

# SPARQL – Syntax und Intuition

Elena Simperl

Institut AIFB · Universität Karlsruhe

Semantic Web Technologies 1 (WS11/12)

23. November 2011

<http://semantic-web-grundlagen.de>

Die nichtkommerzielle Vervielfältigung, Verbreitung und Bearbeitung dieser Folien ist zulässig (→ Lizenzbestimmungen CC-BY-NC).

- 1 XML und URIs
- 2 Einführung in RDF
- 3 RDF Schema
- 4 Logik – Grundlagen
- 5 Semantik von RDF(S)
- 6 **SPARQL – Syntax und Intuition** (→ Webseite dieser Vorlesung)
- 7 Semantik von SPARQL
- 8 OWL – Syntax und Intuition I
- 9 OWL – Syntax und Intuition II
- 10 OWL – Semantik und Reasoning
- 11 Ontology Engineering
- 12 Linked Data
- 13 Konjunktive Anfragen/Einführung Regelsprachen
- 14 Anwendungen

Literaturhinweise siehe → Semantic Web – Grundlagen, Kapitel 7

Wie kann auf in RDF oder OWL spezifizierte Informationen zugegriffen werden?

## Abfrage von Informationen in RDF(S)

- Einfache Folgerung
- RDF-Folgerung
- RDFS-Folgerung

„Folgt ein bestimmter RDF-Graph aus einem gegebenen?“

## Abfrage von Informationen in OWL

- Logisches Schließen

„Folgt eine Subklassen-Beziehung aus einer OWL-Ontologie?“

„Welches sind die Instanzen einer Klasse einer OWL-Ontologie?“

# Genügen OWL und RDF nicht?

## Selbst OWL ist als Anfragesprache oft zu schwach

- „Welche Zeichenketten in deutscher Sprache sind in der Ontologie angegeben?“
- „Welche Propertys verbinden zwei bestimmte Individuen?“
- „Welche Paare von Personen haben eine gemeinsames Elternteil?“

↔ weder in RDF noch in OWL ausdrückbar.

## Anforderungen:

- Große Ausdruckstärke zur Beschreibung der gefragten Information
- Möglichkeiten zur Formatierung, Einschränkung und Manipulation der Ergebnisse

Agenda für die folgenden Vorlesungen:

## **Vorlesung 9:**

- Grundlagen der RDF-Anfragesprache SPARQL

## **Vorlesung 10:**

- Semantik der RDF-Anfragesprache SPARQL

## **Vorlesung 11:**

- Konjunktive Anfragen für OWL

SPARQL (sprich engl. *sparkle*) steht für  
**SPARQL Protocol And RDF Query Language**

- W3C-Spezifikation (seit 15. Januar 2008)
- Anfragsprache zur *Abfrage von Instanzen aus RDF-Dokumenten*
- große praktische Bedeutung

## Teile der SPARQL-Spezifikation

- Anfragesprache: Thema dieser Vorlesung
- Ergebnisformat: Darstellung von Ergebnissen in XML
- Anfrageprotokoll: Übermittlung von Anfragen und Ergebnissen

## Eine einfache Beispielanfrage:

```
PREFIX ex: <http://example.org/>
SELECT ?titel ?autor
WHERE
{ ?buch    ex:VerlegtBei    <http://springer.com/Verlag> .
  ?buch    ex:Titel          ?titel .
  ?buch    ex:Autor          ?autor . }
```

- Hauptbestandteil ist ein **Anfragemuster** (WHERE)
  - ↪ Anfragemuster verwenden die Turtle-Syntax für RDF
  - ↪ Muster dürfen Variablen enthalten (?variable)
- **Kurzschreibweisen** für URIs möglich (PREFIX)
- Anfrageergebnis durch **Auswahl von Variablen** (SELECT)

## Beispiel RDF-Dokument:

```
@prefix ex: <http://example.org/> .
ex:SemanticWeb ex:VerlegtBei <http://springer.com/Verlag> ;
               ex:Titel      "Semantic Web - Grundlagen" ;
               ex:Autor      ex:Hitzler, ex:Kröttsch,
                             ex:Rudolph, ex:Sure .
```

## Ergebnis der Anfrage: Tabelle mit einer Zeile je Ergebnis

titel	autor
"Semantic Web - Grundlagen"	<a href="http://example.org/Hitzler">http://example.org/Hitzler</a>
"Semantic Web - Grundlagen"	<a href="http://example.org/Kröttsch">http://example.org/Kröttsch</a>
"Semantic Web - Grundlagen"	<a href="http://example.org/Rudolph">http://example.org/Rudolph</a>
"Semantic Web - Grundlagen"	<a href="http://example.org/Sure">http://example.org/Sure</a>

Die grundlegenden Anfragemuster sind **einfache Graph-Muster**

- Menge von RDF-Tripeln in Turtle-Syntax
- Turtle-Abkürzungen (mittels `,` und `;`) zulässig
- Variablen werden durch `?` oder `$` gekennzeichnet (`?variable` hat gleiche Bedeutung wie `$variable`)
- Variablen zulässig als Subjekt, Prädikat oder Objekt

Zulässig  $\neq$  lesbar:

```
PREFIX ex: <http://example.org/>
SELECT $rf456df ?_AIFB WHERE { ?ef3a_3 ex:VerlegtBei
<http://springer.com/Verlag> . ?ef3a_3 ex:Titel
    ?rf456df . $ef3a_3 ex:Autor ?_AIFB . }
```

(semantisch äquivalent zur vorherigen Anfrage)

## Was bedeuten leere Knoten in SPARQL?

Leere Knoten in Anfragemustern:

- Zulässig als Subjekt oder Objekt
- ID beliebig, aber niemals gleiche ID mehrfach pro Anfrage
- Verhalten sich wie Variablen, die nicht ausgewählt werden können

Leere Knoten in Ergebnissen:

- Platzhalter für unbekannte Elemente
- IDs beliebig, aber eventuell an andere Ergebnisteile gebunden:

subj	wert
_:a	"zum"
_:b	"Beispiel"

subj	wert
_:y	"zum"
_:g	"Beispiel"

subj	wert
_:z	"zum"
_:z	"Beispiel"

```
@prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> .
@prefix ex: <http://example.org/> .
ex:bsp1 ex:p "test" .
ex:bsp2 ex:p "test"^^xsd:string .
ex:bsp3 ex:p "test"@de .
ex:bsp4 ex:p "42"^^xsd:integer .
```

## Was liefert eine Anfrage mit folgendem Muster?

```
{ ?subject <http://example.org/p> "test" . }
```

⇒ ex:bsp1 als einziges Ergebnis

⇒ genaue Übereinstimmung der Datentypen gefordert

## Aber: Abkürzung für Zahlenwerte möglich

```
{ ?subject <http://example.org/p> 42 . }
```

⇒ Datentyp wird aus syntaktischer Form bestimmt

(xsd:integer, xsd:decimal, oder xsd:double)

# Gruppierende Graph-Muster

Einfache Graph-Muster können durch {...} gruppiert werden.

Beispiel:

```
PREFIX ex: <http://example.org/>
SELECT ?titel ?autor
WHERE
  { { ?buch      ex:VerlegtBei <http://springer.com/Verlag>
    ?buch      ex:Titel      ?titel . }
    { }
    ?buch      ex:Autor      ?autor .
  }
```

⇒ Sinnvoll erst bei Verwendung zusätzlicher Konstruktoren

# Optionale Muster

Das Schlüsselwort `OPTIONAL` erlaubt die Angabe optionaler Teile eines Musters.

Beispiel:

```
{ ?buch      ex:VerlegtBei  <http://springer.com/Verlag> .  
  OPTIONAL { ?buch      ex:Titel      ?titel . }  
  OPTIONAL { ?buch      ex:Autor      ?autor . }  
}
```

↪ Teile eines Anfrageergebnisses können **ungebunden** sein:

buch	titel	autor
<a href="http://example.org/buch1">http://example.org/buch1</a>	"Titel1"	<a href="http://example.org/autor1">http://example.org/autor1</a>
<a href="http://example.org/buch2">http://example.org/buch2</a>	"Titel2"	
<a href="http://example.org/buch3">http://example.org/buch3</a>	"Titel3"	_:a
<a href="http://example.org/buch4">http://example.org/buch4</a>		_:a
<a href="http://example.org/buch5">http://example.org/buch5</a>		

Das Schlüsselwort `UNION` erlaubt die Angabe alternativer Teile eines Musters.

Beispiel:

```
{ ?buch      ex:VerlegtBei   <http://springer.com/Verlag> .  
  { ?buch    ex:Autor       ?autor . } UNION  
  { ?buch    ex:Verfasser   ?autor . }  
}
```

↪ Ergebnis entspricht Vereinigung der Ergebnisse mit einer der beiden Bedingungen

Anm.: Gleiche Variablennamen in beiden Teilen von `UNION` beeinflussen sich nicht

# Kombination von Optionen und Alternativen (1)

Wie sind Kombinationen von OPTIONAL und UNION zu verstehen?

```
{ ?buch      ex:VerlegtBei   <http://springer.com/Verlag> .
  { ?buch    ex:Autor        ?autor . } UNION
  { ?buch    ex:Verfasser    ?autor . } OPTIONAL
  { ?autor   ex:Nachname     ?name . }
}
```

- Vereinigung zweier Muster mit angefügtem optionalem Muster **oder**
- Vereinigung zweier Muster, wobei das zweite einen optionalen Teil hat?

⇒ Erste Interpretation korrekt:

```
{ ?buch      ex:VerlegtBei   <http://springer.com/Verlag> .
  { { ?buch    ex:Autor        ?autor . } UNION
    { ?buch    ex:Verfasser    ?autor . }
  } OPTIONAL { ?autor   ex:Nachname     ?name . }
}
```

## Kombination von Optionen und Alternativen (2)

### Allgemeine Regeln

- `OPTIONAL` bezieht sich immer auf genau ein gruppierendes Muster rechts davon.
- `OPTIONAL` und `UNION` sind gleichwertig und beziehen sich auf jeweils alle links davon stehenden Ausdrücke (*linksassoziativ*)

### Beispiel:

```
{ {s1 p1 o1} OPTIONAL {s2 p2 o2} UNION {s3 p3 o3}
  OPTIONAL {s4 p4 o4} OPTIONAL {s5 p5 o5}
}
```

### bedeutet

```
{ { { { {s1 p1 o1} OPTIONAL {s2 p2 o2}
      } UNION {s3 p3 o3}
    } OPTIONAL {s4 p4 o4}
  } OPTIONAL {s5 p5 o5}
}
```

# Wozu Filter?

Viele Anfragen sind auch mit komplexen Graph-Mustern nicht möglich:

- „Welche Personen sind zwischen 18 und 23 Jahre alt?“
- „Der Nachname welcher Personen enthält einen Bindestrich?“
- „Welche Texte in deutscher Sprache sind in der Ontologie angegeben?“

↪ **Filter** als allgemeiner Mechanismus für solche Ausdrucksmittel

## Beispiel:

```
PREFIX ex: <http://example.org/>
SELECT ?buch WHERE
{ ?buch ex:VerlegtBei <http://springer.com/Verlag> .
  ?buch ex:Preis      ?preis
  FILTER (?preis < 35)
}
```

- Schlüsselwort `FILTER`, gefolgt von Filterausdruck in Klammern
- Filterbedingungen liefern Wahrheitswerte (und ev. auch Fehler)
- Viele Filterfunktionen nicht durch RDF spezifiziert  
↪ Funktionen teils aus XQuery/XPath-Standard für XML übernommen

## Vergleichoperatoren: `<`, `=`, `>`, `<=`, `>=`, `!=`

- Vergleich von Datenliteralen gemäß der jeweils *natürlichen* Reihenfolge
- Unterstützung für numerische Datentypen, `xsd:dateTime`, `xsd:string` (alphabetische Ordnung), `xsd:Boolean` (`1 > 0`)
- für andere Typen und sonstige RDF-Elemente nur `=` und `!=` verfügbar
- kein Vergleich von Literalen inkompatibler Typen (z.B. `xsd:string` und `xsd:integer`)

## Arithmetische Operatoren: `+`, `-`, `*`, `/`

- Unterstützung für numerische Datentypen
- Verwendung zur Kombination von Werten in Filterbedingungen

Bsp.: `FILTER( ?gewicht / (?groesse * ?groesse) >= 25 )`

# Filterfunktionen: Spezialfunktionen für RDF (1)

SPARQL unterstützt auch **RDF-spezifische Filterfunktionen**:

BOUND (A)	true falls A eine gebundene Variable ist
isURI (A)	true falls A eine URI ist
isBLANK (A)	true falls A ein leerer Knoten ist
isLITERAL (A)	true falls A ein RDF-Literal ist
STR (A)	lexikalische Darstellung ( <code>xsd:string</code> ) von RDF-Literalen oder URIs
LANG (A)	Sprachcode eines RDF-Literals ( <code>xsd:string</code> ) oder leerer String falls kein Sprachcode
DATATYPE (A)	Datentyp-URI eines RDF-Literals ( <code>xsd:string</code> bei ungetypten Literalen ohne Sprachangabe)

# Filterfunktionen: Spezialfunktionen für RDF (2)

## Weitere **RDF-spezifische Filterfunktionen:**

<code>sameTERM(A, B)</code>	true, falls A und B dieselben RDF-Terme sind.
<code>langMATCHES(A, B)</code>	true, falls die Sprachangabe A auf das Muster B passt
<code>REGEX(A, B)</code>	true, falls in der Zeichenkette A der reguläre Ausdruck B gefunden werden kann

## Beispiel:

```
PREFIX ex: <http://example.org/>
SELECT ?buch WHERE
{ ?buch    ex:Rezension    ?text .
  FILTER ( langMATCHES( LANG(?text), "de") )
}
```

Filterbedingungen können mit **Booleschen Operatoren** verknüpft werden: `&&`, `||`, `!`

Teilweise auch durch Graph-Muster ausdrückbar:

- Konjunktion entspricht Angaben mehrerer Filter
- Disjunktion entspricht Anwendung von Filtern in alternativen Mustern

# Ausgabeformatierung mit SELECT

Bisher waren alle Ergebnisse Tabellen: Ausgabeformat `SELECT`

Syntax: `SELECT <Variablenliste>` oder `SELECT *`

## Vorteil

Einfache sequentielle Abarbeitung von Ergebnissen

## Nachteil

Struktur/Beziehungen der Objekte im Ergebnis nicht offensichtlich

# Ausgabeformatierung mit CONSTRUCT

Kodierung von Ergebnissen in RDF-Graphen: Ausgabeformat  
CONSTRUCT

**Syntax:** CONSTRUCT <RDF-Schablone in Turtle>

```
PREFIX ex: <http://example.org/>
CONSTRUCT { ?person ex:mailbox ?email .
            ?person ex:telefon ?telefon . }
WHERE { ?person ex:email ?email .
        ?person ex:tel ?telefon . }
```

## Vorteil

Strukturiertes Ergebnis mit Beziehungen zwischen Elementen

## Nachteile

- Sequentielle Abarbeitung von Ergebnissen erschwert
- Keine Behandlung von ungebundenen Variablen

SPARQL unterstützt zwei weitere Ausgabeformate:

- ASK prüft nur, ob es Ergebnisse gibt, keine Parameter
- DESCRIBE (informativ) liefert zu jeder gefundenen URI eine RDF-Beschreibung (anwendungsabhängig)

# Wozu Modifikatoren?

Bisher nur grundsätzliche Formatierungseinstellungen für Ergebnisse:

- Wie kann man definierte Teile der Ergebnismenge abfragen?
- Wie werden Ergebnisse geordnet?
- Können wiederholte Ergebniszeilen sofort entfernt werden?

⇒ **Modifikatoren** der Lösungssequenz (*solution sequence modifiers*)

# Ergebnisse sortieren

## Sortierung von Ergebnissen mit Schlüsselwort ORDER BY

```
SELECT ?buch, ?preis
WHERE { ?buch <http://example.org/Preis> ?preis . }
ORDER BY ?preis
```

- Sortierung wie bei Filter-Vergleichoperatoren,
- Sortierung von URIs alphabetisch als Zeichenketten
- Reihenfolge zwischen unterschiedlichen Arten von Elementen:  
Ungebundene Variable < leere Knoten < URIs < RDF-Literale
- nicht jede Möglichkeit durch Spezifikation definitert

### Weitere mögliche Angaben:

- ORDER BY DESC(?preis): **absteigend**
- ORDER BY ASC(?preis): **aufsteigend, Voreinstellung**
- ORDER BY DESC(?preis), ?titel: **hierarchische  
Ordnungskriterien**

Einschränkung der Ergebnismenge:

- **LIMIT**: maximale Anzahl von Ergebnissen (Tabellenzeilen)
- **OFFSET**: Position des ersten gelieferten Ergebnisses
- **SELECT DISTINCT**: Entfernung von doppelten Tabellenzeilen

```
SELECT DISTINCT ?buch, ?preis
WHERE { ?buch <http://example.org/Preis> ?preis . }
ORDER BY ?preis LIMIT 5 OFFSET 25
```

↪ **LIMIT und OFFSET nur mit ORDER BY sinnvoll!**

Reihenfolge bei Abarbeitung von Modifikatoren:

- 1 Sortierung gemäß `ORDER BY`
- 2 Entfernung der nicht ausgewählten Variablen
- 3 Entfernung doppelter Ergebnisse (`DISTINCT`)
- 4 Entfernung der ersten `OFFSET` Ergebnisse
- 5 Entfernung aller Ergebnisse bis auf `LIMIT`

↪ Sortierung auch nach nicht ausgewählten Variablen möglich

↪ `ORDER BY` nicht nur für `SELECT` relevant

# Vorgestellte SPARQL-Merkmale im Überblick

## Grundstruktur

PREFIX

WHERE

## Ausgabeformate

SELECT

CONSTRUCT

ASK

DESCRIBE

## Graph-Muster

Einfache Graph-Muster

{...}

OPTIONAL

UNION

## Filter

BOUND

isURI

isBLANK

isLITERAL

STR

LANG

DATATYPE

sameTERM

langMATCHES

REGEX

## Modifikatoren

ORDER BY

LIMIT

OFFSET

DISTINCT

## Offene Fragen

- Wie genau ist die Semantik von SPARQL definiert?
- Wie schwer ist die vollständige Umsetzung von SPARQL? Implementierungen?
- Wie kann man Anfragen an RDF Schema oder OWL stellen?

⇒ Vorlesung 10 und Vorlesung 11 ...

Pascal Hitzler  
Markus Krötzsch  
Sebastian Rudolph  
York Sure

## Semantic Web Grundlagen

Springer 2008, 277 S., Softcover  
ISBN: 978-3-540-33993-9

*Aktuelle Literaturhinweise online*

