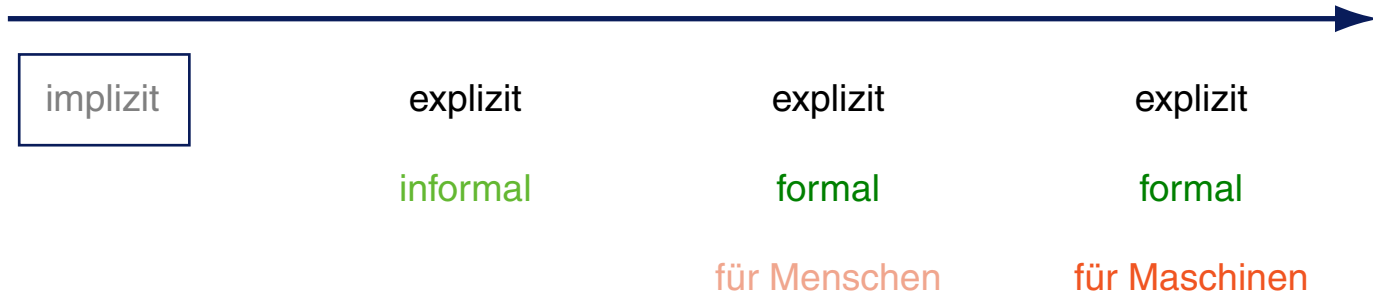


VIII. Semantic Web

- ❑ WWW heute
- ❑ Semantic Web Vision
- ❑ RDF: Einführung
- ❑ RDF: Konzepte
- ❑ RDF: XML-Serialisierung
- ❑ RDF: Anwendungen
- ❑ RDFS: Einführung
- ❑ RDFS: Konzepte
- ❑ **Semantik im Web**
- ❑ **Semantik von RDF/RDFS**
- ❑ **Ontologien**
- ❑ **OWL: Konzepte**
- ❑ **OWL: Logikhintergrund**
- ❑ **OWL: Anwendungen**

Semantik im Web

„The Semantic Continuum“



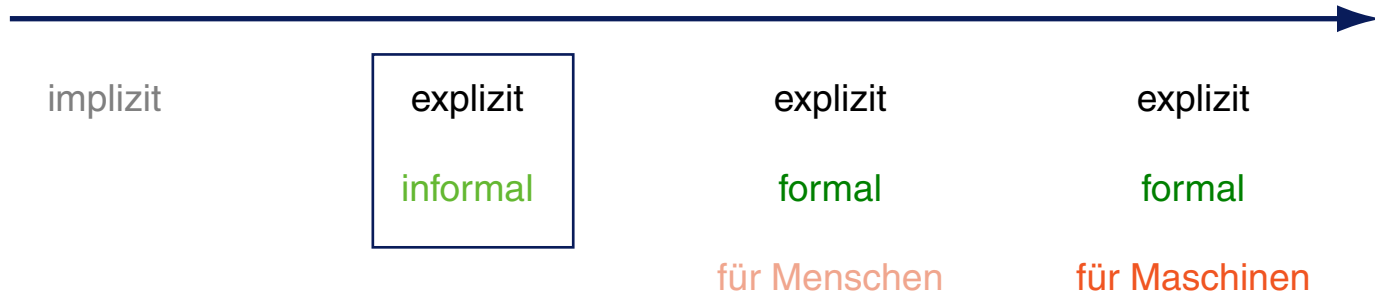
[vgl. Uschold 2002]

Implizite, kontextabhängige Semantik:

- Beispiel: „sprechende“ XML-Tags

Semantik im Web

„The Semantic Continuum“



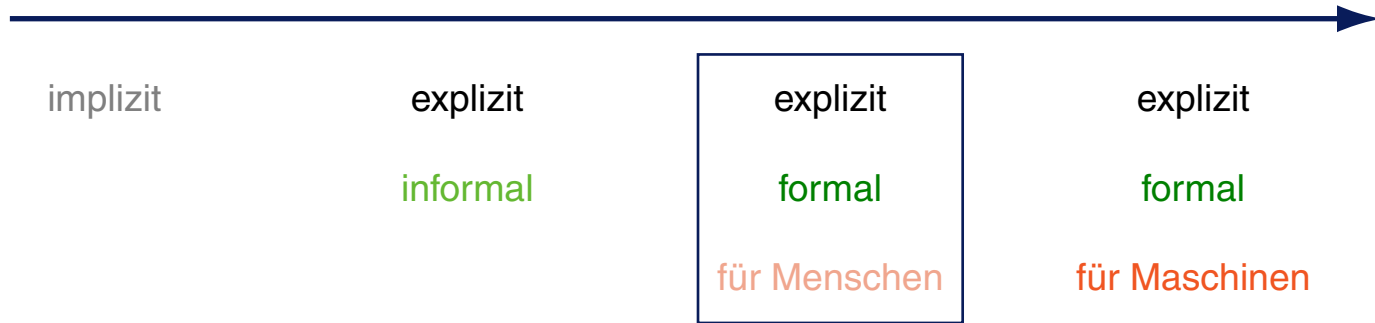
[vgl. Uschold 2002]

Informale Sprache mit expliziter Semantik:

- Beispiele: Bedienungsanleitung, Glossar, Java-Doc

Semantik im Web

„The Semantic Continuum“



[vgl. Uschold 2002]

Formale Sprache mit expliziter Semantik:

- Beispiel: XML-Schema, Ontologie

Bemerkungen:

- ❑ Aristoteles entdeckte – in der strengen Satzform der Syllogismen – den Folgerungsbegriff als Teil unseres (westlichen) Denkens, der sich in der *natürlichen Sprache* widerspiegelt. Er begründete die Logik vornehmlich als eine Theorie des Schlussfolgerns, an die sich folgerichtiges Denken und Argumentieren zu halten hat.
- ❑ Der Folgerungsbegriff für *formale Sprachen* wird in der Modelltheorie auf Basis von Interpretationen definiert, die Wahrheitsbedingungen für Ausdrücke der Sprache beschreiben. Dabei leitet sich die Wahrheit eines Satzes der formalen Sprache rekursiv aus der Wahrheit seiner Bestandteile ab. Stichwort: Tarski-Semantik
- ❑ Der modelltheoretische Folgerungsbegriff fordert einen Zusammenhang zwischen Prämissen und Konklusion, der unter *allen Interpretationen* Bestand hat. Dadurch wird der Folgerungsbegriff unabhängig von konkreten Interpretationen und deshalb automatisierbar.
- ❑ Eine Sprache, in der sich der Wahrheitswert ganzer Sätze auf Basis der Wahrheitwerte ihrer Symbole *in eindeutiger Weise* berechnen lässt, kann man zum Axiomatisieren (= Beschreiben der Welt) und zum automatischen Schlussfolgern benutzen. Einigen sich Mensch und Rechner auf eine solche Sprache, so sind ihre Schlussfolgerungen diesselben – beziehungsweise: der Rechner kann den Schlussfolgerungsprozess des Menschen nachbilden.

Semantik im Web

Schlussfolgerungsprozess auf Rechner übertragbar

Wissen (und wie es maschinell handhabbar gemacht werden kann)

→ Wissensrepräsentation

→ Semantische Netze

→ Begriffshierarchien, Ontologien

→ Schlussfolgern über Ontologien

→ Prädikatenlogik, Frame-Logik, Beschreibungslogik

→ Kalküle, Inferenzsysteme, Regelverarbeitung

→ Korrektheit, Vollständigkeit, Entscheidbarkeit, Effizienz

Semantik von RDF/RDFS

Beispiel 1 [vgl. [RDF/RDFS-Graph](#)]

```
<rdfs:Class rdf:about="http://www.buw.de/lecturer">  
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.buw.de/teaching-staff" />  
</rdfs:Class>
```

Semantik von RDF/RDFS

Beispiel 1 [vgl. [RDF/RDFS-Graph](#)]

```
<rdfs:Class rdf:about="http://www.buw.de/lecturer">  
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.buw.de/teaching-staff"/>  
</rdfs:Class>
```

Axiomatische Formulierung der Semantik:

$$\forall x \textit{Type}(x, \textit{lecturer}) \rightarrow \textit{Type}(x, \textit{teaching-staff})$$

$$\forall x \textit{SubClassOf}(x, \textit{lecturer}) \rightarrow \textit{SubClassOf}(x, \textit{teaching-staff})$$

Semantik von RDF/RDFS

Beispiel 1 [vgl. [RDF/RDFS-Graph](#)]

```
<rdfs:Class rdf:about="http://www.buw.de/lecturer">  
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.buw.de/teaching-staff"/>  
</rdfs:Class>
```

Axiomatische Formulierung der Semantik:

$$\forall x \text{ Type}(x, \text{lecturer}) \rightarrow \text{Type}(x, \text{teaching-staff})$$

$$\forall x \text{ SubClassOf}(x, \text{lecturer}) \rightarrow \text{SubClassOf}(x, \text{teaching-staff})$$

```
<rdf:Description rdf:about="http://www.buw.de/Benno-Stein">  
  <rdf:type rdf:resource="http://www.buw.de/lecturer"/>  
</rdf:Description>
```

Formulierung als Grundprädikat:

$$\text{Type}(\text{Benno-Stein}, \text{lecturer})$$

Semantik von RDF/RDFS

Beispiel 1 [vgl. [RDF/RDFS-Graph](#)]

```
<rdfs:Class rdf:about="http://www.buw.de/lecturer">  
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.buw.de/teaching-staff"/>  
</rdfs:Class>
```

Axiomatische Formulierung der Semantik:

$$\forall x \text{ Type}(x, \text{lecturer}) \rightarrow \text{Type}(x, \text{teaching-staff})$$

$$\forall x \text{ SubClassOf}(x, \text{lecturer}) \rightarrow \text{SubClassOf}(x, \text{teaching-staff})$$

```
<rdf:Description rdf:about="http://www.buw.de/Benno-Stein">  
  <rdf:type rdf:resource="http://www.buw.de/lecturer"/>  
</rdf:Description>
```

Formulierung als Grundprädikat:

$$\text{Type}(\text{Benno-Stein}, \text{lecturer})$$

Auf Basis der RDF/RDFS-Semantik **schlussfolgerbar**:

$$\text{Type}(\text{Benno-Stein}, \text{teaching-staff})$$

Semantik von RDF/RDFS

Beispiel 2 [vgl. [RDF/RDFS-Graph](#)]

```
<rdfs:Property rdf:about="http://www.buw.de/isTaughtBy">  
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.buw.de/course" />  
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.buw.de/lecturer" />  
</rdfs:Property>
```

Semantik von RDF/RDFS

Beispiel 2 [vgl. [RDF/RDFS-Graph](#)]

```
<rdfs:Property rdf:about="http://www.buw.de/isTaughtBy">  
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.buw.de/course" />  
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.buw.de/lecturer" />  
</rdfs:Property>
```

Axiomatische Formulierung der Semantik:

$$\forall x \forall y \text{ IsTaughtBy}(x, y) \rightarrow (\text{Type}(x, \text{course}) \wedge \text{Type}(y, \text{lecturer}))$$

Semantik von RDF/RDFS

Beispiel 2 [vgl. [RDF/RDFS-Graph](#)]

```
<rdfs:Property rdf:about="http://www.buw.de/isTaughtBy">  
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.buw.de/course" />  
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.buw.de/lecturer" />  
</rdfs:Property>
```

Axiomatische Formulierung der Semantik:

$$\forall x \forall y \text{ IsTaughtBy}(x, y) \rightarrow (\text{Type}(x, \text{course}) \wedge \text{Type}(y, \text{lecturer}))$$

```
<rdf:Description rdf:about="http://www.buw.de/webTec-II">  
  <buw:isTaughtBy rdf:resource="http://www.buw.de/Benno-Stein" />  
</rdf:Description>
```

Formulierung als Grundprädikat:

IsTaughtBy(webTec-II, Benno-Stein)

Semantik von RDF/RDFS

Beispiel 2 [vgl. [RDF/RDFS-Graph](#)]

```
<rdfs:Property rdf:about="http://www.buw.de/isTaughtBy">  
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.buw.de/course" />  
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.buw.de/lecturer" />  
</rdfs:Property>
```

Axiomatische Formulierung der Semantik:

$$\forall x \forall y \text{ IsTaughtBy}(x, y) \rightarrow (\text{Type}(x, \text{course}) \wedge \text{Type}(y, \text{lecturer}))$$

```
<rdf:Description rdf:about="http://www.buw.de/webTec-II">  
  <buw:isTaughtBy rdf:resource="http://www.buw.de/Benno-Stein" />  
</rdf:Description>
```

Formulierung als Grundprädikat:

$$\text{IsTaughtBy}(\text{webTec-II}, \text{Benno-Stein})$$

Schlussfolgerbar:

$$\text{Type}(\text{webTec-II}, \text{course}), \text{Type}(\text{Benno-Stein}, \text{lecturer})$$

Semantik von RDF/RDFS

Axiomatische Formulierung der Semantik von RDFS

□ `rdf:type`, `rdfs:subClassOf`

$$\forall x \forall y \forall z \text{ Type}(x, y) \wedge \text{SubClassOf}(y, z) \rightarrow \text{Type}(x, z)$$

$$\forall x \forall y \forall z \text{ SubClassOf}(x, y) \wedge \text{SubClassOf}(y, z) \rightarrow \text{SubClassOf}(x, z)$$

□ `rdfs:subPropertyOf`

$$\forall x \forall y \forall z \text{ SubPropertyOf}(x, y) \wedge \text{SubPropertyOf}(y, z) \rightarrow \text{SubPropertyOf}(x, z)$$

$$\forall x \forall y \forall z \forall v \text{ Statement}(x, y, z) \wedge \text{SubPropertyOf}(y, v) \rightarrow \text{Statement}(x, v, z)$$

□ ...

Bemerkungen:

- ❑ Die hier vorgestellte Axiomatierung ist nicht vollständig; eine ausführlichere Darstellung kann in [Champin 2000] oder in [Antoniou/Harmelen 2004] gefunden werden.
- ❑ Jede Axiomatisierung der Semantik von RDF/RDFS basiert auf der in <http://www.w3.org/TR/rdf-mt/> vereinbarten modelltheoretischen Semantik.
- ❑ Auf Basis der axiomatischen Semantik von RDF/RDFS kann man mit Beweissystemen (Kalkülen) der Prädikatenlogik Folgerungen herleiten bzw. die Wahrheit von Formeln unter der Annahme der Wahrheit der Axiome beweisen. Da jedoch nur ein Teil der Mächtigkeit der Prädikatenlogik in der Axiomatisierung ausgenutzt wird, stellen entsprechende Kalküle einen „Overkill“ dar – zumal ihre Anwendung erhebliche Komplexitätsprobleme mit sich bringt.
- ❑ Eine weitere Möglichkeit zur Spezifikation der Semantik von RDF/RDFS besteht in der Angabe einer Menge spezieller Inferenzregeln, die auf RDF/RDFS zugeschnitten sind und für die die Vollständigkeit und Korrektheit bzgl. der Semantik von RDF/RDFS gezeigt wurde. Man kann in diesem Zusammenhang von einem speziellen RDF/RDFS-*Kalkül* bzw. RDF/RDFS-*Inferenzsystem* sprechen.

Semantik von RDF/RDFS

Inferenzregeln zur Operationalisierung der Semantik

Schema der Inferenz-Regeln:

IF E contains $\langle triple \rangle$ [and $\langle triple \rangle$]
THEN add to E $\langle triple \rangle$

Semantik von RDF/RDFS

Inferenzregeln zur Operationalisierung der Semantik

Schema der Inferenz-Regeln:

IF E contains $\langle triple \rangle$ [and $\langle triple \rangle$]
THEN add to E $\langle triple \rangle$

Beispiele:

IF E contains (x, p, y)
THEN add to E $(p, \text{rdf : type}, \text{rdf : property})$

Semantik von RDF/RDFS

Inferenzregeln zur Operationalisierung der Semantik

Schema der Inferenz-Regeln:

IF E contains $\langle triple \rangle$ [and $\langle triple \rangle$]
THEN add to E $\langle triple \rangle$

Beispiele:

IF E contains (x, p, y)
THEN add to E $(p, \text{rdf} : \text{type}, \text{rdf} : \text{property})$

IF E contains $(u, \text{rdfs} : \text{subClassOf}, v)$
and $(v, \text{rdfs} : \text{subClassOf}, w)$
THEN add to E $(u, \text{rdfs} : \text{subClassOf}, w)$

Semantik von RDF/RDFS

Inferenzregeln zur Operationalisierung der Semantik

Schema der Inferenz-Regeln:

IF E contains $\langle triple \rangle$ [and $\langle triple \rangle$]
THEN add to E $\langle triple \rangle$

Beispiele:

IF E contains (x, p, y)
THEN add to E $(p, \text{rdf} : \text{type}, \text{rdf} : \text{property})$

IF E contains $(u, \text{rdfs} : \text{subClassOf}, v)$
and $(v, \text{rdfs} : \text{subClassOf}, w)$
THEN add to E $(u, \text{rdfs} : \text{subClassOf}, w)$

IF E contains $(x, \text{rdfs} : \text{type}, u)$
and $(u, \text{rdfs} : \text{subClassOf}, v)$
THEN add to E $(x, \text{rdf} : \text{type}, v)$

Bemerkungen:

- ❑ E bezeichnet eine Menge beliebiger RDF-Tripel.
- ❑ Eine Menge von Inferenzregeln bezeichnet man als Kalkül.

Semantik von RDF/RDFS

Grundlagen der Logik

Die Semantik von Schlussfolgerungsprozessen kann durch Rechner nachgebildet werden. In diesem Zusammenhang spielen insbesondere folgende Begriffe der Logik eine Rolle:

1. *Objektebene*. Syntax / Grammatik einer formalen Sprache
2. *Objektebene*. Semantik / Interpretation einer formalen Sprache
3. *Metaebene*. Schlussfolgern über Sätze einer formale Sprache

Mechanisierung bzw. Automatisierung des Schlussfolgerns:

- ❑ Kalkül
- ❑ Korrektheit und Vollständigkeit eines Kalküls
- ❑ Entscheidbarkeit

Semantik von RDF/RDFS

Grundlagen der Logik

Aufbau einer Logik-Vorlesung [vgl. [Logik](#) Lettmann/Stein] :

1. Aussagenlogik:

- Syntax
- Semantik
- Folgerungsbegriff
- Formeltransformation
- Normalformen
- Erfüllbarkeitsalgorithmen
- semantische Bäume
- syntaktische Schlussfolgerungsverfahren
- Erfüllbarkeitsprobleme

Semantik von RDF/RDFS

Grundlagen der Logik

Aufbau einer Logik-Vorlesung [vgl. [Logik](#) Lettmann/Stein] :

1. Aussagenlogik:

- Syntax
- Semantik
- Folgerungsbegriff
- Formeltransformation
- Normalformen
- Erfüllbarkeitsalgorithmen
- semantische Bäume
- syntaktische Schlussfolgerungsverfahren
- Erfüllbarkeitsprobleme

2. Prädikatenlogik:

- Syntax
- Semantik
- Äquivalenzen
- Normalformen
- Standarderfüllbarkeit
- prädikatenlogische Resolution

Semantik von RDF/RDFS

Quellen zum Nachlernen und Nachschlagen im Web

- ❑ E. Franconi. Tutorien für Aussagen-, Prädikaten- und Beschreibungslogik.
<http://www.inf.unibz.it/franconi/dl/course>
- ❑ P. Hayes, Ed. *RDF Semantics*. W3C Recommendation.
<http://www.w3.org/TR/rdf-mt>