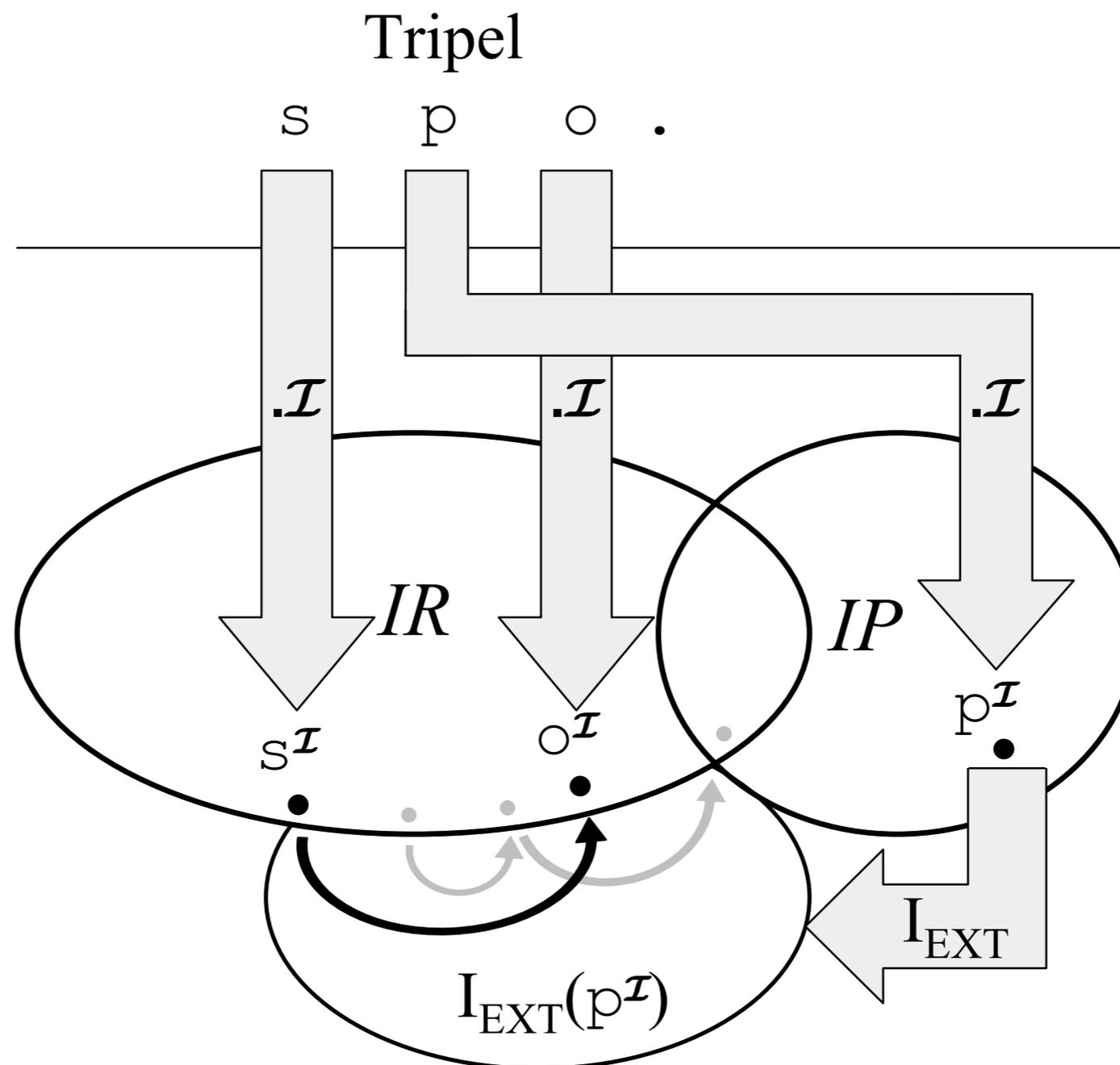


- ...wenn Subjekt, Prädikat und Objekt in  $V$  enthalten sind und außerdem:

$$\langle s^{\mathcal{I}}, o^{\mathcal{I}} \rangle \in I_{EXT}(p^{\mathcal{I}})$$

# SEMANTIK DER EINFACHEN FOLGERUNG

- schematisch:



# SEMANTIK DER EINFACHEN FOLGERUNG

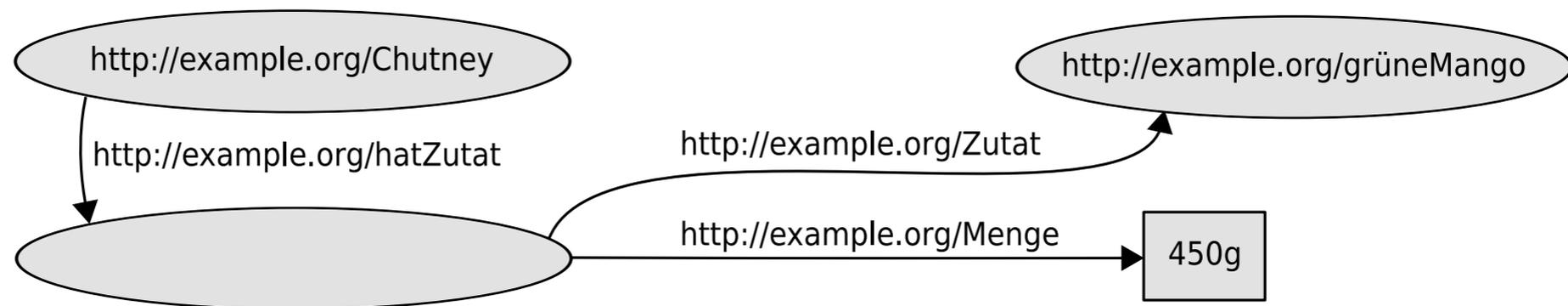


- ...ups, wir haben die bnodes vergessen!
- wird nachgeholt: sei  $A$  Funktion, die alle bnodes auf Elemente von  $\mathbb{R}$  abbildet
- für eine Interpretation  $\mathcal{I}$ , sei  $\mathcal{I}+A$  wie  $\mathcal{I}$ , wobei zusätzlich für jeden bnode  $b$  gilt  $b^{\mathcal{I}+A} = A(b)$
- eine Interpretation  $\mathcal{I}$  ist nun Modell eines RDF-Graphen  $G$ , wenn es ein  $A$  gibt, so dass alle Tripel bezüglich  $\mathcal{I}+A$  wahr werden

# EINFACHE INTERPRETATION: BEISPIEL



- gegeben Graph  $G$ :



und Interpretation  $I$ :

$$IR = \{\chi, \nu, \tau, \nu, \epsilon, \iota, 450g\}$$

$$IP = \{\tau, \nu, \iota\}$$

$$LV = \{450g\}$$

$$I_{EXT} = \tau \mapsto \{\langle \chi, \epsilon \rangle\}$$

$$\nu \mapsto \{\langle \epsilon, \nu \rangle\}$$

$$\iota \mapsto \{\langle \epsilon, 450g \rangle\}$$

$$I_S = \text{ex:Chutney} \mapsto \chi$$

$$\text{ex:grüneMango} \mapsto \nu$$

$$\text{ex:hatZutat} \mapsto \tau$$

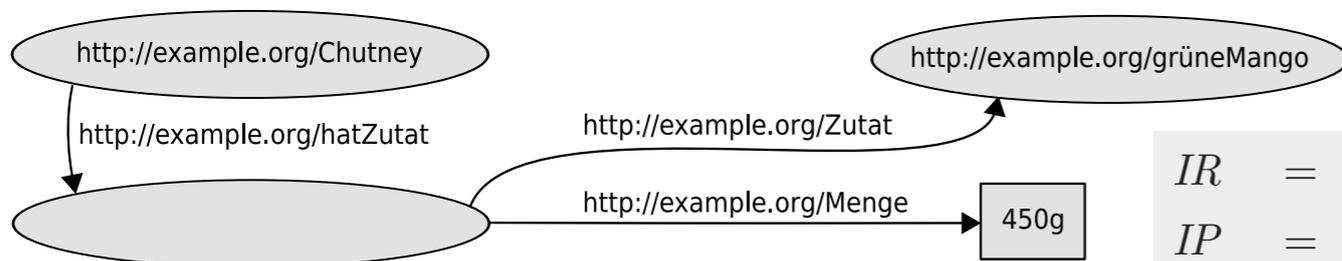
$$\text{ex:Zutat} \mapsto \nu$$

$$\text{ex:Menge} \mapsto \iota$$

$I_L$  ist die „leere Funktion“, da es keine getypten Literale gibt.

- ...ist  $I$  ein Modell von  $G$ ?

# EINFACHE INTERPRETATION: BEISPIEL



$IR = \{\chi, \nu, \tau, \nu, \epsilon, \iota, 450g\}$   
 $IP = \{\tau, \nu, \iota\}$   
 $LV = \{450g\}$   
 $I_{EXT} = \tau \mapsto \{\langle \chi, \epsilon \rangle\}$   
 $\nu \mapsto \{\langle \epsilon, \nu \rangle\}$   
 $\iota \mapsto \{\langle \epsilon, 450g \rangle\}$

$I_S = \text{ex:Chutney} \mapsto \chi$   
 $\text{ex:grüneMango} \mapsto \nu$   
 $\text{ex:hatZutat} \mapsto \tau$   
 $\text{ex:Zutat} \mapsto \nu$   
 $\text{ex:Menge} \mapsto \iota$   
 $I_L$  ist die „leere Funktion“, da es keine getypten Literale gibt.

- wählt man  $A : \_ : id1 \mapsto \epsilon$ ,  
dann ergibt sich

$\langle \text{ex:Chutney}^{\mathcal{I}+A}, \_ : id1^{\mathcal{I}+A} \rangle = \langle \chi, \epsilon \rangle \in I_{EXT}(\tau) = I_{EXT}(\text{ex:hatZutat}^{\mathcal{I}+A})$   
 $\langle \_ : id1^{\mathcal{I}+A}, \text{ex:grüneMango}^{\mathcal{I}+A} \rangle = \langle \epsilon, \nu \rangle \in I_{EXT}(\nu) = I_{EXT}(\text{ex:Zutat}^{\mathcal{I}+A})$   
 $\langle \_ : id1^{\mathcal{I}+A}, "450g"^{\mathcal{I}+A} \rangle = \langle \epsilon, 450g \rangle \in I_{EXT}(\iota) = I_{EXT}(\text{ex:Menge}^{\mathcal{I}+A})$

- also ist  $\mathcal{I}$  Modell von  $G$

# EINFACHE FOLGERUNG



- Definition der einfachen Interpretation legt (modelltheoretisch) einfache Folgerung für RDF-Graphen fest
- Frage: wie lässt sich diese (abstrakt definierte) Semantik im Sinne des automatischen Schlussfolgerns umsetzen
- Antwort: Ableitungsregeln

# EINFACHE FOLGERUNG



- Ableitungsregeln für einfache Folgerung:

$$\frac{u \quad a \quad x \quad .}{u \quad a \quad \_ : n \quad .} \text{ se1}$$

$$\frac{u \quad a \quad x \quad .}{\_ : n \quad a \quad x \quad .} \text{ se2}$$

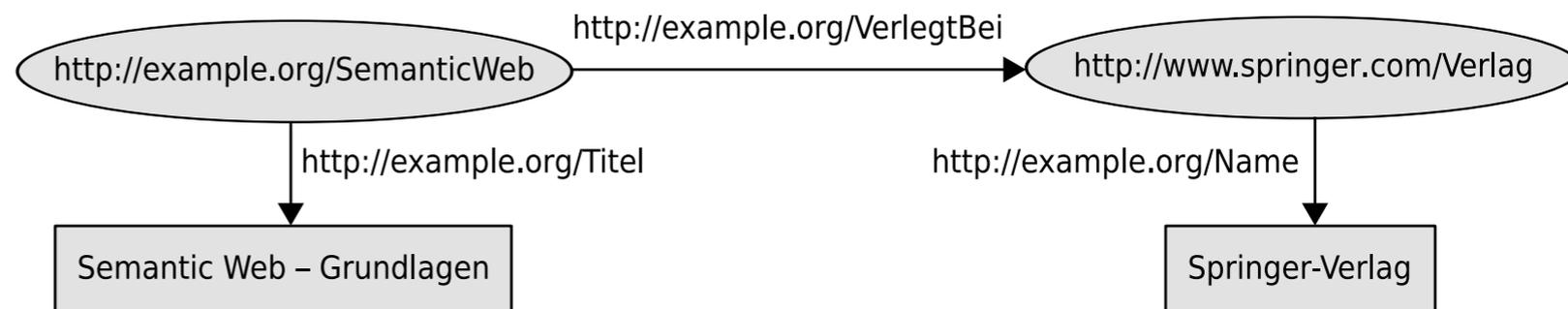
- Bedingung für Anwendung: leerer Knoten nicht bereits anderer URI / anderem Literal zugeordnet

# EINFACHE FOLGERUNG

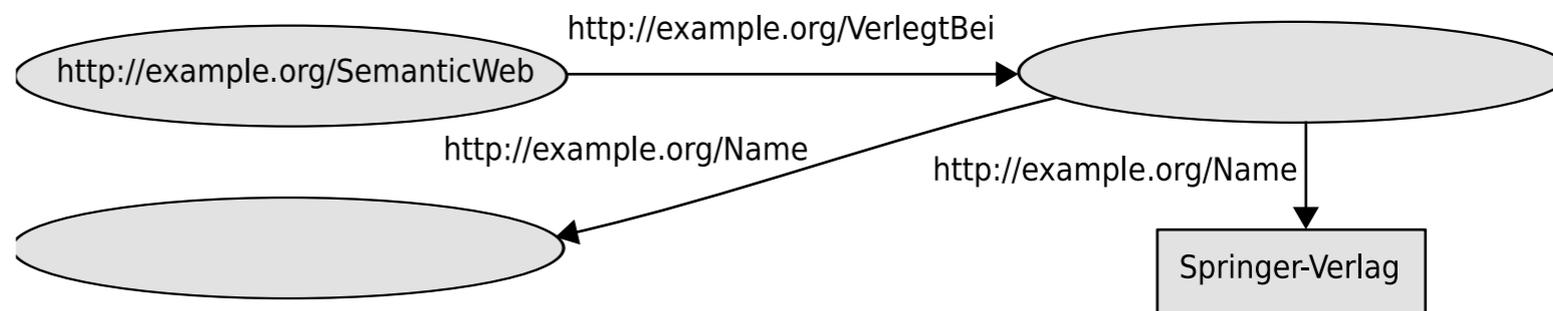


- Satz: Ein Graph  $G_2$  folgt einfach aus einem Graphen  $G_1$ , wenn  $G_1$  mithilfe der Regeln  $se_1$  und  $se_2$  zu einem Graphen  $G_1'$  ergänzt werden kann, so dass  $G_2$  in  $G_1'$  enthalten ist.

- Bsp.: aus



folgt ein-  
fach



# AGENDA



- Motivation
- Vorbetrachtungen
- einfache Folgerung
- **RDF-Folgerung**
- RDFS-Folgerung
- Unzulänglichkeiten von RDF(S)

# RDF-INTERPRETATIONEN

einfache Interpretationen

RDF-Interpretationen

RDFS-Interpretationen

- ...RDF-Interpretationen sind spezielle einfache Interpretationen, wobei für die URIs des RDF-Vokabulars

```
rdf:type rdf:Property rdf:XMLLiteral rdf:nil
```

```
rdf:List rdf:Statement rdf:subject rdf:predicate rdf:object
```

```
rdf:first rdf:rest rdf:Seq rdf:Bag rdf:Alt
```

```
rdf:_1 rdf:_2 ...
```

zusätzliche Forderungen gestellt werden,  
die die intendierte Semantik der RDF-  
Bezeichner realisieren:

# RDF-INTERPRETATIONEN



Eine *RDF-Interpretation* für ein Vokabular  $V$  ist nun eine einfache Interpretation für das Vokabular  $V \cup V_{\text{RDF}}$ , welche zusätzlich folgende Bedingungen erfüllt:

- $x \in IP$  genau dann, wenn  $\langle x, \text{rdf:Property}^{\mathcal{I}} \rangle \in I_{\text{EXT}}(\text{rdf:type}^{\mathcal{I}})$ .  
 $x$  ist eine Property genau dann, wenn es mit der durch `rdf:Property` bezeichneten Ressource über die `rdf:type`-Property verbunden ist (dies führt auch automatisch dazu, dass für jede RDF-Interpretation  $IP \subseteq IR$  gilt).
- wenn `"s"^^rdf:XMLLiteral` in  $V$  enthalten und  $s$  ein wohlgeformtes XML-Literal ist, dann
  - $I_L(\text{"s"^^rdf:XMLLiteral})$  ist der XML-Wert<sup>1</sup> von  $s$ ;
  - $I_L(\text{"s"^^rdf:XMLLiteral}) \in LV$ ;
  - $\langle I_L(\text{"s"^^rdf:XMLLiteral}), \text{rdf:XMLLiteral}^{\mathcal{I}} \rangle \in I_{\text{EXT}}(\text{rdf:type}^{\mathcal{I}})$
- wenn `"s"^^rdf:XMLLiteral` in  $V$  enthalten und  $s$  ein *nicht* wohlgeformtes XML-Literal ist, dann
  - $I_L(\text{"s"^^rdf:XMLLiteral}) \notin LV$  und
  - $\langle I_L(\text{"s"^^rdf:XMLLiteral}), \text{rdf:XMLLiteral}^{\mathcal{I}} \rangle \notin I_{\text{EXT}}(\text{rdf:type}^{\mathcal{I}})$ .

# RDF-INTERPRETATIONEN



- zusätzliche Forderung: jede RDF-Interpretation muss Modell der folgenden, „axiomatischen“ Tripel sein:

```

rdf:type          rdf:type          rdf:Property .
rdf:subject      rdf:type          rdf:Property .
rdf:predicate    rdf:type          rdf:Property .
rdf:object       rdf:type          rdf:Property .
rdf:first        rdf:type          rdf:Property .
rdf:rest         rdf:type          rdf:Property .
rdf:value        rdf:type          rdf:Property .
rdf:_1           rdf:type          rdf:Property .
rdf:_2           rdf:type          rdf:Property .
...
rdf:nil          rdf:type          rdf>List .

```

# RDF-FOLGERUNGEN



- automatische Folgerungen werden wieder über Ableitungsregeln realisiert:

$$\frac{}{u \ a \ x} \text{rdfax}$$

jedes axiomatische Tripel „u a x.“ kann immer abgeleitet werden

$$\frac{u \ a \ l \ .}{u \ a \ \_ : n \ .} \text{lg}$$

Literals dürfen durch nicht anderweitig gebundene bnodes ersetzt werden

$$\frac{u \ a \ y \ .}{a \ \text{rdf:type} \ \text{rdf:Property} \ .} \text{rdf1}$$

für jedes Tripelprädikat kann abgeleitet werden dass es eine Entität aus der Klasse der Properties ist

$$\frac{u \ a \ l \ .}{\_ : n \ \text{rdf:type} \ \text{rdf:XMLLiteral}} \text{rdf2}$$

wenn  $\_ : n$  durch lg dem wohlgeformten XML-Literal  $l$  zugewiesen wurde

# RDF-FOLGERUNG

- Satz: Ein Graph  $G_2$  RDF-folgt aus einem Graphen  $G_1$ , wenn es einen Graphen  $G_1'$  gibt, so dass
  - $G_1'$  aus  $G_1$  via  $lg$ ,  $rdf1$ ,  $rdf2$  und  $rdfax$  hergeleitet werden kann und
  - $G_2$  aus  $G_1'$  einfach folgt.
- Beachte: zweistufiger Folgerungsprozess.

# AGENDA



- Motivation
- Vorbetrachtungen
- einfache Folgerung
- RDF-Folgerung
- **RDFS-Folgerung**
- Unzulänglichkeiten von RDF(S)

# RDFS-INTERPRETATIONEN

einfache Interpretationen

RDF-Interpretationen

RDFS-Interpretationen

- ...RDFS-Interpretationen sind spezielle RDF-Interpretationen, wobei für die URIs des RDFS-Vokabulars

```
rdfs:domain rdfs:range rdfs:Resource rdfs:Literal rdfs:Datatype  
rdfs:Class rdfs:subClassOf rdfs:subPropertyOf rdfs:member  
rdfs:Container rdfs:ContainerMembershipProperty rdfs:comment  
rdfs:seeAlso rdfs:isDefinedBy rdfs:label
```

zusätzliche Forderungen gestellt werden,  
die die intendierte Semantik der RDF-  
Bezeichner realisieren:

# RDFS-INTERPRETATIONEN



Eine *RDFS-Interpretation* für ein Vokabular  $V$  ist eine RDF-Interpretation des Vokabulars  $V \cup V_{\text{RDFS}}$ , welche zusätzlich die folgenden Kriterien erfüllt:

- $IR = I_{\text{CEXT}}(\text{rdfs:Resource}^{\mathcal{I}})$   
Jede Ressource ist vom Typ `rdfs:Resource`.
- $LV = I_{\text{CEXT}}(\text{rdfs:Literal}^{\mathcal{I}})$   
Jedes ungetypte und jedes wohlgeformte getypte Literal ist vom Typ `rdfs:Literal`.
- Wenn  $\langle x, y \rangle \in I_{\text{EXT}}(\text{rdfs:domain}^{\mathcal{I}})$  und  $\langle u, v \rangle \in I_{\text{EXT}}(x)$ ,  
dann  $u \in I_{\text{CEXT}}(y)$ .  
Ist  $x$  mit  $y$  durch die Property `rdfs:domain` verbunden und verbindet die Property  $x$  die Ressourcen  $u$  und  $v$ , dann ist  $u$  vom Typ  $y$ .
- Wenn  $\langle x, y \rangle \in I_{\text{EXT}}(\text{rdfs:range}^{\mathcal{I}})$  und  $\langle u, v \rangle \in I_{\text{EXT}}(x)$ ,  
dann  $v \in I_{\text{CEXT}}(y)$ .  
Ist  $x$  mit  $y$  durch die Property `rdfs:range` verbunden und verbindet die Property  $x$  die Ressourcen  $u$  und  $v$ , dann ist  $v$  vom Typ  $y$ .
- $I_{\text{EXT}}(\text{rdfs:subPropertyOf}^{\mathcal{I}})$  ist reflexiv und transitiv auf  $IP$ .  
Die `rdfs:subPropertyOf`-Property verbindet jede Property mit sich selbst.  
Darüber hinaus gilt: Verbindet `rdfs:subPropertyOf` die Property  $x$  mit Property  $y$  und außerdem  $y$  mit der Property  $z$ , so verbindet `rdfs:subPropertyOf` auch  $x$  direkt mit  $z$ .

# RDFS-INTERPRETATIONEN



- Wenn  $\langle x, y \rangle \in I_{\text{EXT}}(\text{rdfs:subPropertyOf}^{\mathcal{I}})$ ,  
dann  $x, y \in IP$  und  $I_{\text{EXT}}(x) \subseteq I_{\text{EXT}}(y)$ .  
Wird  $x$  mit  $y$  durch `rdfs:subPropertyOf` verbunden, dann sind sowohl  $x$  als auch  $y$  Property's und jedes in der Extension von  $x$  enthaltene Ressourcenpaar ist auch in der Extension von  $y$  enthalten.
- Wenn  $x \in IC$ ,  
dann  $\langle x, \text{rdfs:Resource}^{\mathcal{I}} \rangle \in I_{\text{EXT}}(\text{rdfs:subClassOf}^{\mathcal{I}})$ .  
Bezeichnet  $x$  eine Klasse, dann muss es eine Unterklasse der Klasse aller Ressourcen sein, d.h., das Paar aus  $x$  und `rdfs:Resource` ist in der Extension von `rdfs:subClassOf`.
- Wenn  $\langle x, y \rangle \in I_{\text{EXT}}(\text{rdfs:subClassOf}^{\mathcal{I}})$ ,  
dann  $x, y \in IC$  und  $I_{\text{CEXT}}(x) \subseteq I_{\text{CEXT}}(y)$ .  
Stehen  $x$  und  $y$  in der `rdfs:subClassOf`-Beziehung, sind sowohl  $x$  als auch  $y$  Klassen und die (Klassen-)Extension von  $x$  ist Teilmenge der (Klassen-)Extension von  $y$ .
- $I_{\text{EXT}}(\text{rdfs:subClassOf}^{\mathcal{I}})$  ist reflexiv und transitiv auf  $IC$ .  
Die `rdfs:subClassOf`-Property verbindet jede Klasse mit sich selbst. Darüber hinaus folgt, wann immer diese Property Klasse  $x$  mit Klasse  $y$  und Klasse  $y$  mit Klasse  $z$  verbindet, dass sie  $x$  auch direkt mit  $z$  verbindet.

# RDFS-INTERPRETATIONEN



- Wenn  $x \in I_{\text{CEXT}}(\text{rdfs:ContainerMembershipProperty}^{\mathcal{I}})$ ,  
dann  $\langle x, \text{rdfs:member}^{\mathcal{I}} \rangle \in I_{\text{EXT}}(\text{rdfs:subPropertyOf}^{\mathcal{I}})$ .  
Ist  $x$  eine Property vom Typ `rdfs:ContainerMembershipProperty`,  
so steht sie in der `rdfs:subPropertyOf`-Beziehung zur `rdfs:memberProperty`.
- Wenn  $x \in I_{\text{CEXT}}(\text{rdfs:Datatype}^{\mathcal{I}})$ ,  
dann  $\langle x, \text{rdfs:Literal}^{\mathcal{I}} \rangle \in I_{\text{EXT}}(\text{rdfs:subClassOf}^{\mathcal{I}})$   
Ist ein  $x$  als Element der Klasse `rdfs:Datatype` „getypt“, dann muss  
dieses auch eine Unterklasse der Klasse aller Literalwerte (bezeichnet  
mit `rdfs:Literal`) sein.

- ...dazu kommen dann noch jede Menge  
weitere axiomatische Tripel:

# RDFS-INTERPRETATIONEN



rdf:type	rdfs:domain	rdfs:Resource .	rdfs:ContainerMembershipProperty		
rdfs:domain	rdfs:domain	rdf:Property .	rdfs:subClassOf	rdf:Property .	
rdfs:range	rdfs:domain	rdf:Property .	rdf:Alt	rdfs:subClassOf	rdfs:Container .
rdfs:subPropertyOf	rdfs:domain	rdf:Property .	rdf:Bag	rdfs:subClassOf	rdfs:Container .
rdfs:subClassOf	rdfs:domain	rdfs:Class .	rdf:Seq	rdfs:subClassOf	rdfs:Container .
rdf:subject	rdfs:domain	rdf:Statement .			
rdf:predicate	rdfs:domain	rdf:Statement .	rdfs:isDefinedBy	rdfs:subPropertyOf	rdfs:seeAlso .
rdf:object	rdfs:domain	rdf:Statement .			
rdfs:member	rdfs:domain	rdfs:Resource .	rdf:XMLLiteral	rdf:type	rdfs:Datatype .
rdf:first	rdfs:domain	rdf:List .	rdf:XMLLiteral	rdfs:subClassOf	rdfs:Literal .
rdf:rest	rdfs:domain	rdf:List .	rdfs:Datatype	rdfs:subClassOf	rdfs:Class .
rdfs:seeAlso	rdfs:domain	rdfs:Resource .			
rdfs:isDefinedBy	rdfs:domain	rdfs:Resource .	rdf:_1	rdf:type	
rdfs:comment	rdfs:domain	rdfs:Resource .		rdfs:ContainerMembershipProperty .	
rdfs:label	rdfs:domain	rdfs:Resource .	rdf:_1	rdfs:domain	rdfs:Resource .
rdf:value	rdfs:domain	rdfs:Resource .	rdf:_1	rdfs:range	rdfs:Resource .
			rdf:_2	rdf:type	
rdf:type	rdfs:range	rdfs:Class .		rdfs:ContainerMembershipProperty .	
rdfs:domain	rdfs:range	rdfs:Class .	rdf:_2	rdfs:domain	rdfs:Resource .
rdfs:range	rdfs:range	rdfs:Class .	rdf:_2	rdfs:range	rdfs:Resource .
rdfs:subPropertyOf	rdfs:range	rdf:Property .	...		
rdfs:subClassOf	rdfs:range	rdfs:Class .			
rdf:subject	rdfs:range	rdfs:Resource .			
rdf:predicate	rdfs:range	rdfs:Resource .			
rdf:object	rdfs:range	rdfs:Resource .			
rdfs:member	rdfs:range	rdfs:Resource .			
rdf:first	rdfs:range	rdfs:Resource .			
rdf:rest	rdfs:range	rdf:List .			
rdfs:seeAlso	rdfs:range	rdfs:Resource .			
rdfs:isDefinedBy	rdfs:range	rdfs:Resource .			
rdfs:comment	rdfs:range	rdfs:Literal .			
rdfs:label	rdfs:range	rdfs:Literal .			
rdf:value	rdfs:range	rdfs:Resource .			

# RDFS-FOLGERUNG



- automatische Folgerungen werden wieder über Ableitungsregeln realisiert:

$$\frac{}{u \ a \ x} \text{ rdfsax}$$

$$\frac{u \ \text{rdfs:subPropertyOf} \ v \ . \quad v \ \text{rdfs:subPropertyOf} \ x \ .}{u \ \text{rdfs:subPropertyOf} \ x \ .} \text{ rdfs5}$$

$$\frac{u \ \text{rdf:type} \ \text{rdfs:ContainerMembershipProperty} \ .}{u \ \text{rdfs:subPropertyOf} \ \text{rdfs:member} \ .} \text{ rdfs12}$$

$$\frac{u \ a \ \_ :n \ .}{u \ a \ l \ .} \text{ gl}$$

$$\frac{u \ \text{rdf:type} \ \text{rdf:Property} \ .}{u \ \text{rdfs:subPropertyOf} \ u \ .} \text{ rdfs6}$$

$$\frac{u \ \text{rdf:type} \ \text{rdfs:Datatype} \ .}{u \ \text{rdfs:subClassOf} \ \text{rdfs:Literal} \ .} \text{ rdfs13}$$

$$\frac{u \ a \ l \ .}{\_ :n \ \text{rdf:type} \ \text{rdfs:Literal} \ .} \text{ rdfs1}$$

$$\frac{a \ \text{rdfs:subPropertyOf} \ b \ . \quad u \ a \ y \ .}{u \ b \ y \ .} \text{ rdfs7}$$

$$\frac{a \ \text{rdfs:domain} \ x \ . \quad u \ a \ y \ .}{u \ \text{rdf:type} \ x \ .} \text{ rdfs2}$$

$$\frac{u \ \text{rdf:type} \ \text{rdfs:Class} \ .}{u \ \text{rdfs:subClassOf} \ \text{rdfs:Resource} \ .} \text{ rdfs8}$$

$$\frac{a \ \text{rdfs:range} \ x \ . \quad u \ a \ v \ .}{v \ \text{rdf:type} \ x \ .} \text{ rdfs3}$$

$$\frac{u \ \text{rdfs:subClassOf} \ x \ . \quad v \ \text{rdf:type} \ u \ .}{v \ \text{rdf:type} \ x \ .} \text{ rdfs9}$$

$$\frac{u \ a \ x \ .}{u \ \text{rdf:type} \ \text{rdfs:Resource} \ .} \text{ rdfs4a}$$

$$\frac{u \ \text{rdf:type} \ \text{rdfs:Class} \ .}{u \ \text{rdfs:subClassOf} \ u \ .} \text{ rdfs10}$$

$$\frac{u \ a \ v \ .}{v \ \text{rdf:type} \ \text{rdfs:Resource} \ .} \text{ rdfs4b}$$

$$\frac{u \ \text{rdfs:subClassOf} \ v \ . \quad v \ \text{rdfs:subClassOf} \ x \ .}{u \ \text{rdfs:subClassOf} \ x \ .} \text{ rdfs11}$$

# RDFS-FOLGERUNG



- wichtige Definition: XML-Clash

```
ex:hatSmiley          rdfs:range      rdf:Literal .  
ex:böseBemerkung     ex:hatSmiley    ">:->"^^XMLLiteral .
```

- tritt auf, wenn einem Knoten vom Typ `rdf:Literal` ein nicht-wohlgeformter Literalwert zugewiesen werden muss.

# RDFS-FOLGERUNG



- Satz: Ein Graph RDFS-folgt aus  $G_1$  genau dann, wenn es einen Graphen  $G_1'$  gibt, der durch Anwendung der Regeln lg, gl, rdfox, rdf1, rdf2, rdfs1 – rdfs13 und rdfsax aus  $G_1$  folgt, so dass
  - $G_2$  aus  $G_1'$  einfach folgt oder
  - $G_1'$  einen XML-Clash enthält.

# AGENDA



- Motivation
- Vorbetrachtungen
- einfache Folgerung
- RDF-Folgerung
- RDFS-Folgerung
- Unzulänglichkeiten von RDF(S)

# WAS KANN RDF(S) NICHT?



- bestimmte (vernünftig) scheinende Folgerungen können nicht RDFS-gefolgert werden, z.B.

```
ex:sprichtMit    rdfs:domain    ex:Homo .
ex:Homo         rdfs:subClassOf ex:Primates .
```

impliziert

```
ex:sprichtMit    rdfs:domain    ex:Primates .
```

- mögliche Lösung: noch stärkere, „extensionale“, Semantik
- keine Möglichkeit, Negation auszudrücken

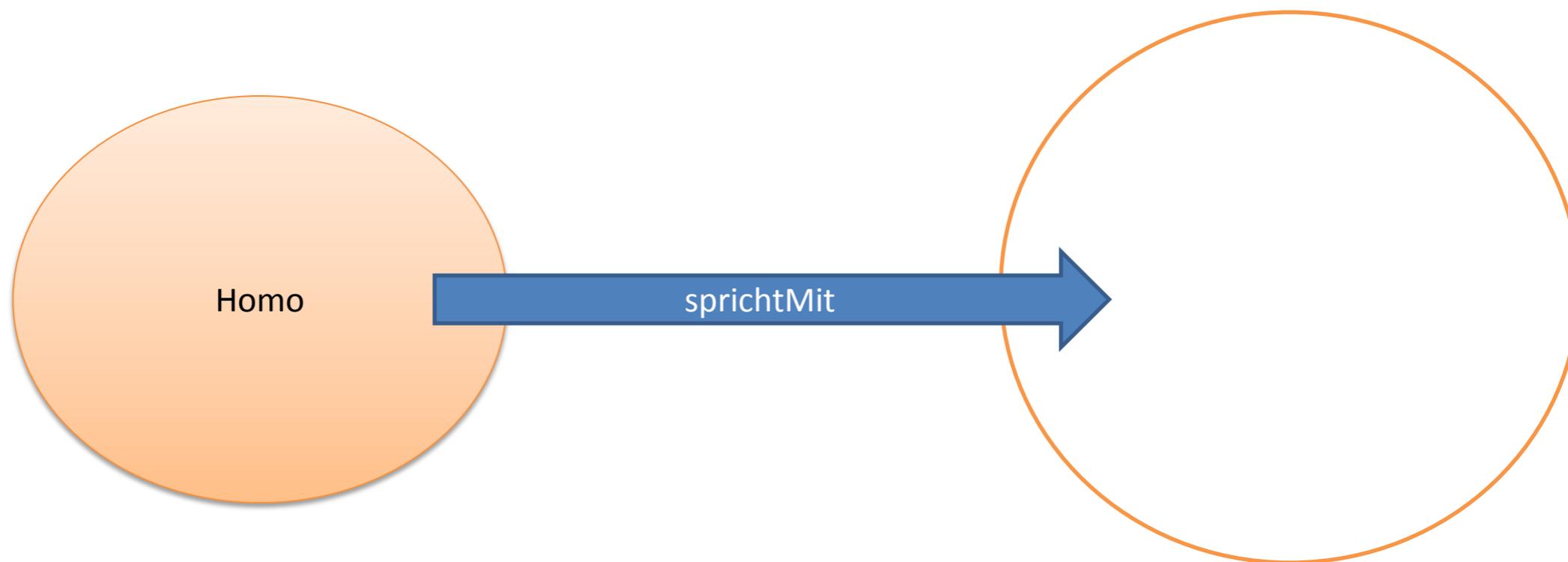
# Was kann RDF(S) nicht?



**ex:sprichtMit**

**rdfs:domain**

**ex:Home**



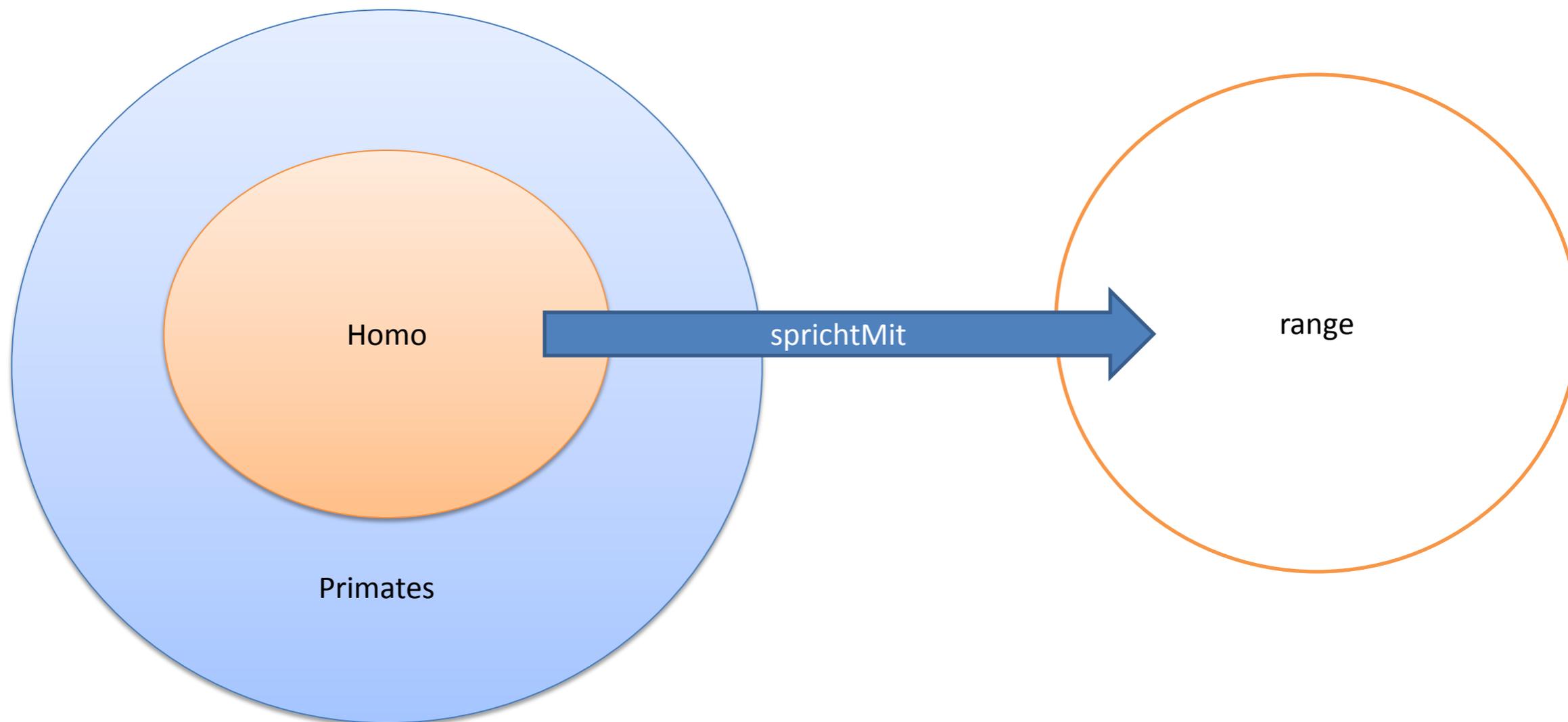
# Was kann RDF(S) nicht?



ex:sprichtMit  
ex:Homo

rdfs:domain  
rdfs:subClassOf

ex:Home  
ex:Primates



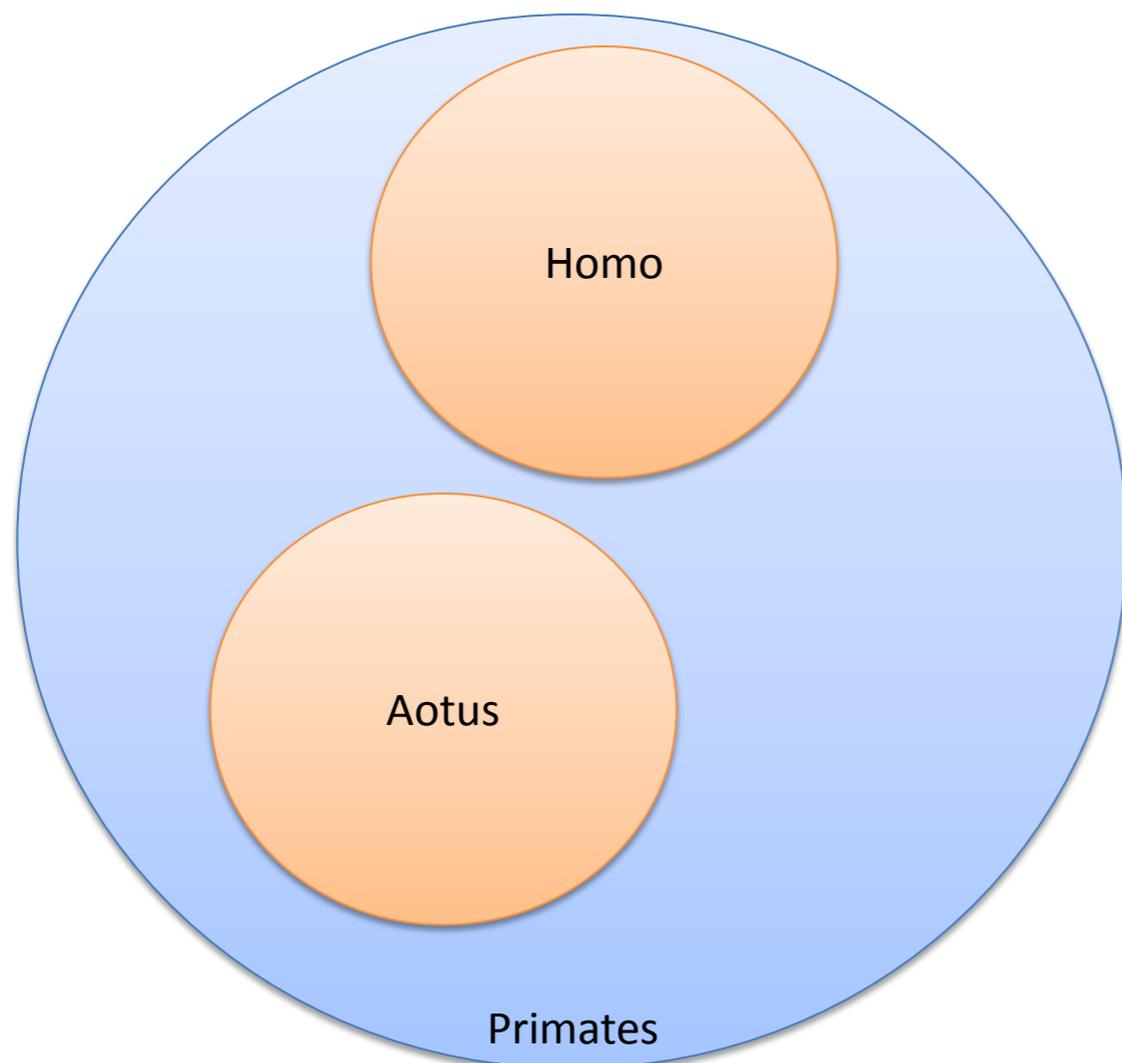
# Was kann RDF(S) nicht?



**ex:Home**  
**ex:Aotus**

**rdfs:subClassOf**  
**rdfs:subClassOf**

**ex:Primates**  
**ex:Primates**



# Was kann RDF(S) nicht?



ex:Home  
ex:Aotus

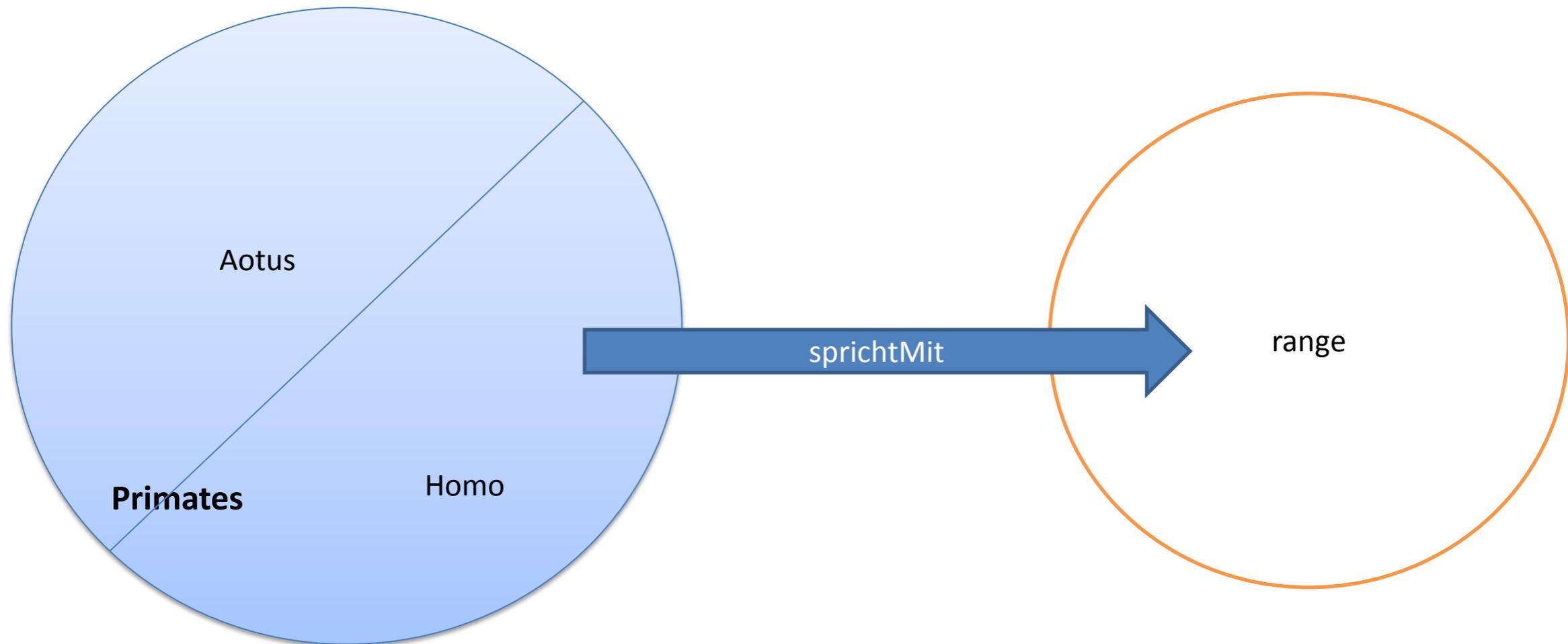
rdfs:subClassOf  
rdfs:subClassOf

ex:Primates  
ex:Primates

**ex:sprichtMit**

**rdfs:domain**

**ex:Primates**



# Was kann RDF(S) nicht?



ex:Home

ex:Aotus

ex:sprichtMit

rdfs:subClassOf

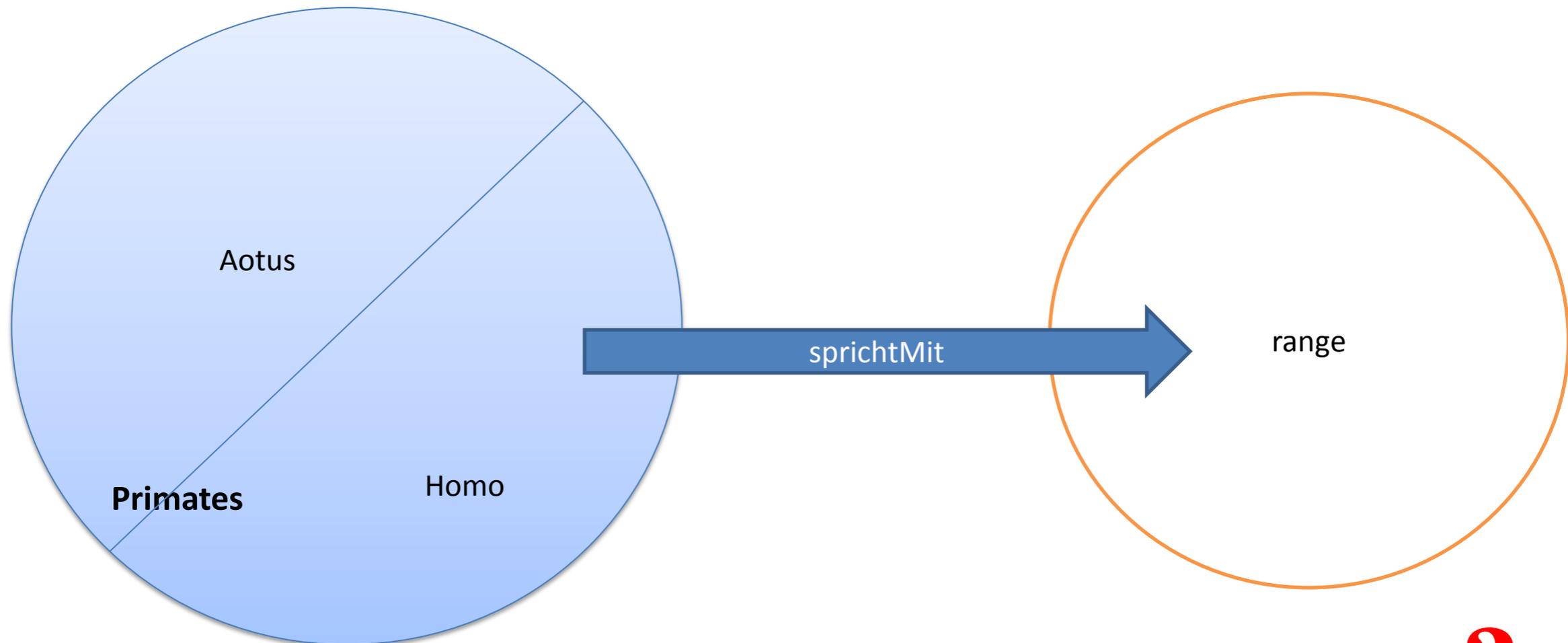
rdfs:subClassOf

rdfs:domain

ex:Primates

ex:Primates

ex:Primates



**ex:sprichtMit**

**rdfs:domain**

**ex:Home\_oder\_Aotus**



# Beispiel: RDF(S) Semantik



Gegeben Graph

1.	ex:Person	rdf:type	rdfs:Class .
2.	ex:tierVon	rdfs:subPropertyOf	ex:gehört.
3.	ex:tierVon	rdfs:domain	ex:Tier .
4.	ex:tierVon	rdfs:range	ex:Person .
5.	ex:Hund	rdfs:subClassOf	ex:Tier .
6.	ex:brian	rdf:type	ex:Tier .
7.	ex:brian	ex:tierVon	ex:peter .

Die folgenden Tripel aus dem gegebenen Graph RDFS-folgen?

a.	ex:brian	rdfs:type	rdfs:Resource .
b.	ex:brian	ex:gehört	ex:peter .
c.	ex:peter	rdf:type	ex:Person .

# Beispiel: RDF(S) Semantik



a. ex:brian

rdfs:type

rdfs:Resource .

Application of rdfs4a to triple 6 with  
u=ex:brian  
a=rdf:type  
x=ex:Tier

$$\frac{a \text{ rdfs:domain } x . \quad u \text{ a } y .}{u \text{ rdf:type } x .} \text{ rdfs2}$$

$$\frac{a \text{ rdfs:range } x . \quad u \text{ a } v .}{v \text{ rdf:type } x .} \text{ rdfs3}$$

$$\frac{u \text{ a } x .}{u \text{ rdf:type rdfs:Resource .}} \text{ rdfs4a}$$

$$\frac{u \text{ a } v .}{v \text{ rdf:type rdfs:Resource .}} \text{ rdfs4b}$$

$$\frac{u \text{ rdfs:subPropertyOf } v . \quad v \text{ rdfs:subPropertyOf } x .}{u \text{ rdfs:subPropertyOf } x .} \text{ rdfs5}$$

$$\frac{u \text{ rdf:type rdf:Property .}}{u \text{ rdfs:subPropertyOf } u .} \text{ rdfs6}$$

$$\frac{a \text{ rdfs:subPropertyOf } b . \quad u \text{ a } y .}{u \text{ b } y .} \text{ rdfs7}$$

$$\frac{u \text{ rdf:type rdfs:Class .}}{u \text{ rdfs:subClassOf rdfs:Resource .}} \text{ rdfs8}$$

$$\frac{u \text{ rdfs:subClassOf } x . \quad v \text{ rdf:type } u .}{v \text{ rdf:type } x .} \text{ rdfs9}$$

$$\frac{u \text{ rdf:type rdfs:Class .}}{u \text{ rdfs:subClassOf } u .} \text{ rdfs10}$$

$$\frac{\text{rdfs:subClassOf } v . \quad v \text{ rdfs:subClassOf } x .}{u \text{ rdfs:subClassOf } x .} \text{ rdfs11}$$

# Beispiel: RDF(S) Semantik



b. ex:brian

ex:gehört

ex:peter .

Application of rdfs7 to triple 2 and 7  
with

a=tierVon

b=ex:gehört

u=ex:brian

y=ex:peter

$$\frac{a \text{ rdfs:domain } x . \quad u \ a \ y .}{u \text{ rdf:type } x .} \text{ rdfs2}$$

$$\frac{a \text{ rdfs:range } x . \quad u \ a \ v .}{v \text{ rdf:type } x .} \text{ rdfs3}$$

$$\frac{u \ a \ x .}{u \text{ rdf:type rdfs:Resource } .} \text{ rdfs4a}$$

$$\frac{u \ a \ v .}{v \text{ rdf:type rdfs:Resource } .} \text{ rdfs4b}$$

$$\frac{u \text{ rdfs:subPropertyOf } v . \quad v \text{ rdfs:subPropertyOf } x .}{u \text{ rdfs:subPropertyOf } x .} \text{ rdfs5}$$

$$\frac{u \text{ rdf:type rdf:Property } .}{u \text{ rdfs:subPropertyOf } u .} \text{ rdfs6}$$

$$\frac{a \text{ rdfs:subPropertyOf } b . \quad u \ a \ y .}{u \ b \ y .} \text{ rdfs7}$$

$$\frac{u \text{ rdf:type rdfs:Class } .}{u \text{ rdfs:subClassOf rdfs:Resource } .} \text{ rdfs8}$$

$$\frac{u \text{ rdfs:subClassOf } x . \quad v \text{ rdf:type } u .}{v \text{ rdf:type } x .} \text{ rdfs9}$$

$$\frac{u \text{ rdf:type rdfs:Class } .}{u \text{ rdfs:subClassOf } u .} \text{ rdfs10}$$

$$\frac{\text{rdfs:subClassOf } v . \quad v \text{ rdfs:subClassOf } x .}{u \text{ rdfs:subClassOf } x .} \text{ rdfs11}$$

# Beispiel: RDF(S) Semantik



c. ex:peter

rdf:type

ex:Person .

Application of rdfs3 to triple 4 and 7  
with

a=ex:tierVon

x=ex:Person

u=ex:brian

v=ex:peter

$$\frac{a \text{ rdfs:domain } x . \quad u \text{ a } y .}{u \text{ rdf:type } x .} \text{ rdfs2}$$

$$\frac{a \text{ rdfs:range } x . \quad u \text{ a } v .}{v \text{ rdf:type } x .} \text{ rdfs3}$$

$$\frac{u \text{ a } x .}{u \text{ rdf:type rdfs:Resource .}} \text{ rdfs4a}$$

$$\frac{u \text{ a } v .}{v \text{ rdf:type rdfs:Resource .}} \text{ rdfs4b}$$

$$\frac{u \text{ rdfs:subPropertyOf } v . \quad v \text{ rdfs:subPropertyOf } x .}{u \text{ rdfs:subPropertyOf } x .} \text{ rdfs5}$$

$$\frac{u \text{ rdf:type rdf:Property .}}{u \text{ rdfs:subPropertyOf } u .} \text{ rdfs6}$$

$$\frac{a \text{ rdfs:subPropertyOf } b . \quad u \text{ a } y .}{u \text{ b } y .} \text{ rdfs7}$$

$$\frac{u \text{ rdf:type rdfs:Class .}}{u \text{ rdfs:subClassOf rdfs:Resource .}} \text{ rdfs8}$$

$$\frac{u \text{ rdfs:subClassOf } x . \quad v \text{ rdf:type } u .}{v \text{ rdf:type } x .} \text{ rdfs9}$$

$$\frac{u \text{ rdf:type rdfs:Class .}}{u \text{ rdfs:subClassOf } u .} \text{ rdfs10}$$

$$\frac{\text{rdfs:subClassOf } v . \quad v \text{ rdfs:subClassOf } x .}{u \text{ rdfs:subClassOf } x .} \text{ rdfs11}$$