



# Einführung in RDF

Dr. Sebastian Rudolph, 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

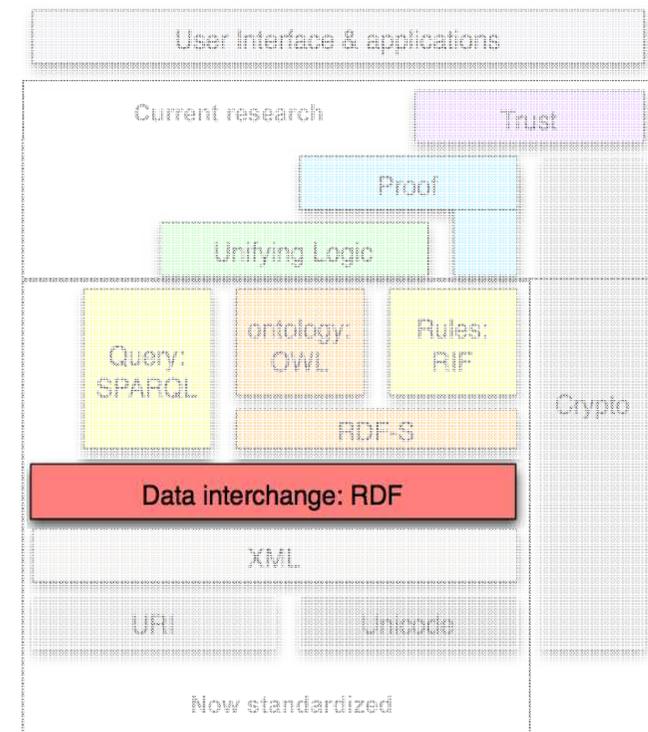
Konjunktive Anfragen / Einführung Regelsprachen

Regeln für OWL

Ontology Engineering

Semantic Web - Anwendungen

## Semantic Web Architecture



# Agenda



- Motivation
- RDF-Datenmodell
- Syntax für RDF: Turtle und XML
- Datentypen
- mehrwertige Beziehungen
- leere Knoten
- Listen
- Linked Data

# Agenda

- Motivation
- RDF-Datenmodell
- Syntax für RDF: Turtle und XML
- Datentypen
- mehrwertige Beziehungen
- leere Knoten
- Listen
- Vernetzte Daten

# Unzulänglichkeiten von XML



- Tag-Namen ambig (durch Namespaces und URIs behebbar)
- Baumstruktur nicht optimal für
  - intuitive Beschreibung der Daten
  - Informationsintegration
- Beispiel: wie kodiert man in einem Baum den Fakt:  
"Das Buch 'Semantic Web - Grundlagen' wird beim Springer-Verlag verlegt"?

# Modellierungsprobleme in XML

AIFB 

"Das Buch 'Semantic Web - Grundlagen' wird  
beim Springer-Verlag verlegt"

```
<Verlegt>  
<Verlag>Springer-Verlag</Verlag>  
<Buch>Semantic Web - Grundlagen</Buch>  
</Verlegt>
```

```
<Verlag Name="Springer-Verlag">  
<Verlegt Buch="Semantic Web - Grundlagen" />  
</Verlag>
```

```
<Buch Name="Semantic Web - Grundlagen">  
<Verleger Verlag="Springer-Verlag" />  
</Buch>
```

etc. ....

# RDF: Graphen statt Bäume

AIFB 

- Lösung: Darstellung durch (gerichtete Graphen)



# Agenda

- Motivation
- **RDF-Datenmodell**
- Syntax für RDF: Turtle und XML
- Datentypen
- mehrwertige Beziehungen
- leere Knoten
- Listen
- Vernetzte Daten

# Allgemeines zu RDF

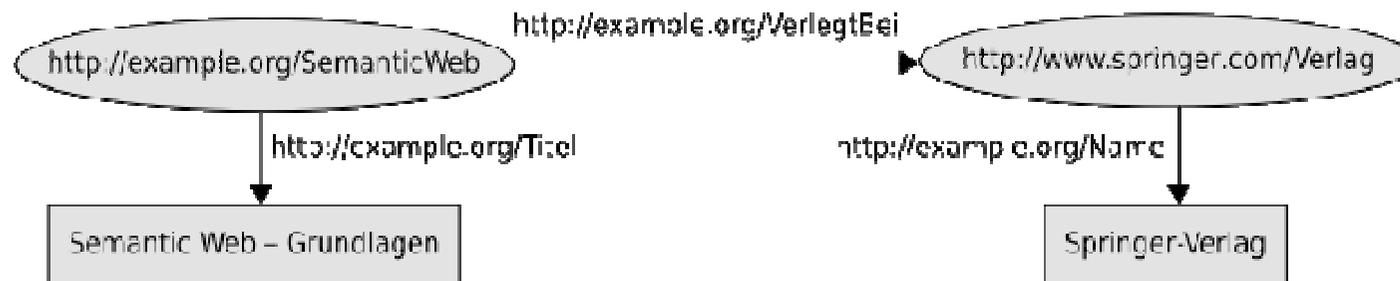
- “Resource Description Framework”
- W3C Recommendation  
(<http://www.w3.org/RDF>)
- RDF ist ein Datenmodell
  - ursprünglich: zur Angabe von Metadaten für Web-Ressourcen, später allgemeiner
  - kodiert strukturierte Informationen
  - universelles, maschinenlesbares Austauschformat

# Bestandteile von RDF-Graphen

- URIs
  - zur eindeutigen Referenzierung von Ressourcen
  - bereits im Rahmen von XML behandelt
- Literale
  - beschreiben Datenwerte denen keine separate Existenz zukommt
- leere Knoten
  - erlauben Existenzaussagen über ein Individuum mit gewissen Eigenschaften ohne es zu benennen

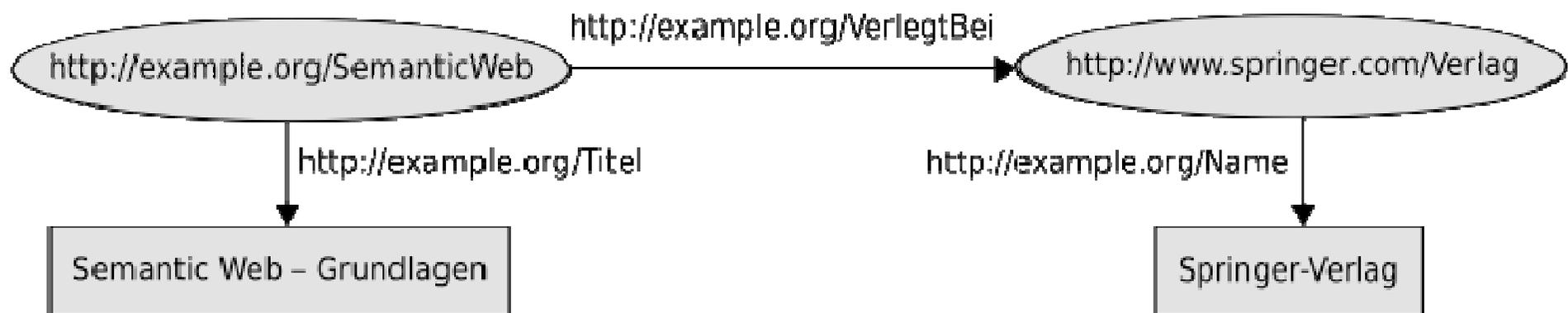
# Literale

- zur Repräsentation von Datenwerten
- Darstellung als Zeichenketten
- Interpretation erfolgt durch *Datentyp*
- Literale ohne Datentyp werden wie Zeichenketten behandelt



# Graph als Menge von Tripeln

- verschiedene Darstellungsmöglichkeiten für Graphen
- hier verwendet: Liste von (Knoten-Kante-Knoten)-Tripeln



# RDF-Tripel

- Bestandteile eines RDF-Tripels



- angelehnt an linguistische Kategorien, aber nicht immer stimmig
- erlaubte Belegungen:  
Subjekt : URI oder leerer Knoten  
Prädikat: URI            (auch Property genannt)  
Objekt : URI oder leerer Knoten oder Literal
- Knoten- und Kantenbezeichner eindeutig, daher ursprünglicher Graph aus Tripel-Liste rekonstruierbar

# Agenda



- Motivation
- RDF-Datenmodell
- **Syntax für RDF: Turtle und XML**
- Datentypen
- mehrwertige Beziehungen
- leere Knoten
- Listen
- Vernetzte Daten

# Einfache Syntax für RDF



- direkte Auflistung der Tripel:
  - N3: "Notation 3" - umfangreicher Formalismus
  - N-Triples: Teil von N3
  - Turtle: Erweiterung von N-Triples (Abkürzungen)
- Syntax in Turtle:
  - URIs in spitzen Klammern
  - Literale in Anführungszeichen
  - Tripel durch Punkt abgeschlossen
  - Leerzeichen und Zeilenumbrüche außerhalb von Bezeichnern werden ignoriert

# Turtle Syntax: Abkürzungen

- Beispiel

```
<http://example.org/SemanticWeb>
  <http://example.org/VerlegtBei> <http://springer.com/Verlag> .
<http://example.org/SemanticWeb>
  <http://example.org/Titel> "Semantic Web - Grundlagen" .
<http://springer.com/Verlag>
  <http://example.org/Name> "Springer-Verlag" .
```

- auch in Turtle können Abkürzungen für Präfixe festgelegt werden:

```
@prefix ex: <http://example.org/> .
@prefix springer: <http://springer.com/> .

ex:SemanticWeb    ex:VerlegtBei    springer:Verlag .
ex:SemanticWeb    ex:Titel        "Semantic Web - Grundlagen" .
springer:Verlag   ex:Name        "Springer-Verlag" .
```

# Turtle Syntax: Abkürzungen



- mehrere Tripel mit gleichem Subjekt kann man zusammenfassen:

```
@prefix ex: <http://example.org/> .
@prefix springer: <http://springer.com/> .

ex:SemanticWeb    ex:VerlegtBei    springer:Verlag ;
                  ex:Titel        "Semantic Web - Grundlagen" .
springer:Verlag   ex:Name          "Springer-Verlag", "Springer" .
```

- ebenso Tripel mit gleichem Subjekt und Prädikat:

```
@prefix ex: <http://example.org/> .

ex:SemanticWeb ex:Autor ex:Hitzler, ex:Krötzsch, ex:Rudolph, ex:Sure ;
               ex:Titel "Semantic Web - Grundlagen" .
```

# XML-Syntax von RDF

- Turtle intuitiv gut lesbar und maschinenverarbeitbar
- aber: bessere Tool-Unterstützung und Programmbibliotheken für XML
- daher: XML-Syntax am verbreitetsten

# XML-Syntax von RDF



- wie in XML werden Namensräume eingesetzt, um Tagnamen zu disambiguieren
- RDF-eigene tags haben einen festgelegten Namensraum, der Bezeichner ist standardmäßig 'rdf'

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
        xmlns:ex ="http://example.org/">

  <rdf:Description rdf:about="http://example.org/SemanticWeb">
    <ex:VerlegtBei>
      <rdf:Description rdf:about="http://springer.com/Verlag">
        </rdf:Description>
      </ex:VerlegtBei>
    </rdf:Description>

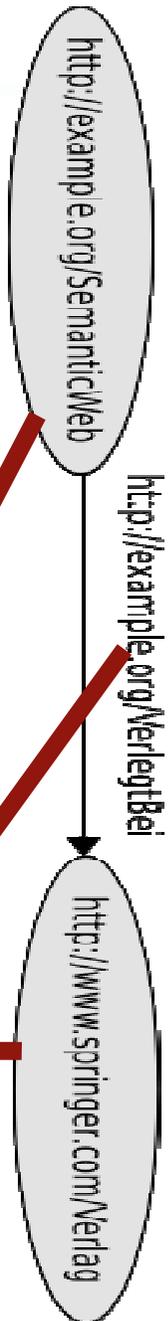
  </rdf:RDF>
```

# XML-Syntax von RDF

AIFB 

- Das `rdf:Description`-Element kodiert das Subjekt (dessen URI wird als Wert des zugehörigen `rdf:about`-Attributs angegeben).
- Jedes geschachtelt im `rdf:Description`-Element enthaltene Element steht für ein Prädikat (dessen URI ist der Elementname), das wiederum das Tripel-Objekt als `rdf:Description`-Element enthält.

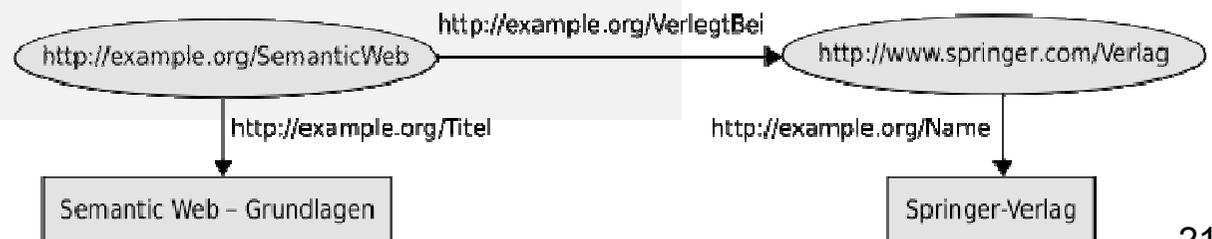
```
<rdf:Description rdf:about="http://example.org/SemanticWeb">  
  <ex:VerlegtBei>  
    <rdf:Description rdf:about="http://springer.com/Verlag">  
      </rdf:Description>  
    </ex:VerlegtBei>  
</rdf:Description>
```



# XML-Syntax von RDF

- ungetypte Literale können als Freitext in das Prädikatelement eingeschlossen werden
- Verkürzte Darstellung erlaubt:
  - ein Subjekt enthält mehrere Property-Elemente
  - eine Objekt-Description dient als Subjekt für ein weiteres Tripel

```
<rdf:Description rdf:about="http://example.org/SemanticWeb">  
  <ex:Titel>Semantic Web - Grundlagen</ex:Titel>  
  <ex:VerlegtBei>  
    <rdf:Description rdf:about="http://springer.com/Verlag">  
      <ex:Name>Springer-Verlag</ex:Name>  
    </rdf:Description>  
  </ex:VerlegtBei>  
</rdf:Description>
```

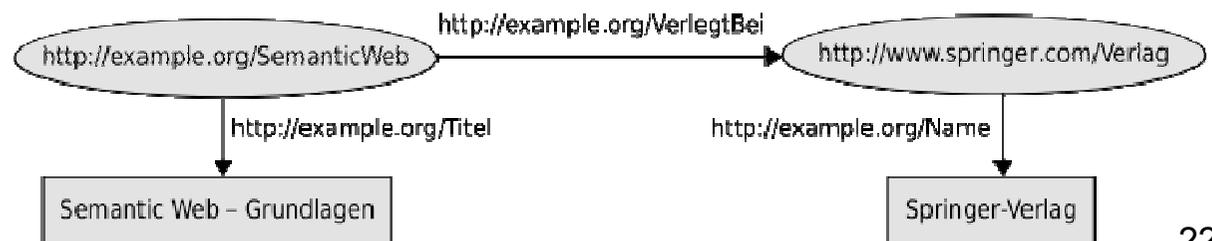


# XML-Syntax von RDF



- Alternative (aber semantisch gleichwertige) Darstellung für Literale als XML-Attribute
- Attributnamen sind dann die Property-URIs
- Angabe von Objekt-URIs als Wert des `rdf:resource`-Attributs innerhalb eines Property-Tags

```
<rdf:Description rdf:about="http://example.org/SemanticWeb"  
    ex:Titel= "Semantic Web - Grundlagen">  
  <ex:VerlegtBei rdf:resource="http://springer.com/Verlag" />  
</rdf:Description>  
<rdf:Description rdf:about="http://springer.com/Verlag"  
    ex:Name="Springer-Verlag" />
```



# RDF/XML-Syntax: Komplikationen



- Namensräume sind essentiell (nicht nur Abkürzung), da in XML-Elementen und -Attributen keine Doppelpunkte zulässig, die keine Namensräume kodieren
- Problem: in XML keine Namensräume in Attributwerten möglich (würde im Sinne eines URI-Schemas interpretiert), also z.B. verboten:

```
rdf:about="ex:SemanticWeb"
```

- "Workaround" via XML-Entitäten:  
Deklaration:

```
<!ENTITY ex 'http://example.org/'>
```

Verwendung:

```
rdf:resource="&ex;SemanticWeb"
```

# RDF/XML-Syntax: Basis-URIs



- Arbeit mit Basis-URIs:

```
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
         xml:base="http://www.example.org/" >

  <rdf:Description rdf:about="SemanticWeb">
    <ex:VerlegtBei rdf:resource="http://springer.com/Verlag" />
  </rdf:Description>

</rdf:RDF>
```

- Erkennung relativer URIs an Abwesenheit eines Schemateils

# Agenda

AIFB 

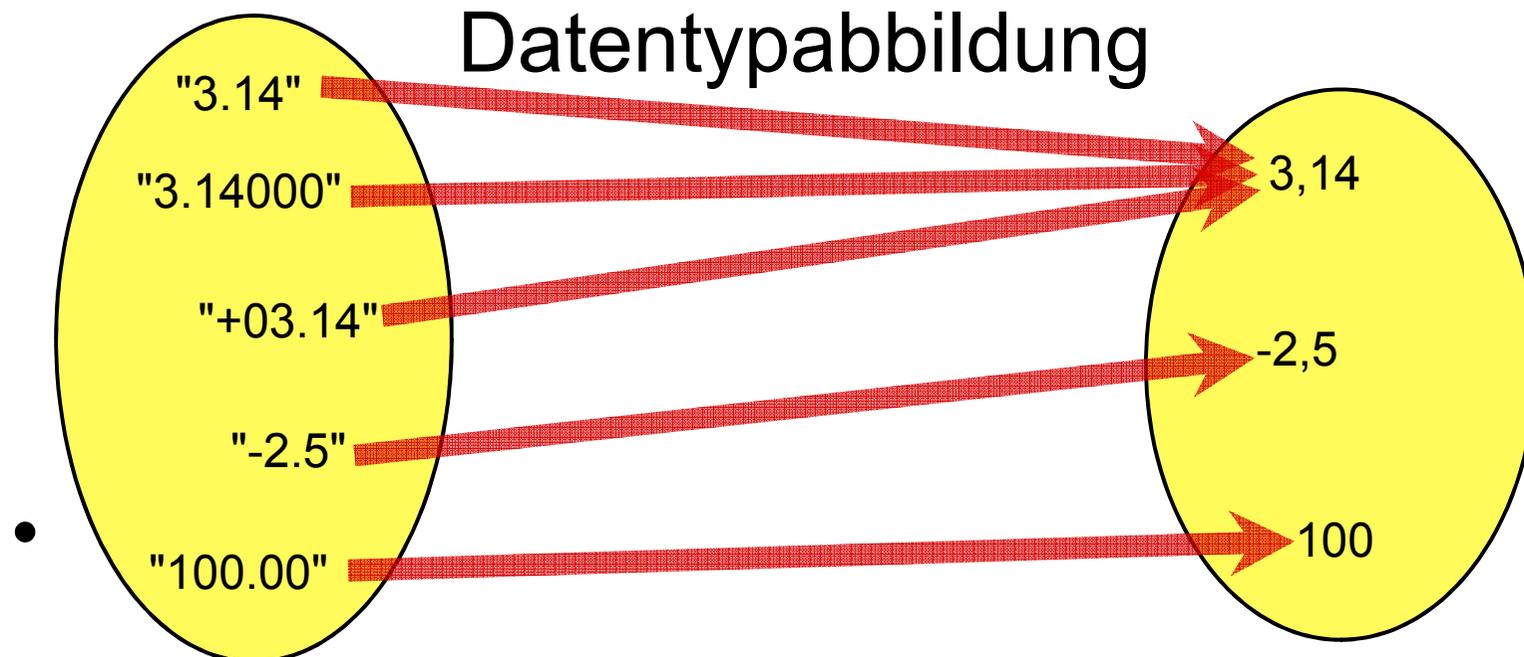
- Motivation
- RDF-Datenmodell
- Syntax für RDF: Turtle und XML
- **Datentypen**
- mehrwertige Beziehungen
- leere Knoten
- Listen
- Vernetzte Daten

# Datentypen - Abstrakt

- Beispiel: xsd:decimal

lexikalischer Bereich

Wertebereich



- bzgl. xsd:decimal gilt "3.14"=" +03.14"  
bzgl. xsd:string nicht!

# Datentypen in RDF

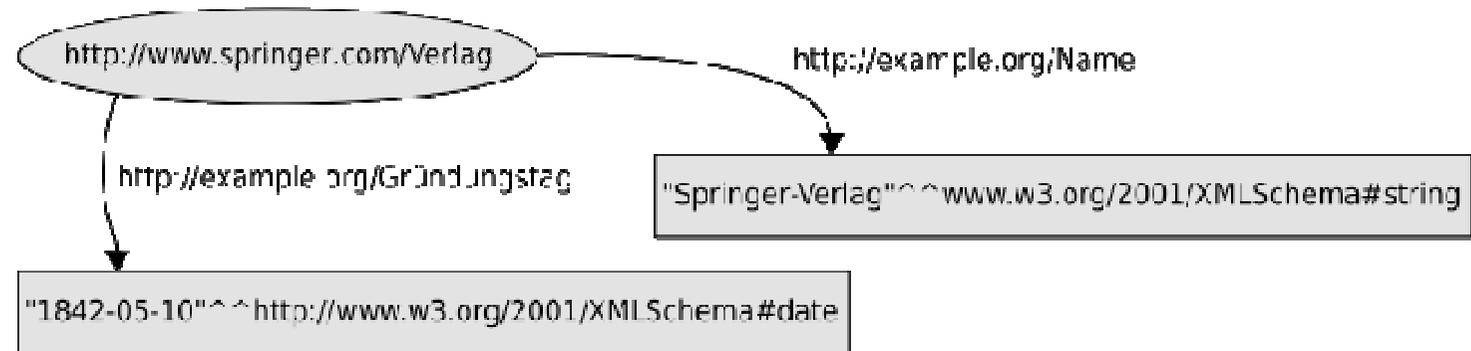


- Bisher: Literale ungetypt, wie Zeichenketten behandelt (also z.B.: "02"<"100"<"11"<"2")
- Typung erlaubt besseren (semantischen = bedeutungsgemäßen) Umgang mit Werten
- Datentypen werden durch URIs identifiziert und sind im Prinzip frei wählbar
- häufig: Verwendung von xsd-Datentypen
- Syntax:  
*"Datenwert"^^Datentyp-URI*

# Datentypen in RDF - Beispiel

AIFB 

- Graph:



- Turtle:

```
@prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> .
<http://springer.com/Verlag>
  <http://example.org/Name> "Springer-Verlag"^^xsd:string ;
  <http://example.org/Gründungstag> "1842-05-10"^^xsd:date .
```

- XML:

```
<rdf:Description rdf:about="http://springer.com/Verlag">
  <ex:Name rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
    Springer-Verlag
  </ex:Name>
  <ex:Gründungstag
    rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date">
    1842-05-10
  </ex:Gründungstag>
</rdf:Description>
```

# Der vordefinierte Datentyp



- `rdf:XMLLiteral` ist einziger vordefinierter Datentyp in RDF
- bezeichnet beliebige (balancierte) XML-Fragmente
- in RDF/XML besondere Syntax zur eindeutigen Darstellung:

```
<rdf:Description rdf:about="http://example.org/SemanticWeb">
  <ex:Titel rdf:parseType="Literal">
    <b>Semantic Web</b>
    <br />
    Grundlagen
  </ex:Titel>
</rdf:Description>
```

# Sprachangaben und Datentypen

- Sprachinformationen beeinflussen nur ungetypte Literale
- Beispiel:
  - XML

```
<rdf:Description rdf:about="http://springer.com/Verlag">  
  <ex:Name xml:lang="de">Springer-Verlag</ex:Name>  
  <ex:Name xml:lang="en">Springer Science+Business Media</ex:Name>  
</rdf:Description>
```

- Turtle

```
<http://springer.com/Verlag> <http://example.org/Name>  
  "Springer-Verlag"@de, "Springer Science+Business Media"@en .
```

# Sprachangaben und Datentypen

- nach RDF-Spezifikation sind demnach die folgenden Literale unterschiedlich:

```
@prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> .  
<http://springer.com/Verlag>      <http://example.org/Name>  
    "Springer-Verlag",  
    "Springer-Verlag"@de,  
    "Springer-Verlag"^^xsd:string .
```

- ...werden aber häufig (intuitionsgemäß) als gleich implementiert.

# Agenda



- Motivation
- RDF-Datenmodell
- Syntax für RDF: Turtle und XML
- Datentypen
- **mehrwertige Beziehungen**
- leere Knoten
- Listen
- Vernetzte Daten

# Mehrwertige Beziehungen



- Kochen mit RDF:  
*"Für die Zubereitung von Chutney benötigt man 450g grüne Mango, einen Teelöffel Cayennepfeffer, ..."*

- erster Modellierungsversuch:

```
@prefix ex: <http://example.org/> .  
ex:Chutney ex:hatZutat "450g grüne Mango", "1TL Cayennepfeffer"
```

- nicht zufriedenstellend: Zutaten samt Menge als Zeichenkette. Suche nach Rezepten, die grüne Mango beinhalten, so nicht möglich.

# Mehrwertige Beziehungen



- Kochen mit RDF:  
*"Für die Zubereitung von Chutney benötigt man 450g grüne Mango, einen Teelöffel Cayennepfeffer, ..."*

- zweiter Modellierungsversuch:

```
@prefix ex: <http://example.org/> .  
ex:Chutney ex:Zutat ex:grüneMango; ex:Menge "450g" ;  
ex:Zutat ex:Cayennepfeffer; ex:Menge "1TL" .
```

- überhaupt nicht zufriedenstellend: keine eindeutige Zuordnung von konkreter Zutat und Menge mehr möglich.

# Mehrwertige Beziehungen

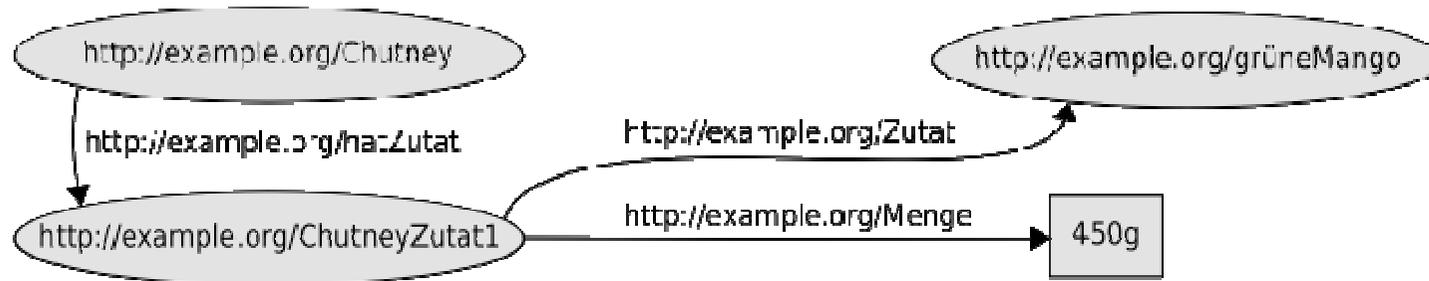
- Problem: es handelt sich um eine echte dreiwertige (auch: ternäre) Beziehung (s. z.B. Datenbanken)

Gericht	Zutat	Menge
Chutney	grüne Mango	450g
Chutney	Cayennepfeffer	1 TL

- direkte Darstellung in RDF nicht möglich
- Lösung: Einführung von Hilfsknoten

# Mehrwertige Beziehungen

- Hilfsknoten in RDF:
  - als Graph



- Turtle-Syntax (mit Verwendung von `rdf:value`)

```
@prefix ex: <http://example.org/> .
@prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> .
ex:Chutney          ex:hatZutat  ex:ChutneyZutat1 .
ex:ChutneyZutat1   rdf:value     ex:grüneMango;
                   ex:Menge      "450g" .
```

# Agenda



- Motivation
- RDF-Datenmodell
- Syntax für RDF: Turtle und XML
- Datentypen
- mehrwertige Beziehungen
- **leere Knoten**
- Listen
- Vernetzte Daten

# Leere Knoten

- leere Knoten (blank nodes, bnodes) können für Ressourcen verwendet werden, die nicht benannt werden müssen (z.B. Hilfsknoten)
- können als Existenzaussagen gelesen werden
- Syntax:

- als Graph



# Leere Knoten



- Syntax:
  - RDF/XML-Syntax

```
<rdf:Description rdf:about="http://example.org/Chutney">
  <ex:hatZutat rdf:nodeID="id1" />
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:nodeID="id1">
  <ex:Zutat rdf:resource="http://example.org/grüneMango" />
  <ex:Menge>450g</ex:Menge>
</rdf:Description>
```

- verkürzt

```
<rdf:Description rdf:about="http://example.org/Chutney">
  <ex:hatZutat rdf:parseType="Resource">
    <ex:Zutat rdf:resource="http://example.org/grüneMango" />
    <ex:Menge>450g</ex:Menge>
  </ex:hatZutat>
</rdf:Description>
```

# Leere Knoten



- Syntax:

- Turtle

```
@prefix ex: <http://example.org/> .  
ex:Chutney    ex:hatZutat    _:id1 .  
_:id1        ex:Zutat       ex:grüneMango; ex:Menge    "450g" .
```

- verkürzt

```
@prefix ex: <http://example.org/> .  
ex:Chutney    ex:hatZutat  
               [ ex:Zutat       ex:grüneMango; ex:Menge    "450g" ] .
```

# Agenda

AIFB 

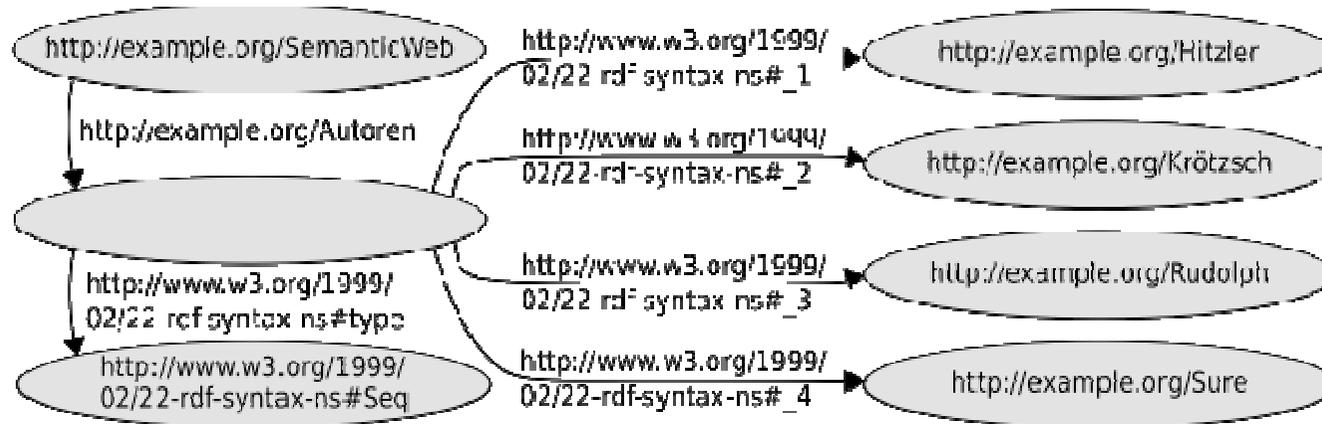
- Motivation
- RDF-Datenmodell
- Syntax für RDF: Turtle und XML
- Datentypen
- mehrwertige Beziehungen
- leere Knoten
- **Listen**
- Vernetzte Daten

# Listen

- allgemeine Datenstrukturen zur Aufzählung von beliebig vielen Ressourcen (Reihenfolge relevant), z.B. Autoren eines Buches
- Unterscheidung zwischen
  - offenen Listen (Container)  
Hinzufügen von neuen Einträgen möglich
  - geschlossenen Listen (Collections)  
Hinzufügen von neuen Einträgen nicht möglich
- Können auch mit bereits vorgestellten Ausdrucksmitteln modelliert werden, also keine zusätzliche Ausdrucksstärke!

# Offene Listen (Container)

- Graph:



- verkürzt in RDF/XML:

```
<rdf:Description rdf:about="http://example.org/SemanticWeb">
  <ex:Autoren>
    <rdf:Seq>
      <rdf:li rdf:resource="http://www.example.org/Hitzler" />
      <rdf:li rdf:resource="http://www.example.org/Kröttsch" />
      <rdf:li rdf:resource="http://www.example.org/Rudolph" />
      <rdf:li rdf:resource="http://www.example.org/Sure" />
    </rdf:Seq>
  </ex:Autoren>
</rdf:Description>
```

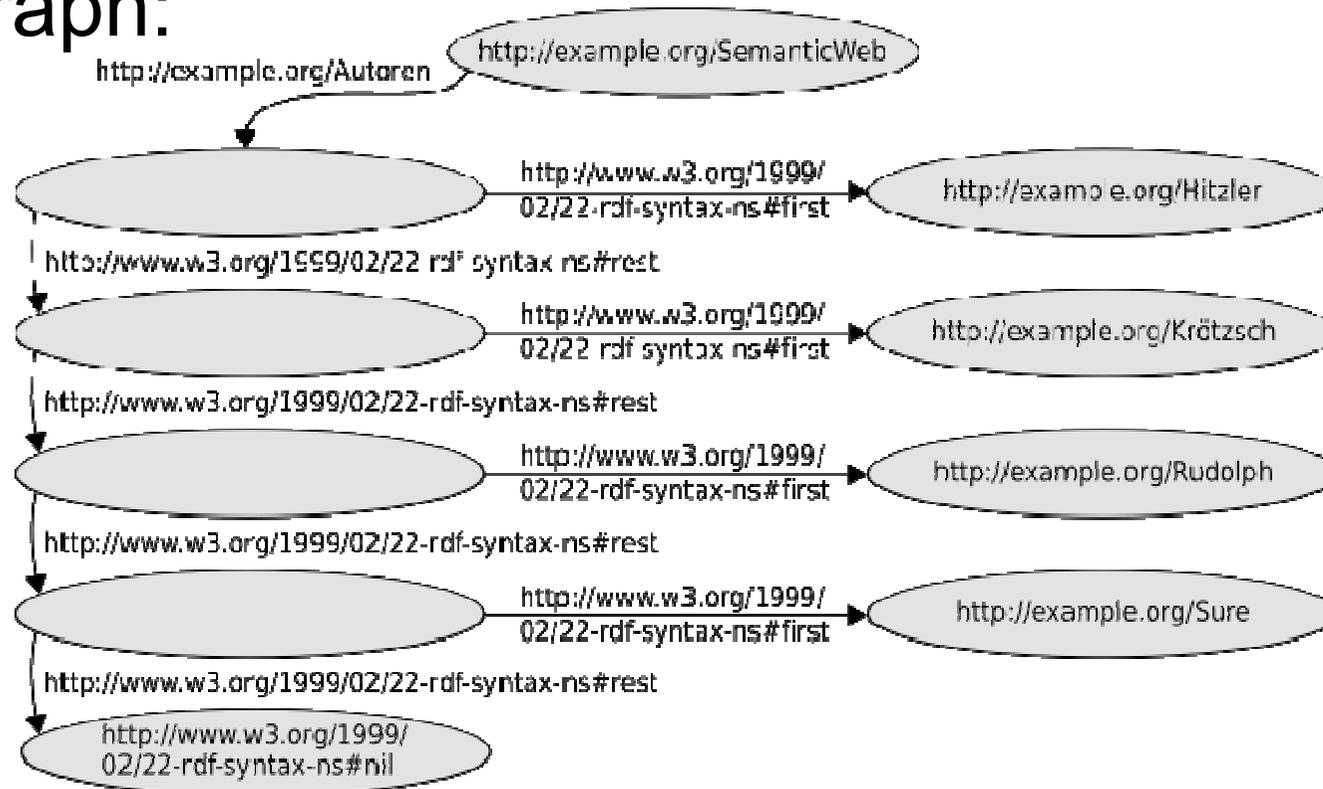
# Typen offener Listen



- via `rdf:type` wird dem Listen-Wurzelknoten ein Listentyp zugewiesen:
  - `rdf:Seq`  
Interpretation als geordnete Liste (Sequenz)
  - `rdf:Bag`  
Interpretation als ungeordnete Menge  
in RDF kodierte Reihenfolge nicht von Belang
  - `rdf:Alt`  
Menge alternativer Möglichkeiten  
im Regelfall immer nur ein Listeneintrag relevant

# Geschlossene Listen (Collections)

- Graph:



- Idee: rekursive Zerlegung der Liste in Kopfelement und (möglicherweise leere) Restliste.

# Geschlossene Listen (Collections)

- RDF/XML-Syntax

```
<rdf:Description rdf:about="http://example.org/SemanticWeb">
  <ex:Autoren rdf:parseType="Collection">
    <rdf:Description rdf:about="http://www.example.org/Hitzler">
    <rdf:Description rdf:about="http://www.example.org/Kröttsch" />
    <rdf:Description rdf:about="http://www.example.org/Rudolph" />
    <rdf:Description rdf:about="http://www.example.org/Sure" />
  </ex:Autoren>
</rdf:Description>
```

- Turtle

```
@prefix ex: <http://example.org/> .
ex:SemanticWeb    ex:Autor
                  ( ex:Hitzler    ex:Kröttsch    ex:Rudolph    ex:Sure ) .
```

# Agenda

AIFB 

- Motivation
- RDF-Datenmodell
- Syntax für RDF: Turtle und XML
- Datentypen
- mehrwertige Beziehungen
- leere Knoten
- Listen
- **Vernetzte Daten**

# Das Web in “Semantic Web”

- URIs und RDF bilden die Grundlage des Semantic Webs
- RDF erlaubt die Modellierung von Daten, aber wie erfolgt der Zugriff?
- Vernetzte Daten (Linked Data) Prinzipien verbinden URIs (Web-Architektur) mit RDF (Wissensrepräsentation)

# Linked Data Prinzipien



- Use URIs as names for things
- Use HTTP URIs so that people can look up those names.
- When someone looks up a URI, provide useful information, using the standards (RDF\*, SPARQL)
- Include links to other URIs. so that they can discover more things.



# Verbreitungsgrad von RDF



- heute existiert Vielzahl von RDF-Tools
- Programmier-Bibliotheken für praktisch jede Programmiersprache
- frei verfügbare Systeme zum Umgang mit großen RDF-Datenmengen (sogenannte RDF Stores oder Triple Stores)
- auch kommerzielle Anbieter (z.B. Oracle) unterstützen zunehmend RDF
- Grundlage für Datenformate: RSS 1.0, XMP (Adobe)
- Linked Data wird von einer Vielzahl von Organisationen publiziert (BBC, New York Times, Deutsche Nationalbibliothek...)

# Bewertung von RDF

- weitläufig unterstützter Standard für Speicherung und Austausch von Daten
- ermöglicht weitgehend syntaxunabhängige Darstellung verteilter Informationen in graphbasiertem Datenmodell
- reines RDF sehr "individuenorientiert"
- kaum Möglichkeiten zur Kodierung von Schemawissen
- → RDF Schema (nächste Vorlesung)