

# Konjunktive Anfragen und Regelsprachen

Andreas Harth

Institut AIFB · KIT

Semantic Web Technologies I (WS13/14)

Institut AIFB, KIT

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

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

# Grundlagen Semantic Web

- 1 Einleitung und XML
- 2 Einführung in RDF
- 3 RDF Schema
- 4 Logik – Grundlagen
- 5 Semantik von RDF(S)
- 6 SPARQL – Syntax und Intuition
- 7 Semantik von SPARQL
- 8 OWL – Syntax und Intuition I
- 9 OWL – Syntax und Intuition II
- 10 OWL – Semantik und Reasoning
- 11 **Konjunktive Anfragen und Regelsprachen**
- 12 Anwendungen/Linked Data
- 13 Web Service und Web API Grundlagen
- 14 Fragestunde

Literatur zu dieser Vorlesung online siehe

→ [Semantic Web – Grundlagen, Kapitel 7](#) und → [Vorlesungswebseite](#)

## Vorlesung 11:

- Ausdrucksstarke Anfragen für OWL  
  ⇨ Konjunktive Anfragen
- Erweiterung von OWL zur Wissensrepräsentation  
  ⇨ SWRL, Datalog, und DL-safe Rules

# Ausdrucksstarke Anfragen für OWL?

SPARQL als Anfragesprache für RDF

↪ keine direkte Unterstützung für OWL

Anfrageformalismus für OWL DL: **konjunktive Anfragen**

- keine offizielle Spezifikation, keine normative Syntax
  - ↪ uns reichen hier Kurzschreibweisen anstelle von vollen URIs
- Ziel: ausdrucksstärkere Anfragen nach *Individuen*
- keine Betrachtung von Formatierung oder Nachbearbeitung der Ergebnisse
- praktische Bedeutung für Anwendungen
- verschiedene Implementierungen verfügbar

Konjunktive Anfragen sind recht einfach!

Beispiel:

$$\text{Buch}(x) \wedge \text{VerlegtBei}(x, \text{Springer}) \wedge \text{Autor}(x, y)$$

„Welche Bücher sind bei Springer erschienen und wer hat sie geschrieben?“

- Syntax angelehnt an Prädikatenlogik
- Hauptelemente: Bezeichner von Rollen/Klassen/Individuen, Variablen, Konjunktion  $\wedge$

# Semantik konjunktiver Anfragen

Konjunktive Anfragen ähneln logischen Formeln

↪ Anfragen ohne Variablen können aus einer Ontologie *folgen*

↪ Variablen als Platzhalter für Bezeichner von Individuen

Funktion  $\mu$  ist **Lösung einer konjunktiven Anfrage**  $q$  für eine Ontologie  $O$ , falls gilt:

- 1 Domäne von  $\mu$  ist die Menge der freien Variablen in  $q$
- 2 Wertebereich von  $\mu$  ist die Menge der Individuenbezeichner in  $O$
- 3  $O \models \mu(q)$ , d.h.  $q$  mit dieser Variablenbelegung folgt aus  $O$

↪ keine partielle Funktion – alle Variablen müssen belegt sein

↪ Literale (Datentypen) hier zur Vereinfachung nicht betrachtet

# Unbenannte Elemente

Variablen bisher als Platzhalter für (benannte) Individuen,  
aber

OWL-Ontologien können auch die **Existenz unbenannter Elemente** implizieren

Beispiel:

$\text{Buch}(a)$                       ( $a$  ist ein Buch)

$\text{Buch} \sqsubseteq \exists \text{Autor.T}$       (jedes Buch hat einen Autor)

$\rightsquigarrow$  **Anfrage**  $\text{Buch}(x) \wedge \text{Autor}(x, y)$  hat keine Lösung!

# Unbestimmte Variablen

Wie können Anfragen auch unbenannte Individuen berücksichtigen?

- unbenannte Elemente können kaum als Teil der Lösung ausgegeben werden
- wir wollen nur die *Existenz* geeigneter Elemente fordern

↪ **Unbestimmte Variablen** werden durch Existenzquantoren gebunden

Beispiel:

$\text{Buch}(a)$  ( $a$  ist ein Buch)

$\text{Buch} \sqsubseteq \exists \text{Autor.T}$  (jedes Buch hat einen Autor)

Anfrage  $\exists y.(\text{Buch}(x) \wedge \text{Autor}(x, y))$

↪ Lösung  $\{x \mapsto a\}$ , aber  $y$  nicht Teil der Lösung

Kennzeichen verschiedener Arten von Anfragevariablen:

- Unbenannte Werte: Sind Werte möglich, die keine Bezeichner (URI/Literal) haben?
- Ausgabe: Erscheint die Variable in Lösungen der Anfrage?

↪ „SPARQL für OWL“:

leere Knoten der Ontologie: Individuen oder unbenannte Elemente?

# Vergleich mit SPARQL

<b>SPARQL</b>	<b>konjunktive Anfragen</b>
Muster in Graphen	logische Konjunktionen
ein kanonisches Modell	viele mögliche Modelle
Optionen, Alternativen, Filter	—
Abfrage beliebiger Elemente, z.B. von Property-Bezeichnern	nur Abfrage von Instanzen (strikte Typung)
Variablen für beliebige Elemente	Bestimmte und unbestimmte Variablen

„SPARQL für OWL“ ist möglich:

- Darstellung logischer Konsequenzen als Graph
- Typung wie bei OWL DL, ev. Erweiterung um in OWL übliche Anfragen (z.B. Klassenhierarchie)
- Inkompatibilitäten bei Variablensemantik müssen akzeptiert werden

Mögliche Erweiterungen konjunktiver Anfragen:

- **Filter, Modifikatoren, Ergebnisformate:** Definition wie in SPARQL möglich, unabhängig von Anfrage (Filter unproblematisch wenn kein `OPTIONAL`)
- **Negation:** Zulassung von  $\neg$  vor Anfrageausdrücken
- **Disjunktionen:** Zulassung von  $\vee$ , entspricht `UNION` in SPARQL, „disjunktive Anfragen“
- **Komplexe Pfadausdrücke:** Reguläre Ausdrücke zur Beschreibung von Mustern aus Rollen, z.B. Anfrage nach allen Vorfahren einer Person (enthält beliebig lange Kette aus Rolle „KindVon“)

Schlussfolgern mit OWL DL ist sehr komplex (NEXPTIME-vollständig)

↪ Wie schwierig sind dann konjunktive Anfragen?

Bisher noch nicht abschließend geklärt!

- Konjunktive Anfragen für *SHIQ* (und für OWL Lite):  
2EXPTIME-vollständig!
- Konjunktive Anfragen für *SHOQ*: entscheidbar in 2EXPTIME
- Konjunktive Anfragen für *SHOIQ* (und für OWL DL):  
Entscheidbarkeit nicht bekannt!  
(Entscheidbar falls keine non-simple roles in der Anfrage  
enthalten sind.)

↪ konjunktive Anfragen für OWL sind äußerst kompliziert

Implementationen von konjunktiven Anfragen für OWL verfügbar:

- **KAON2**: konjunktive Anfragen ohne unbestimmte Variablen, eingeschränkte Negation zulässig (→ Webseite)
- **Pellet**: konjunktive Anfragen mit unbestimmten Variablen und Negationen, nicht vollständig für OWL DL (→ Webseite)
- weitere Systeme mit speziellen Anfragesprachen (**RacerPro**) oder Beschränkung auf einfachere DLs (**QuOnto** für „DL-Lite“)

↔ Einschränkung des Problems für bessere Implementierbarkeit

# Was sind Regeln?

- 1 Logische Regeln (Fragmente von Prädikatenlogik):
  - „ $F \rightarrow G \equiv \neg F \vee G$ “
  - Logische Erweiterung der Wissensbasis  $\rightsquigarrow$  **statisch**
  - Open World
  - **Deklarativ** (beschreibend)
- 2 Prozedurale Regeln (z.B. Production Rules):
  - „*If X then Y else Z*“
  - Ausführbare Maschinen-Anweisungen  $\rightsquigarrow$  **dynamisch**
  - **Operational** (Bedeutung = Effekt bei Ausführung)
- 3 Logikprogrammierung et al. (z.B. PROLOG, F-Logik):
  - „`mann(X) <- person(X) AND NOT frau(X)`“
  - Approximation logischer Semantik mit operationalen Aspekten, Built-ins möglich
  - häufig Closed World
  - **Semi-deklarativ**

# Welche Regelsprache?

Regelsprachen sind untereinander kaum kompatibel!

↪ Wahl der geeigneten Regelsprache sehr wichtig

Mögliche Kriterien:

- Klare Spezifikation von Syntax und Semantik?
- Unterstützung durch Software-Tools?
- Welche Ausdrucksmittel werden benötigt?
- Komplexität der Implementierung? Performanz?
- Kompatibilität mit bestehenden Formaten wie OWL?
- Deklarativ (Beschreiben) oder operational (Programmieren)?
- ...

Hier: nur Horn-Regeln ohne Funktionssymbole  $\rightsquigarrow$  **Datalog-Regeln**

## Datalog

- logische Regelsprache, ursprünglich Grundlage *deduktiver Datenbanken*
- Wissensbasen („Programme“) aus Horn-Klauseln ohne Funktionssymbole
- entscheidbar
- effizient für große *Datenmengen*, Gesamtkomplexität EXPTIME

## Datalog in der Praxis:

- verschiedene Implementierungen verfügbar
- Anpassungen für das Semantic Web: XSD-Typen, URIs (z.B. → IRIS)

## Erweiterungen von Datalog:

- *disjunktives Datalog* erlaubt Disjunktionen in Köpfen
- nichtmonotone Negation (keine prädikatenlogische Semantik)
- Einbindung von Informationen aus OWL-Ontologien (→ dl-programs, → dlvhex)  
↔ lose Kopplung von OWL und Datalog (nicht über gemeinsame prädikatenlogische Semantik)

Wie kann man Datalog und OWL DL kombinieren?

## SWRL – „Semantic Web Rule Language“

- Vorschlag einer OWL-Regelerweiterung (W3C-Einreichung)
- basierend auf Datalog
- Prädikate nur einstellig (Klassen) oder zweistellig (Rollen)
- Prädikatsnamen aus OWL-Ontologie oder als neue (nicht-OWL) Symbole
- OWL-Terme: OWL-Individuen oder Datenlitterale als Konstanten,
- Zusätzliche *Built-Ins* zur Verarbeitung von Datentypen
- mehrere syntaktische Darstellungen

Beispiele:

$\text{hatMutter}(?x, ?y) \wedge \text{hatBruder}(?y, ?z) \Rightarrow \text{hatOnkel}(?x, ?z)$   
 $\text{Person}(?x) \wedge (\leq 1 \text{ hatKind})(?x) \Rightarrow (\leq 1 \text{ hatSohn})(?x)$

- 1 Logisches Schließen in OWL DL ist NEXPTIME-vollständig.
- 2 Logisches Schließen in Datalog ist EXPTIME-vollständig.

↪ Wie schwer ist logisches Schließen in OWL+SWRL?

Logisches Schließen in OWL+SWRL ist unentscheidbar.

## Idee

SWRL soweit einschränken, dass Entscheidbarkeit garantiert ist.

- Beliebige Datalog-Regeln erlaubt, wobei OWL-Klassen und -Rollennamen eingebaut werden dürfen
- Regeln müssen **DL-safe** sein: Jede Variable muss auch in einem Ausdruck im Rumpf auftreten, der keine OWL-Klasse oder -Rolle verwendet!
- Semantik übernommen von OWL+SWRL (Prädikatenlogik).

↔ DL-safety schränkt die Anwendbarkeit von Regeln auf benannte Individuen ein

# Was haben konjunktive Anfragen mit Regeln zu tun?

Jede konjunktive Anfrage kann als Regel ausgedrückt werden:

$$\exists y.(\text{Buch}(x) \wedge \text{Autor}(x, y))$$

entspricht

$$\text{Ergebnis}(x) \leftarrow \text{Buch}(x) \wedge \text{Autor}(x, y)$$

↪ Kopf enthält Bindungen für bestimmte Variablen

Zusätzliche Schwierigkeit von Regeln:

- Ergebnisse können in anderen Regeln/Ontologieaxiomen weiterverwendet werden (Rekursion!)
- Variablen nicht immer auf benannte Individuen beschränkt (außer für Ausgabe und in DL-safe Rules)

## Konjunktive Anfragen für OWL DL

- kein offizieller Standard, aber große Verbreitung
- Anfrage basierend auf logischer Beschreibung
- Diverse Erweiterungen (SPARQL-Features,  $\neg$ ,  $\vee$ , Pfadausdrücke)
- Keine normierte Syntax (manche Implementationen verwenden SPARQL-Syntax)
- Semantik durch Erweiterung der beschreibungslogischen Interpretation von OWL

## Prädikatenlogische Regelerweiterungen für OWL DL

- Datalog als gut bekannter Formalismus
- Kombination mit OWL möglich: SWRL
- Einschränkung auf DL-safe Rules erzielt Entscheidbarkeit
- Keine normierte Syntax, kein offizieller Standard
- Semantik durch Erweiterung der beschreibungslogischen Interpretation von OWL

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:  
Kapitel 7 (Anfragen) & Vorlesung 11

