Semantik von SPARQL

Pascal Hitzler Markus Krötzsch Sebastian Rudolph

Institut AIFB · Universität Karlsruhe

Semantic Web Technologies 1 (WS07/08)

16. Januar 2008

http://semantic-web-grundlagen.de

AIFB

Outline

1. Einleitung und Motivation
2. Umwandlung von Anfragen in SPARQL-Algebra
3. Rechnen mit der SPARQL-Algebra
4. Zusammenfassung

Semantic Web Technologies 1

1. Einleitung und Ausblick
2. XML und URIs
3. Einführung in RDF
4. RDF Schema
5. Logik – Grundlagen
6. Semantik von RDF(S)
7. OWL – Syntax und Intuition
8. OWL – Semantik und Reasoning
9. SPARQL – Syntax und Intuition
10. Semantik von SPARQL (→ Webseite dieser Vorlesung)
11. Konjunktive Anfragen und Regelsprachen
12. OWL 1.1 – Syntax und Semantik
13. Bericht aus der Praxis
14. Semantic Web – Anwendungen

Literatur zu dieser Vorlesung online siehe
→ Semantic Web – Grundlagen, Kapitel 7

AIFB

SPARQL

Letzte Vorlesung: SPARQL als Anfragesprache für RDF

```
PREFIX ex: <http://example.org/>
SELECT ?buch, ?autor WHERE
  { ?buch ex:VerlegtBei <http://springer.com/Verlag> .
    ?buch ex:Preis      ?preis .
    ?buch ex:Autor      ?autor
    FILTER (?preis < 35)
  } ORDER BY ?preis  LIMIT 10
```

Merkmale von SPARQL:

- Einfache, optionale und alternative Graphmuster
- Filter
- Ausgabeformate (`SELECT`, `CONSTRUCT`, ...)
- Modifikatoren (`ORDER BY`, `LIMIT`, ...)

Fragestellung für diese Vorlesung:

Wie genau ist die Semantik von SPARQL definiert?

AIFB

Wozu Semantik?

Bisher lediglich informelle Darstellung von SPARQL

- Anwender: „Welche Antworten kann ich auf meine Anfrage erwarten?“
- Entwickler: „Wie genau soll sich meine SPARQL-Implementierung verhalten?“
- Hersteller: „Ist mein Produkt bereits SPARQL-konform?“

$\rightsquigarrow$ Formale Semantik schafft (hoffentlich) Klarheit . . .

AIFB

Semantik von Anfragesprachen (1)

Semantik formaler Logik (siehe Vorlesung 5):

- Modelltheoretische Semantik: Welche Interpretationen erfüllen eine Wissensbasis?
- Beweistheoretische Semantik: Welche Ableitungen aus einer Wissenbasis sind zulässig?
- . . .

AIFB

Semantik von Anfragesprachen (1)

Semantik formaler Logik (siehe Vorlesung 5):

- Modelltheoretische Semantik: Welche Interpretationen erfüllen eine Wissensbasis?
- Beweistheoretische Semantik: Welche Ableitungen aus einer Wissenbasis sind zulässig?
- . . .

Semantik von Programmiersprachen:

- Axiomatische Semantik: Welche logischen Aussagen gelten für ein Programm?
- Operationale Semantik: Wie wirkt sich die Abbarbeitung eines Programms aus?
- Denotationelle Semantik: Wie kann ein Programm als Eingabe/Ausgabe-Funktion abstrakt dargestellt werden?

Was tun mit Anfragesprachen?

AIFB

Semantik von Anfragesprachen (2)

Semantik von Anfragesprachen

Semantik von Anfragesprachen (2)

Semantik von Anfragesprachen:

Anfragefolgerung (*query entailment*)

- Anfrage als Beschreibung zulässiger Anfrageergebnisse
- Datenbasis als Menge logischer Annahmen (Theorie)
- Ergebnis als logische Schlussfolgerung

Bsp.: OWL DL und RDF(S) als Anfragesprachen, konjunktive Anfragen

AIFB

Semantik von Anfragesprachen (2)

Semantik von Anfragesprachen:

Anfragefolgerung (*query entailment*)

- Anfrage als Beschreibung zulässiger Anfrageergebnisse
- Datenbasis als Menge logischer Annahmen (Theorie)
- Ergebnis als logische Schlussfolgerung

Bsp.: OWL DL und RDF(S) als Anfragesprachen, konjunktive Anfragen

Anfragealgebra

- Anfrage als Rechenvorschrift zur Ermittlung von Ergebnissen
- Datenbasis als Eingabe
- Ergebnis als Ausgabe

Bsp.: Relationale Algebra für SQL, SPARQL-Algebra

AIFB

Outline

1 Einleitung und Motivation

2 Umwandlung von Anfragen in SPARQL-Algebra

3 Rechnen mit der SPARQL-Algebra

4 Zusammenfassung

Übersetzung in SPARQL-Algebra

```
{ ?buch   ex:Preis   ?preis .
  FILTER (?preis < 15)
  OPTIONAL
   { ?buch   ex:Titel   ?titel . }
  { ?buch   ex:Autor   ex:Shakespeare . } UNION
  { ?buch   ex:Autor   ex:Marlowe . }
}
```

Semantik einer SPARQL-Anfrage:

1. Umwandlung der Anfrage in einen algebraischen Ausdruck
2. Berechnung des Ergebnisses dieses Ausdrucks

Übersetzung in SPARQL-Algebra: *BGP*

```
{ ?buch   ex:Preis   ?preis .
  FILTER (?preis < 15)
  OPTIONAL
   { ?buch   ex:Titel   ?titel . }
  { ?buch   ex:Autor   ex:Shakespeare . } UNION
  { ?buch   ex:Autor   ex:Marlowe . }
}
```

Erster Schritt: Ersetzung einfacher Graph-Muster

- Operator *BGP*
- gleichzeitig Auflösung von abgekürzten URIs

Übersetzung in SPARQL-Algebra: *BGP*

```
{ BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.)
  FILTER (?preis < 15)
  OPTIONAL
   {BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.)}
  {BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                        <http://eg.org/Shakespeare>.)}
  UNION
  {BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                        <http://eg.org/Marlowe>.)}
}
```

Erster Schritt: Ersetzung einfacher Graph-Muster

- Operator *BGP*
- gleichzeitig Auflösung von abgekürzten URIs

Übersetzung in SPARQL-Algebra: *Union*

```
{ BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.)
  FILTER (?preis < 15)
  OPTIONAL
   {BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.)}
  {BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                      <http://eg.org/Shakespeare>.)}
  UNION
  {BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                      <http://eg.org/Marlowe>.)}
}
```

Zweiter Schritt: Zusammenfassung alternativer Graph-Muster

- Operator *Union*
- Bezug auf an `UNION` angrenzende Muster ($\rightsquigarrow$ bindet stärker als Konjunktion)
- Klammerung mehrerer Alternativen wie in Vorlesung 9 besprochen (linksassoziativ)

AIFB

Übersetzung in SPARQL-Algebra: *Union*

```
{ BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.)
  FILTER (?preis < 15)
  OPTIONAL
   {BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.)}
  {BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                      <http://eg.org/Shakespeare>.)}
  UNION
  {BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                      <http://eg.org/Marlowe>.)}
}
```

Zweiter Schritt: Zusammenfassung alternativer Graph-Muster

- Operator *Union*
- Bezug auf an `UNION` angrenzende Muster ($\rightsquigarrow$ bindet stärker als Konjunktion)
- Klammerung mehrerer Alternativen wie in Vorlesung 9 besprochen (linksassoziativ)

Übersetzung in SPARQL-Algebra: *Union*

```
{ BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.)
  FILTER (?preis < 15)
  OPTIONAL
   {BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.)}
  Union({BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                   <http://eg.org/Shakespeare>.)},
        {BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                   <http://eg.org/Marlowe>.)})
}
```

Zweiter Schritt: Zusammenfassung alternativer Graph-Muster

- Operator *Union*
- Bezug auf an `UNION` angrenzende Muster ($\rightsquigarrow$ bindet stärker als Konjunktion)
- Klammerung mehrerer Alternativen wie in Vorlesung 9 besprochen (linksassoziativ)

AIFB

Übersetzung in SPARQL-Algebra

$Join(M_1, M_2)$	konjunktive Verknüpfung von M_1 und M_2
$LeftJoin(M_1, M_2, F)$	optionale Verknüpfung von M_1 mit M_2 unter der Filterbedingung F
$Filter(F, M)$	Anwendung des Filterausdrucks F auf M
Z	Konstante für *leeren Ausdruck*

Übersetzung in SPARQL-Algebra

$Join(M_1, M_2)$	konjunktive Verknüpfung von M_1 und M_2
$LeftJoin(M_1, M_2, F)$	optionale Verknüpfung von M_1 mit M_2 unter der Filterbedingung F
$Filter(F, M)$	Anwendung des Filterausdrucks F auf M
Z	Konstante für *leeren Ausdruck*

Verbleibende Übersetzung schrittweise von innen nach außen:

1. Wähle ein innerstes gruppierendes Graph-Muster M
2. Entferne Filterausdrücke aus M;
   $GF :=$ Konjunktion der Filterbedingungen
3. Initialisiere $G := Z$, und arbeitete alle Teilausdrücke UA ab:
   - Falls $UA =$ `OPTIONAL` $Filter(F, A)$: $G := LeftJoin(G, A, F)$
   - Ansonsten, falls $UA =$ `OPTIONAL` A: $G := LeftJoin(G, A, \texttt{true})$
   - Sonst: $G := Join(G, UA)$
4. Falls GF nicht leer ist: $G := Filter(GF, G)$

Übersetzung in SPARQL-Algebra: *(Left)Join*, *Filter* (1)

```
{ BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.)
  FILTER (?preis < 15)
  OPTIONAL
   {BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.)}
  Union({BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                   <http://eg.org/Shakespeare>.)},
        {BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                   <http://eg.org/Marlowe>.)})
}
```

Übersetzung in SPARQL-Algebra: *(Left)Join*, *Filter* (1)

```
{ BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.)
  FILTER (?preis < 15)
  OPTIONAL
   Join(Z, BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.))
  Union(Join(Z, BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                          <http://eg.org/Shakespeare>.)),
        Join(Z, BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                          <http://eg.org/Marlowe>.)))
}
```

Übersetzung in SPARQL-Algebra: *(Left)Join*, *Filter* (2)

```
{ BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.)
  FILTER (?preis < 15)
  OPTIONAL
   Join(Z, BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.))
  Union(Join(Z, BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                          <http://eg.org/Shakespeare>.)),
        Join(Z, BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                          <http://eg.org/Marlowe>.)))
}
```

Übersetzung in SPARQL-Algebra: *(Left)Join*, *Filter* (2)

```
Filter((?preis < 15),
 Join(
  LeftJoin(
   Join(Z, BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.)),
   Join(Z, BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.)),
   true
  ), Union(Join(Z, BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                        <http://eg.org/Shakespeare>.)),
           Join(Z, BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                        <http://eg.org/Marlowe>.)))
 )
)
```

Modifikator-Operationen

Operationen zur Darstellung der Modifikatoren:

OrderBy(*G*, Sortierangaben)	Sortiere Lösungen in Ergebnisliste
Distinct(*G*)	Entferne doppelte Lösungen aus Ergebnisliste
Slice(*G*, *o*, *l*)	Beschneide Ergebnisliste auf Abschnitt der Länge *l* ab Position *o*
Project(*G*, Variablenliste)	Beschränke alle Lösungen auf die angegebenen Variablen

Anwendung der Modifikatoren

Die Modifikator-Operationen werden in bestimmter Reihenfolge angewandt:

1. $G := \mathit{OrderBy}(G, \text{Sortieranweisungen})$, wenn `ORDER BY` mit diesen Sortieranweisungen verwendet wurde.
2. $G := \mathit{Project}(G, \text{Variablenliste})$, wenn das Format `SELECT` mit dieser Liste ausgewählter Variablen verwendet wurde.
3. $G := \mathit{Distinct}(G)$, wenn `DISTINCT` verwendet wurde.
4. $G := \mathit{Slice}(G, o, l)$, wenn Angaben „`OFFSET` o“ und „`LIMIT` l“ gemacht wurden. Standardwerte bei fehlender Angabe sind $o = 0$ und $l =$ Länge von $G - o$.

Outline

1 Einleitung und Motivation

2 Umwandlung von Anfragen in SPARQL-Algebra

3 Rechnen mit der SPARQL-Algebra

4 Zusammenfassung

Definition der SPARQL-Operationen

Wie sind die Operationen der SPARQL-Algebra definiert?

Ausgabe:

- „Ergebnistabelle“ (Formatierung hier nicht relevant)

Eingabe:

- Angefragte RDF-Datenbasis
- Teilergebnisse von Unterausdrücken
- verschiedene Parameter je nach Operation

$\rightsquigarrow$ Wie sollen „Ergebnisse“ formal dargestellt werden?

AIFB

SPARQL-Ergebnisse

Intuition: Ergebnisse kodieren Tabellen mit Variablenbelegungen

Ergebnis:

Liste von *Lösungen* (Lösungssequenz)

$\rightsquigarrow$ jede Lösung entspricht einer Tabellenzeile

SPARQL-Ergebnisse

Intuition: Ergebnisse kodieren Tabellen mit Variablenbelegungen

Ergebnis:

Liste von *Lösungen* (Lösungssequenz)

$\rightsquigarrow$ jede Lösung entspricht einer Tabellenzeile

Lösung:

Partielle Abbildung (Funktion)

- Definitionsbereich (Domäne): ausgewählte Menge von Variablen
- Wertebereich: URIs $\cup$ leere Knoten $\cup$ RDF-Literale

$\rightsquigarrow$ Ungebundene Variablen sind solche, die von einer Lösung keinen Wert zugewiesen bekommen (*partielle* Funktion).

AIFB

Das leere Ausdruck *Z*

Wofür steht der „leere Ausdruck“ *Z*?

Das leere Ausdruck Z

Wofür steht der „leere Ausdruck“ Z?

- Domäne: $\emptyset$ (keine ausgewählten Ergebnisse)
- Lösungen: genau eine (es gibt eine Funktion mit leerem Wertebereich, aber nur eine)

$\rightsquigarrow$ „Tabellen mit einer Zeile aber keiner Spalte“

Berechnung einfacher Graphmuster

Eine partielle Funktion μ ist eine Lösung des Ausdrucks *BGP(T)* (*T*: Liste von Tripeln), falls gilt:

1. Domäne von μ ist genau die Menge der Variablen in *T*
2. Durch Ersetzung von leeren Knoten durch URIs, leere Knoten oder RDF-Literale kann man *T* in eine Liste von Tripeln *T′* umwandeln, so dass gilt:

   Alle Tripel in $\mu(T')$ kommen im angefragten Graph vor

Ergebnis von *BGP(T)*:

Liste aller solcher Lösungen μ (Reihenfolge undefiniert)

Vereinigung von Lösungen

Zwei Lösungen μ_1 und μ_2 sind kompatibel wenn gilt
$\mu_1(x) = \mu_2(x)$ für alle x, für die μ_1 und μ_2 definiert sind

Vereinigung von zwei kompatiblen Lösungen μ_1 und μ_2:

$$\mu_1 \cup \mu_2(x) = \begin{cases} \mu_1(x) & \text{falls } x \text{ in der Domäne von } \mu_1 \text{ vorkommt} \\ \mu_2(x) & \text{falls } x \text{ in der Domäne von } \mu_2 \text{ vorkommt} \\ \text{undefiniert} & \text{in allen anderen Fällen} \end{cases}$$

$\rightsquigarrow$ einfache Intuition: Vereinigung von zusammenpassenden Tabellenzeilen

Definition der SPARQL-Operationen

Jetzt können wir wesentliche Operationen definieren:

- *Filter*$(\Psi, F) =$
  $\{\mu \mid \mu \in \Psi$ und $\mu(F)$ ist ein Ausdruck mit Ergebnis `true`$\}$
- *Join*$(\Psi_1, \Psi_2) =$
  $\{\mu_1 \cup \mu_2 \mid \mu_1 \in \Psi_1, \mu_2 \in \Psi_2,$ und μ_1 kompatibel zu $\mu_2\}$
- *Union*$(\Psi_1, \Psi_2) = \{\mu \mid \mu \in \Psi_1$ oder $\mu \in \Psi_2\}$
- *LeftJoin*$(\Psi_1, \Psi_2, F) =$
  $\{\mu_1 \cup \mu_2 \mid \mu_1 \in \Psi_1, \mu_2 \in \Psi_2,$ und μ_1 kompatibel zu μ_2 und
  $\mu_1 \cup \mu_2(F)$ ist ein Ausdruck mit Ergebnis `true`$\} \cup$
  $\{\mu_1 \mid \mu_1 \in \Psi_1$ und für alle $\mu_2 \in \Psi_2$ gilt:
  entweder ist μ_1 nicht kompatibel zu μ_2
  oder $\mu_1 \cup \mu_2(F)$ ist nicht `true`$\}$

Legende:
Ψ, Ψ_1, Ψ_2 – Ergebnisse, μ, μ_1, μ_2 – Lösungen, F – Filterbedingung

AIFB

Beispiel

```
@prefix ex:  <http://example.org/> .
@prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> .
ex:Hamlet          ex:Autor  ex:Shakespeare ;
                   ex:Preis  "10.50"^^xsd:decimal .
ex:Macbeth         ex:Autor  ex:Shakespeare .
ex:Tamburlaine     ex:Autor  ex:Marlowe ;
                   ex:Preis  "17"^^xsd:integer .
ex:DoctorFaustus   ex:Autor  ex:Marlowe ;
                   ex:Preis  "12"^^xsd:integer ;
      ex:Titel  "The Tragical History of Doctor Faustus" .
ex:RomeoJulia      ex:Autor  ex:Brooke ;
                   ex:Preis  "9"^^xsd:integer .
```

```
{ ?buch   ex:Preis   ?preis .  FILTER (?preis < 15)
  OPTIONAL { ?buch   ex:Titel   ?titel . }
  { ?buch   ex:Autor   ex:Shakespeare . } UNION
  { ?buch   ex:Autor   ex:Marlowe . }
}
```

AIFB

Beispielrechnung (1)

```
Filter((?preis < 15),
 Join(
  LeftJoin(
   BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.),
   BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.),
   true
  ), Union(BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Shakespeare>.),
           BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Marlowe>.))
 )
)
```

buch
ex:Tamburlaine
ex:DoctorFaustus

Beispielrechnung (2)

```
Filter((?preis < 15),
 Join(
  LeftJoin(
   BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.),
   BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.),
   true
  ), Union(BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Shakespeare>.),
           BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Marlowe>.))
 )
)
```

buch
ex:Macbeth
ex:Hamlet

Beispielrechnung (3)

```
Filter((?preis < 15),
 Join(
  LeftJoin(
   BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.),
   BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.),
   true
  ), Union(BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Shakespeare>.),
           BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Marlowe>.))
 )
)
```

buch
ex:Hamlet
ex:Macbeth
ex:Tamburlaine
ex:DoctorFaustus

Beispielrechnung (4)

```
Filter((?preis < 15),
 Join(
  LeftJoin(
   BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.),
   BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.),
   true
  ), Union(BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Shakespeare>.),
           BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Marlowe>.))
 )
)
```

buch	preis
ex:Hamlet	"10.50"^^xsd:decimal
ex:Tamburlaine	"17"^^xsd:integer
ex:DoctorFaustus	"12"^^xsd:integer
ex:RomeoJulia	"9"^^xsd:integer

Beispielrechnung (5)

```
Filter((?preis < 15),
 Join(
  LeftJoin(
   BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.),
   BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.),
   true
  ), Union(BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Shakespeare>.),
           BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Marlowe>.))
 )
)
```

buch	titel
ex:DoctorFaustus	"The Tragical History of Doctor Faustus"

Beispielrechnung (6)

```
Filter((?preis < 15),
 Join(
  LeftJoin(
   BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.),
   BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.),
   true
  ), Union(BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Shakespeare>.),
           BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Marlowe>.))
 )
)
```

buch	preis	titel
ex:Hamlet	"10.50"^^xsd:decimal	
ex:Tamburlaine	"17"^^xsd:integer	
ex:DoctorFaustus	"12"^^xsd:integer	"The Tragical History ..."
ex:RomeoJulia	"9"^^xsd:integer	

Beispielrechnung (7)

```
Filter((?preis < 15),
 Join(
  LeftJoin(
   BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.),
   BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.),
   true
  ), Union(BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Shakespeare>.),
           BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Marlowe>.))
 )
)
```

buch	preis	titel
ex:Hamlet	"10.50"^^xsd:decimal	
ex:Tamburlaine	"17"^^xsd:integer	
ex:DoctorFaustus	"12"^^xsd:integer	"The Tragical History ..."

Beispielrechnung (8)

```
Filter((?preis < 15),
 Join(
  LeftJoin(
   BGP(?buch <http://eg.org/Preis> ?preis.),
   BGP(?buch <http://eg.org/Titel> ?titel.),
   true
  ), Union(BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Shakespeare>.),
           BGP(?buch <http://eg.org/Autor>
                     <http://eg.org/Marlowe>.))
 )
)
```

buch	preis	titel
ex:Hamlet	"10.50"^^xsd:decimal	
ex:DoctorFaustus	"12"^^xsd:integer	"The Tragical History ..."

Outline

1. Einleitung und Motivation
2. Umwandlung von Anfragen in SPARQL-Algebra
3. Rechnen mit der SPARQL-Algebra
4. Zusammenfassung

Zusammenfassung

SPARQL als Anfragesprache für RDF

- W3C-Standard (beinahe), sehr große Verbreitung
- Anfrage basierend auf Graphmuster
- Diverse Erweiterungen (Filter, Modifikatoren, Ausgabeformate)
- Spezifikation von Anfragesyntax, Ergebnisfromat, Anfrageprotokoll
- Semantik durch Übersetzung in SPARQL-Algebra

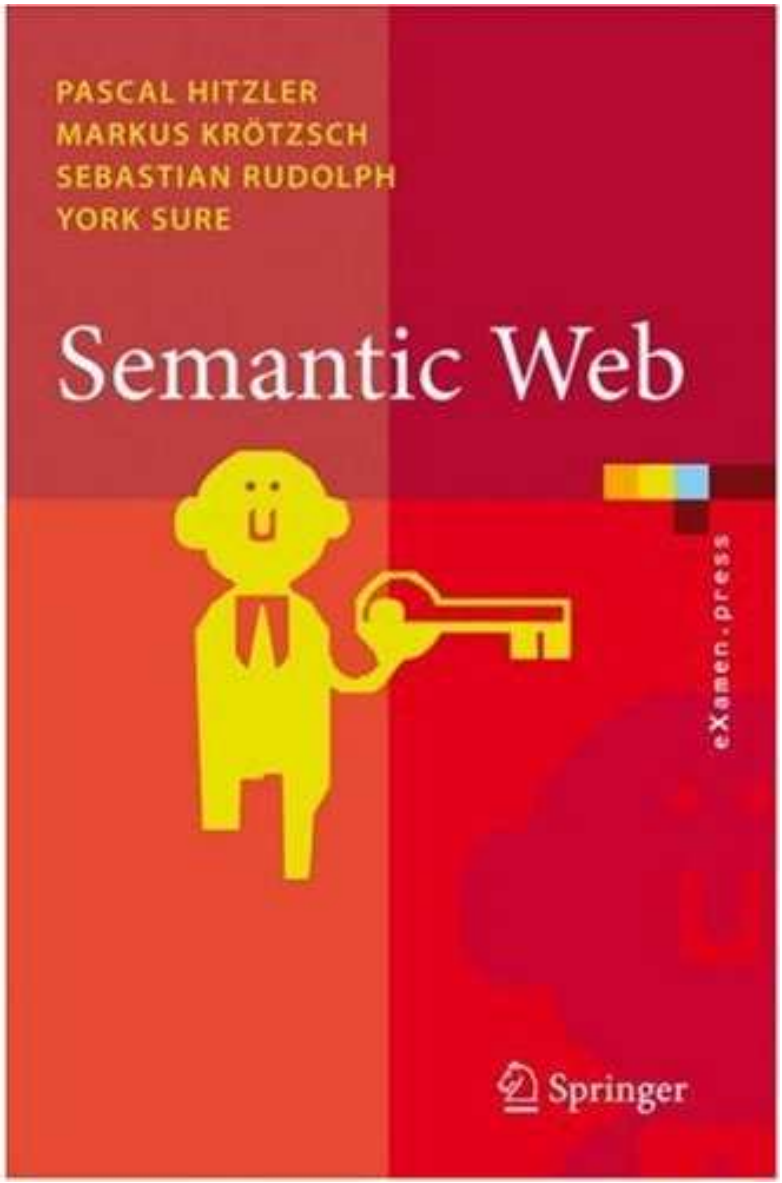
AIFB

Literatur

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



AIFB