



Vorlesung

Webbasierte Informationssysteme

(CS4130)

Einführung in das Semantic Web, RDF und SPARQL

Professor Dr. rer. nat. habil. Sven Groppe

<https://www.ifis.uni-luebeck.de/index.php?id=groppe>



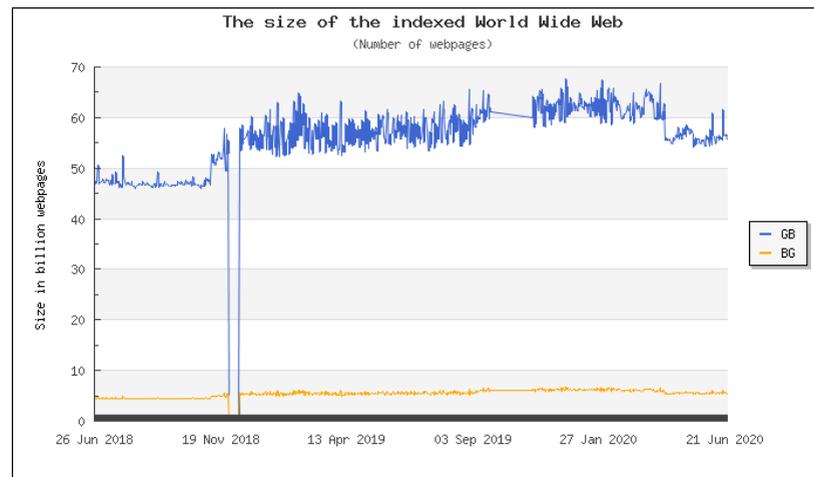
Chronologische Übersicht über die Themen

Überblick über die Vorlesung

- Einführung in das Semantic Web
- Überblick über die Standards des Semantic Webs
- Das Datenmodell des Semantic Webs
- Die Anfragesprache des Semantic Webs

World Wide Web (WWW): Bestandsaufnahme

- meist verwendeter Dienst im Internet
- Ca. 50 Milliarden Dokumente (geschätzt)



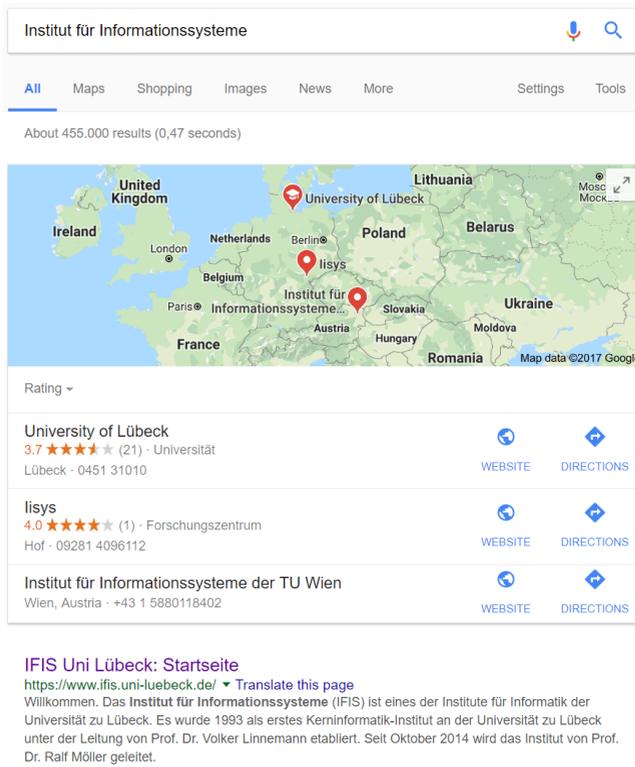
GB: Sorted on Google and **BG:** Sorted on Bing and Google

Source: www.worldwidewebsite.com

Besonderheiten des WWW

- Hypertext Transfer Protocol (HTTP)
 - Jeder Rechner kann weltweit Informationsquelle sein
 - Hypertext Markup Language (HTML), Extensible Markup Language (XML), Javascript
 - Standards für die Darstellung und Verknüpfung von Informationen / für die Code-Ausführung im Browser
 - Web-Services
 - Jeder Rechner kann weltweit einen Dienst anbieten
- ➔ **Metadaten** für die Beschreibung von **Semantik**: stark wachsender Bedarf (und Präsenz)

Herausforderungen für das WWW



Institut für Informationssysteme

All Maps Shopping Images News More Settings Tools

About 455.000 results (0,47 seconds)

Rating ▾

University of Lübeck 3.7 ★★★★★ (21) · Universität Lübeck · 0451 31010	WEBSITE	DIRECTIONS
lisys 4.0 ★★★★★ (1) · Forschungszentrum Hof · 09281 4096112	WEBSITE	DIRECTIONS
Institut für Informationssysteme der TU Wien Wien, Austria · +43 1 5880118402	WEBSITE	DIRECTIONS

IFIS Uni Lübeck: Startseite
<https://www.ifis.uni-luebeck.de/> [Translate this page](#)
Willkommen. Das **Institut für Informationssysteme (IFIS)** ist eines der Institute für Informatik der Universität zu Lübeck. Es wurde 1993 als erstes Kerninformatik-Institut an der Universität zu Lübeck unter der Leitung von Prof. Dr. Volker Linnemann etabliert. Seit Oktober 2014 wird das Institut von Prof. Dr. Ralf Möller geleitet.

- **Information Retrieval**
 - Synonyme (zu wenige Resultate)
 - Homonyme (ungewollte Resultate)
 - Keine Kontexteingrenzung
- **Bedeutung von Ontologien**
 - Begriffsfindung/-abgrenzung
 - Kontextanalyse
 - Automatische Anfrageverfeinerung
 - dokumentenübergreifende Beantwortung von Anfragen
 - **Stichworte:**
Textsynthese, Summarization

Herausforderungen für das WWW

Vertiefungen und Anwendungsfächer

Web and Data Science

Die kanonische Vertiefung im Bachelor

Anwendungen in Industrie, Medizin, Verwaltung und Wirtschaft erzeugen zunehmend größere Datenmengen, deren Auswertung ein großes Potential zur Optimierung von Prozessen bzw. Produkten und zur Akquise neuer Kunden bietet, um nur einige Möglichkeiten zu nennen.

Es hat sich im Sprachgebrauch der Begriff Data Science herausgebildet, um die Extraktion von Wissen aus großen Datenmengen zu charakterisieren, so dass hieraus möglicherweise Handlungsempfehlungen oder Hinweise zur Entscheidungsunterstützung systematisch abgeleitet werden können. Zusätzlich wird in Zukunft die Auswertung von vernetzten Strukturen, wie z.B. dem Web, weiter an Bedeutung gewinnen, so dass vielfältige neue Anwendungsfelder erschlossen werden können.

Mit Web und Data Science können Unternehmen effektiver arbeiten, es werden neuartige Behandlungsmethoden entwickelt oder Verwaltungsstrukturen besser organisiert, und es können wirtschaftliche Prozesse besser gelenkt werden. Das spannende Feld benötigt solide Kenntnisse in der Informatik, insbesondere spezielle Kenntnisse aus den Bereichen Algorithmik, Codierung, Datenmanagement (Big Data) und Datenauswertung (Data Mining) sowie aus dem Bereich des Maschinellen Lernens. Informatikkenntnisse werden in der Vertiefung mit relevanten mathematischen Methoden kombiniert, besonders aus den Bereichen Stochastik (Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik) sowie Optimierung.

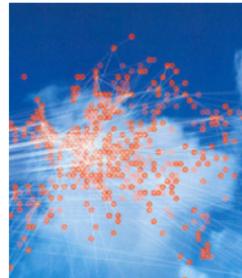
Aufbauend auf diesen Kenntnissen werden die Studierenden in die Lage versetzt, z.B. Klassifikatoren zu bestimmen oder Modelle automatisch aus Daten zu gewinnen, wobei für die zielgerichtete praktische Verwendung von Modellen verschiedene mathematische und informatische Modellierungstechniken systematisch kombiniert und Softwaretechniken zur Auswertung großer Datenmengen (z.B. Cloud Computing) effektiv eingesetzt werden müssen. Studierende der Vertiefung Web and Data Science erwerben Kenntnisse und Fähigkeiten, um moderne Werkzeuge der Datenanalyse anzuwenden und neuartige Werkzeuge für die Zukunft zu entwickeln. Lübeck gehört zu den Vorreiteruniversitäten, die ein solches Fach innerhalb des Informatikstudiengangs systematisch und strukturiert anbieten.

Inhalte

Die Bachelor-Veranstaltungen zu Web and Data Science wie *Codierung und Sicherheit*, *Numerik 1*, *Parallelverarbeitung*,

Berufsbild

Deutschlandweit und sogar weltweit werden in der Wirtschaft und Industrie händierend gut ausgebildete Absolventinnen und



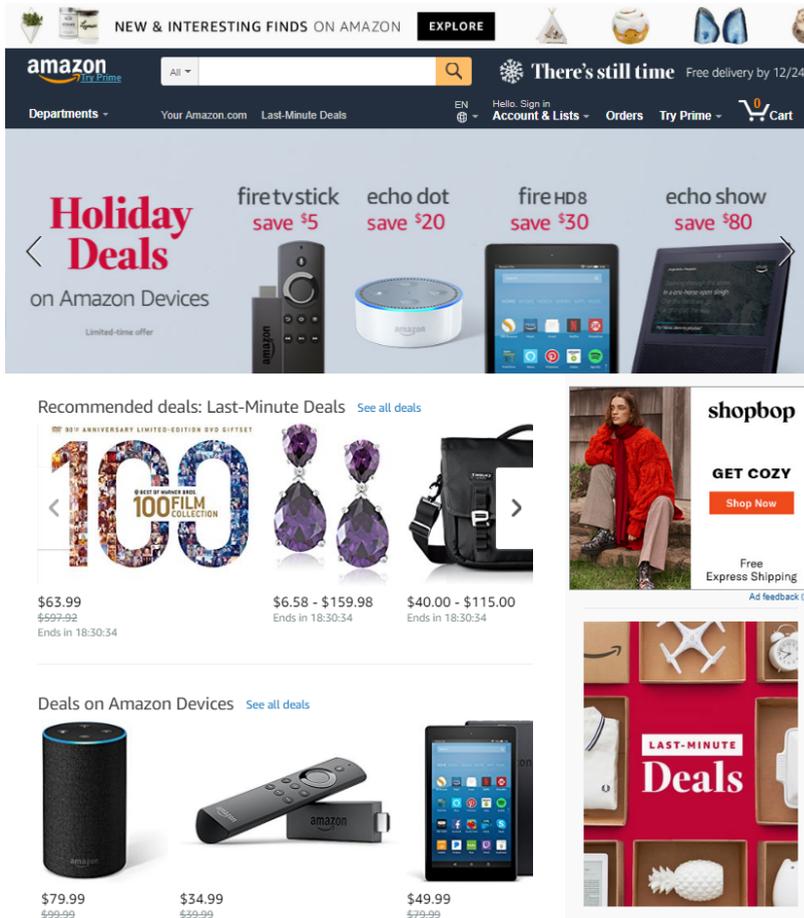
Persönliche Beratung durch:



Prof. Dr. rer. nat.
habil. Ralf Möller
Ansprechpartner Web
and Data Science

- Informationsextraktion
 - nur von Menschen (gut) durchführbar
 - Erkennung von Genre (Texttypen)
 - Informationsaggregation aus Bild und Text
 - Bewertung von Informationsqualität
- Rolle von Semantik
 - Hintergrund- und Weltwissen aus Ontologien
 - (einfache) Schlüsse folgern

Herausforderungen für das WWW



The screenshot shows the Amazon homepage with several promotional banners:

- Holiday Deals on Amazon Devices:** A banner featuring five products with their respective savings:
 - fire tvstick: save \$5
 - echo dot: save \$20
 - fire HD8: save \$30
 - echo show: save \$80
- Recommended deals: Last-Minute Deals:** A section with three items:
 - A 100th Anniversary limited-edition DVD gift set for \$63.99 (original \$59.99), ending at 18:30:34.
 - A pair of purple earrings for \$6.58 - \$159.98, ending at 18:30:34.
 - A black bag for \$40.00 - \$115.00, ending at 18:30:34.
- Deals on Amazon Devices:** A section with three items:
 - An Amazon Echo for \$79.99 (original \$99.99).
 - An Amazon Fire TV Stick for \$34.99 (original \$59.99).
 - An Amazon Fire HD8 tablet for \$49.99 (original \$79.99).
- shopbop:** A banner for a red winter jacket with the text "GET COZY" and "Shop Now".
- LAST-MINUTE Deals:** A red banner with various product images.

- **Personalisierung**
 - Anpassung von Inhalten und Darstellung
 - Erkennung von Verhaltensmustern
- **Rolle von Semantik**
 - Verallgemeinerung und Spezialisierung von Inhalten (basierend auf Ontologien)
 - Abstimmen mit Gewohnheiten und Präferenzen durch Deduktion

Vision des Semantic Webs von Tim Berners-Lee (1999)

“I have a dream for the Web ... and it has two parts.

1. **In the first part**, the Web becomes a much more powerful means for collaboration between people. I have always imagined the information space as something to which everyone has immediate and intuitive access, and not just to browse, but to create. [. . .] Furthermore, the dream of people-to-people communication through shared knowledge must be possible for groups of all sizes, interacting electronically with as much ease as they do now in person.
2. **In the second part** of the dream, collaborations extend to computers. Machines become capable of analyzing all the data on the Web—the content, links, and transactions between people and computers. A **'Semantic Web'**, which should make this possible, has yet to emerge, but when it does, the day-to-day mechanisms of trade, bureaucracy, and our daily lives will be handled by machines talking to machines, leaving humans to provide the inspiration and intuition.”

Vision des Semantic Webs nach Franczyk 2005

- **Unterstützung des Menschen** bei der Verarbeitung von Daten **als Aufgabe der Informatik**
 - Heutiges Web erfüllt diese Aufgabe nur bedingt
- **Berners-Lees Zielvorstellung: Eine Art globale Datenbank** durch Vereinigung der Eigenschaften
 - **einer (Wissens-) Datenbank**
(damit sind Daten durch Maschinen verarbeitbar)
 - **mit denen des Webs** (jeder kann zu jeder Zeit Daten (und deren Verknüpfungen untereinander) erzeugen)

Vision des Semantic Webs nach dem W3C (2015)

'In addition to the classic “Web of documents” W3C is helping to **build a technology stack** to support a “Web of data,” the sort of data you find in databases. The **ultimate goal of the Web of data is to enable computers to do more useful work** and to develop systems that can support trusted interactions over the network. The term **“Semantic Web”** refers to **W3C’s vision of the Web of linked data**. Semantic Web technologies enable people to create data stores on the Web, build vocabularies, and write rules for handling data. Linked data are empowered by technologies such as **RDF, SPARQL, OWL, and SKOS.**'

(Source: <https://www.w3.org/standards/semanticweb/>)

Lösungsansatz des Semantic Webs

- Strukturierung der (Web-) Informationen zur Erleichterung der automatisierten Auswertung
- Miteinbeziehung der Bedeutung von Symbolen zur Präzisierung der maschinellen Verarbeitung
➔ Semantic Web

Vertiefungen und Anwendungsfächer

Web and Data Science

Die kanonische Vertiefung im Bachelor

Anwendungen in Industrie, Medizin, Verwaltung und Wirtschaft erzeugen zunehmend größere Datenmengen, deren Auswertung ein großes Potential zur Optimierung von Prozessen bzw. Produkten und zur Akquise neuer Kunden bietet, um nur einige Möglichkeiten zu nennen.

Es hat sich im Sprachgebrauch der Begriff Data Science herausgebildet, um die Extraktion von Wissen aus großen Datenmengen zu charakterisieren, so dass hieraus möglicherweise Handlungsempfehlungen oder Hinweise zur Entscheidungsunterstützung systematisch abgeleitet werden können. Zusätzlich wird in Zukunft die Auswertung von vernetzten Strukturen, wie z.B. dem Web, weiter an Bedeutung gewinnen, so dass vielfältige neue Anwendungsfelder erschlossen werden können.

Mit Web and Data Science können Unternehmen effektiver arbeiten, es werden neuartige Behandlungsmethoden entwickelt oder Verwaltungsstrukturen besser organisiert, und es können wirtschaftliche Prozesse besser gelenkt werden. Das spannende Feld benötigt solide Kenntnisse in der Informatik, insbesondere spezielle Kenntnisse aus den Bereichen Algorithmik, Codierung, Datenmanagement (Big Data) und Datenauswertung (Data Mining) sowie aus dem Bereich des Maschinellen Lernens. Informatikkenntnisse werden in der Vertiefung mit relevanten mathematischen Methoden kombiniert, besonders aus den Bereichen Stochastik (Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik) sowie Optimierung.



Persönliche Beratung durch:

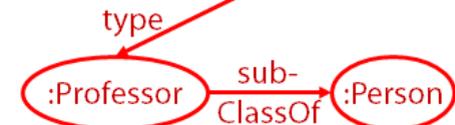


picture name

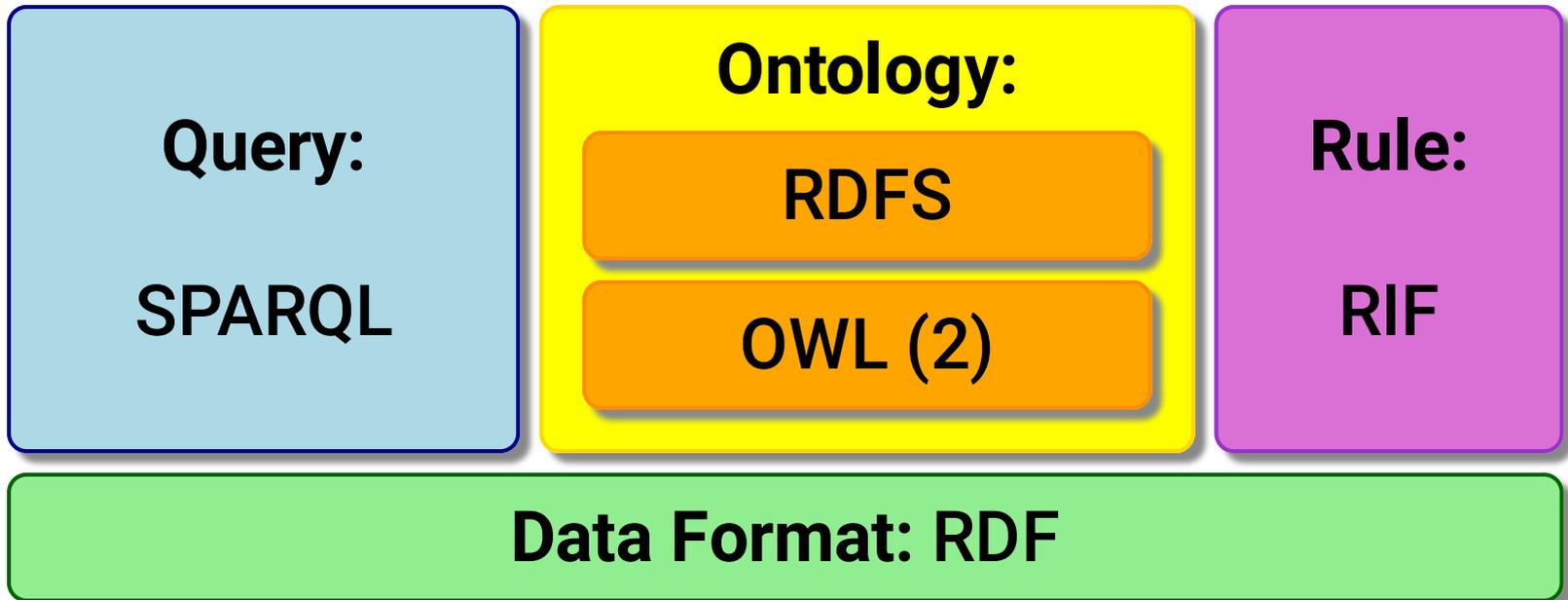
Instanz:



Ontologie:



Semantic Web Spezifikationen (Kern)



Offene Welt Annahme (Open world assumption (OWA))

- **Geschlossene Welt Annahme**
(Closed World Assumption (CWA))
in Datenbanken:

*"Die Datenbank enthält alles und
alles, was nicht in der Datenbank ist,
wird als falsch angenommen!"*

- **Offener Kontext** wie das Web
➔ **CWA Annahme falsch!**

OWA - Beispiel

- Datenquelle 1 enthält:

"Es gibt einen Flug um 14:00"

"Es gibt einen Flug um 15:00"

- Meine Anfrage:

"Gibt es einen Flug um 17:00?"

- CWA Antwort: **Nein!**
- OWA Antwort: **unbekannt!**

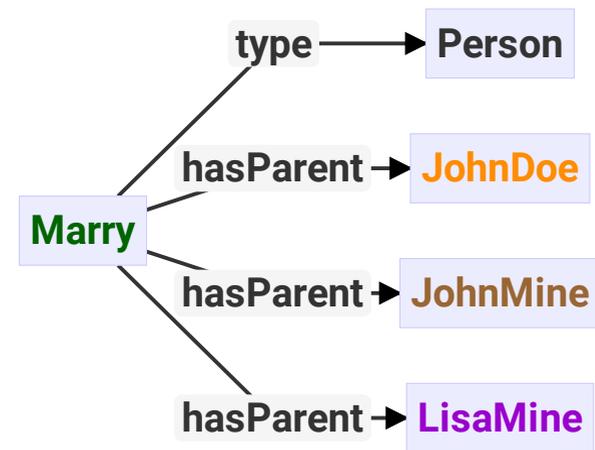
d.h. es könnte eine andere Datenquelle 2 existieren, die enthält, dass es einen Flug um 17:00 gibt!

Datenquelle 2 ist evtl. nur nicht momentan erreichbar...

Keine eindeutigen Namen/Schlüssel (No unique name assumption)

Beispiel:

Ein Kind hat 2 Elternteile (in DL:
 $\text{Person} \sqsubseteq \leq 2 \text{ hasParent. Person}$),
aber wir haben scheinbar
widersprüchliche Fakten
(auf der rechten Seite).



Es gibt **keine** eindeutigen Namen/Schlüssel

➔ **JohnDoe**, **JohnMine** und **LisaMine** sind

nicht unbedingt verschiedene Objekte (hier Personen)

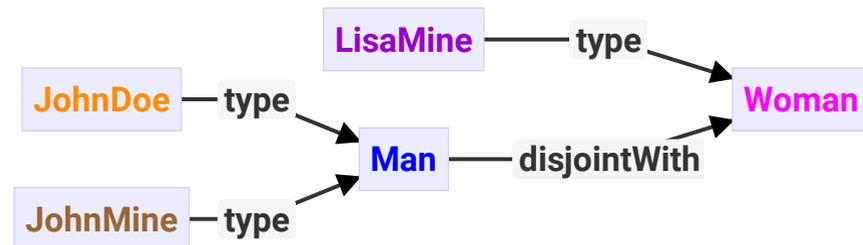
Keine eindeutigen Namen/Schlüssel (No unique name assumption)

4 verschiedene
Möglichkeiten:

1. $\text{JohnDoe} \equiv \text{JohnMine}$
2. $\text{JohnDoe} \equiv \text{LisaMine}$
3. $\text{JohnMine} \equiv \text{LisaMine}$
4. $\text{JohnDoe} \equiv \text{JohnMine} \equiv \text{LisaMine}$

Nur **1.** für Menschen intuitiv!

Hinzufügen folgender Fakten und
Axiome:

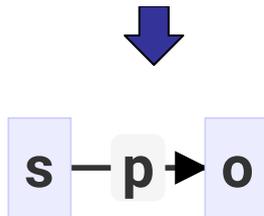


➔ automatische Herleitung der
ersten Möglichkeit!

Resource Description Framework (RDF)

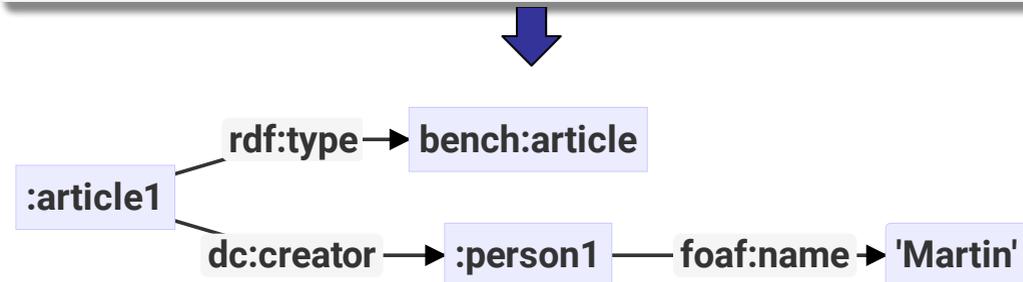
- **Datenformat** des Semantic Webs des World Wide Web Consortiums (W3C) (1999)
- RDF Daten

– Menge
von Tripeln
(s, p, o)



– Visualisierung als (RDF) Graph

```
:article1 rdf:type bench:article.  
:article1 dc:creator :person1.  
:person1 foaf:name 'Martin'.
```



Tripel - Definitionsbereich

- Grundbausteine

Grundbaustein	Symbol	Bedeutung	Beispiele (in N3, Turtle, NTriples, ...)
Internationalized Resource Identifier (IRI)	<i>I</i>	(benannter) Bezeichner nicht unbedingt reale Objektadresse wie bei URL	Langform: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer> Kurzform: @prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> xsd:integer
	<i>B</i>	"für etwas ohne Namen" (anonymer) Bezeichner ohne Verwendung einer expliziten IRI	[], oder _:name, wobei name ein lokaler Bezeichner ist, der nicht persistent ist und nur während des Imports der gerade importierten Quelle gilt (zum Zweck des Mehrfachverwendens eines Blank Nodes in dieser Quelle). ➔ Blank Nodes mit demselben lokalen Bezeichner in unterschiedlichen Quellen sind verschiedene Blank Nodes!
Literal	<i>L</i>	Wert	Einfach: "hallo" Mit Datentyp typisiert: "1"^^xsd:integer "Grill"^^<http://www.ex.org/myDataType> Mit Sprachinfo: "hallo"@DE

- Tripel $t \in \{I \cup B\} \times I \times \{I \cup B \cup L\}$

Syntaxzucker 1/2

- Objekt-Listen

```
_:b rdf:type bench:Journal .  
_:b rdf:type bench:Publication .  
_:b rdf:type bench:Media .
```



```
_:b rdf:type bench:Journal ,  
      bench:Publication ,  
      bench:Media .
```

- Prädikat-Objekt-Listen

```
_:b rdf:type bench:Journal .  
_:b dc:title "OJSW" .
```



```
_:b rdf:type bench:Journal ;  
    dc:title "OJSW" .
```

- Mischung

```
_:b rdf:type bench:Journal .  
_:b rdf:type bench:Publication .  
_:b dc:title "OJSW" .  
_:b dc:title "Op. J. of Semantic Web" .
```



```
_:b rdf:type bench:Journal ,  
      bench:Publication ;  
    dc:title "OJSW" ,  
            "Op. J. of Semantic Web" .
```

Syntaxzucker 2/2

- Blank Node-Darstellung

[] p o .



[p o].

- Ausnutzung dieser Klammerung:

```
:bookshop1 v:sells [ rdf:type v:book;  
                    v:author "Herbert",  
                           "Josef" ]  
                    v:price "10"^^xsd:int.
```



```
:bookshop1 v:sells _:b.  
_:b rdf:type v:book;  
    v:author "Herbert",  
           "Josef" ;  
    v:price "10"^^xsd:int.
```

_:b nirgendwo anders verwendet...

RDF Collections

- Wie Listen als Tripel darstellen?

N3/Turtle: `("Friday" "Saturday" "Sunday")`



SPARQL Protocol And RDF Query Language (SPARQL)

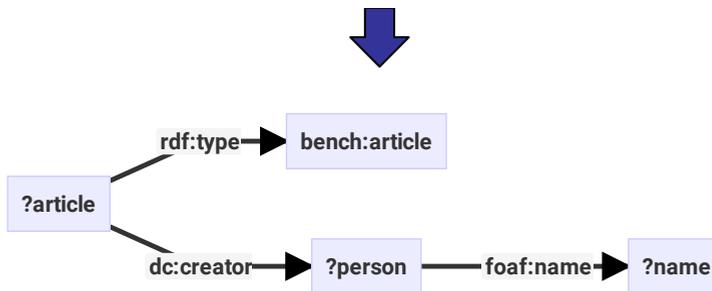
Rekursives Acronym

- (Graph) Anfragesprache für RDF Daten
- W3C Empfehlung seit Januar 2008
- Genauso mächtig wie Relationale Algebra
- Mit SPARQL 1.1 (März 2013) viele weitere Features von SQL übernommen
- Zusätzlich Protokoll standardisiert, um Anfragen an entfernte SPARQL Anfrageserver (sogenannte SPARQL Endpoints) zu stellen

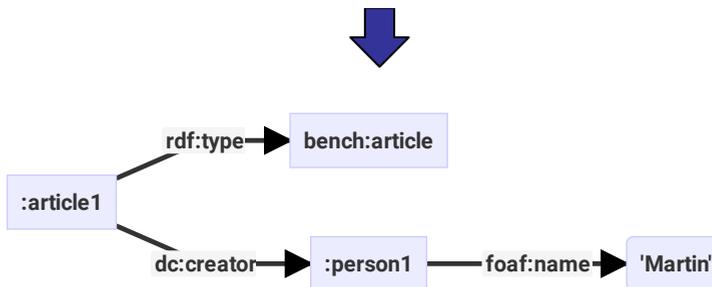
Beispiel einer SPARQL-Anfrage

```
PREFIX rdf:<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
...
SELECT ?article ?person ?name
WHERE {
  ?article rdf:type bench:article .
  ?article dc:creator ?person .
  ?person foaf:name ?name .
}
```

Anfragegraph:



Daten:



Resultat:

?article	?person	?name
:article1	:person1	'Martin'

Anfragegraph und Lösungen



- Bestimme den **Anfragegraphen**, zeichne alle **Matchings** in den RDF-Graphen ein und gebe das **Ergebnis** der SPARQL-Anfrage an

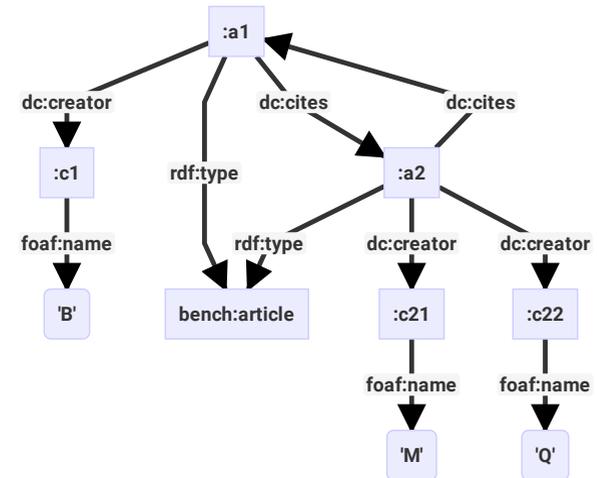
Anfrage:

```

PREFIX ...
SELECT *
WHERE {
  ?citingAuthor foaf:name ?nameOfCitingAuthor .
  ?citedAuthor foaf:name ?nameOfCitedAuthor .
  ?citingArticle rdf:type bench:Article.
  ?citedArticle rdf:type bench:Article.
  ?citingArticle dc:cites ?citedArticle.
  ?citingArticle dc:creator ?citingAuthor.
  ?citedArticle dc:creator ?citedAuthor.
}

```

RDF Graph:



SPARQL Anfragearten

- **SELECT**
 - Gibt alle oder eine Teilmenge der Variablen (und deren gebundenen Werte) einer Anfrage zurück
- **CONSTRUCT**
 - Gibt RDF Daten zurück, die ermittelt worden sind auf Grund der Substitution von Variablen in Tripel Templates
- **DESCRIBE**
 - Gibt RDF Daten zurück, die die gefundenen Resultate beschreiben
- **ASK**
 - Gibt wahr/falsch zurück basierend auf einen Match des Anfragemusters

SPARQL Anfrage - Union Operator

- \cong relationaler Op. der äußeren Vereinigung \uplus
 - Wie Vereinigung \cup , aber auch mit inkompatiblen Schemata
 - Schema des Ergebnisses ist Vereinigung der Attributmengen
 - Fehlende Werte werden mit Nullwerten \perp ergänzt

Daten:

```
@prefix dc10: <http://purl.org/dc/elements/1.0/>.
@prefix dc11: <http://purl.org/dc/elements/1.1/>.
:book1 dc10:title 'Semantic Web Starter'.
:book1 dc11:title 'Advanced Semantic Web'.
```



Anfrage:

```
PREFIX dc10: <http://purl.org/dc/elements/1.0/>
PREFIX dc11: <http://purl.org/dc/elements/1.1/>
SELECT ?title1 ?title2
WHERE { { ?book dc10:title ?title1 }
        UNION
        { ?book dc11:title ?title2 }
}
```



Resultat:

?title1	?title2
'Semantic Web Starter'	
	'Advanced Semantic Web'

SPARQL Anfrage - Optional

Daten:

```
@prefix foaf: <http://xmlns.com/foaf/0.1/>.
@prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>.
_:a rdf:type foaf:Person.
_:a foaf:name 'Alice'.
_:a foaf:mbox <mailto:alice@example.com>.
_:a foaf:mbox <mailto:alice@work.example>.
_:b rdf:type foaf:Person.
_:b foaf:name 'Bob'.
```



Anfrage:

```
PREFIX foaf: <http://xmlns.com/foaf/0.1/>
SELECT ?name ?mbox
WHERE {
  ?x foaf:name ?name .
  OPTIONAL {
    ?x foaf:mbox ?mbox .
  }
}
```



Resultat:

?name	?mbox
'Alice'	<mailto:alice@example.com>
'Alice'	<mailto:alice@work.example>
'Bob'	

\cong relationaler Op. des links-äußeren Joins \bowtie

$$R \bowtie S \equiv (R - (R \times S)) \uplus (R \bowtie S)$$

mit Semi-Join

$$R \times S \equiv R \bowtie \pi_{Attr_R \cap Attr_S}(S)$$

Sortierte Resultate - ORDER BY

- Beispiel 1:

```
PREFIX      : <http://example.org/ns#>
PREFIX foaf: <http://xmlns.com/foaf/0.1/>
SELECT ?name WHERE {
    ?x foaf:name ?name ; :empId ?emp.
}
ORDER BY ?name
```

- Beispiel 2:

```
... ORDER BY DESC(?emp)
```

- Beispiel 3:

```
... ORDER BY ASC(?name) DESC(?emp)
```

- \cong relationaler Op. der
Sortierung $\tau_{A_1, \dots, A_n}(R)$
 - Ergebnis ist keine (Multi-)Menge, sondern Liste
 - In DBMS wird häufig auch zwischendurch sortiert (oder auf vorsortierte Eingaben aus einem Index zugegriffen), um optimierte Algorithmen anzuwenden, die sortierte Eingaben erfordern

FILTER-Klausel und Builtin-Funktionen

- **regex** gleicht reguläre Ausdrücke ab...
(äquivalent zur XPath built-in Funktion **fn:matches**)

Beispiel:

```
PREFIX dc: <http://purl.org/dc/elements/1.1/>
SELECT ?title
WHERE { ?x dc:title ?title
        FILTER(regex(?title, "SPARQL")) }
```

- Auswahl weiterer Builtin-Funktionen

Operator	Beschreibung	Typ des Operanden	Rückgabetyyp
bound (A)	Ist die Variable A gebunden?	Variable	xsd:boolean
isIRI (A) oder isURI (A)	Ist A eine IRI/URI?	RDF Term	xsd:boolean
isBlank (A)	Ist A ein Blank Node?	RDF Term	xsd:boolean
isLiteral (A)	Ist A ein Literal?	RDF Term	xsd:boolean

Built-In Funktionen – Logische Operatoren und Vergleiche

Operator	Beschreibung	Typ des/der Operanden	Rückgabetyyp
<code>!A</code>	Logisches NOT	<code>xsd:boolean</code>	<code>xsd:boolean</code>
<code>A B</code>	Logisches OR	<code>xsd:boolean</code>	<code>xsd:boolean</code>
<code>A && B</code>	Logisches AND	<code>xsd:boolean</code>	<code>xsd:boolean</code>
<code>A = B</code>	Gleichheit ¹ von A und B	RDF Term	<code>xsd:boolean</code>
<code>A != B</code>	Ungleichheit ¹ von A und B	RDF Term	<code>xsd:boolean</code>
<code>sameTerm(A, B)</code>	Sind A und B dieselben RDF Terme? Umgehen von Problematik ¹ !	RDF Term	<code>xsd:boolean</code>

¹ Schmeißen von Fehlern bei nicht unterstützten Datentypen und ungleichen lexikalischen Werten, z.B. bei

```
"iiii"^^my:romanNumeral = "iv"^^my:romanNumeral und
```

```
"iiii"^^my:romanNumeral != "iv"^^my:romanNumeral
```

XPath Tests und Arithmetik

- Tests

Operator	Beschreibung	Typ der Operanden	Rückgabotyp
A < B	A kleiner als B	XML Schema Datentyp	xsd:boolean
A <= B	A kleiner als oder gleich B	XML Schema Datentyp	xsd:boolean
A > B	A größer als B	XML Schema Datentyp	xsd:boolean
A >= B	A größer als oder gleich B	XML Schema Datentyp	xsd:boolean

Zusätzlich bei A=B und A!=B Interpretation der Operanden falls Verwendung von XML Schema Datentypen:

`"+2"^^xsd:integer = "2"^^xsd:integer`

- Arithmetik

Operator	Beschreibung	Typ der Operanden	Rückgabotyp
A + B	Summe von A und B	Numerisch	Numerisch
A - B	Differenz von A und B	Numerisch	Numerisch
A * B	Multiplikation von A und B	Numerisch	Numerisch
A / B	Division von A und B	Numerisch	Numerisch

Weitere (hier nicht besprochene) Features von SPARQL

- SPARQL 1.0
 - Weitere Built-In Funktionen
 - Construct-/Ask- und Describe-Anfragen, Benannte Graphen
 - LIMIT/OFFSET
- SPARQL 1.1
 - Minus, (Not) Exists, Gruppieren, Aggregationsfunktionen
 - Pfadausdrücke
 - Unterabfragen, Select-Ausdrücke, explizite Zuweisungen
 - Absetzen von Unterabfragen zu entfernten SPARQL Endpoints
 - Updates
 - Mächtige Built-In Funktionsbibliothek
- ➔ Veranstaltung **Semantic Web** (Vertiefungsmodul **Datenmanagement**) bzw. nachzulesen in SPARQL-Spezifikationen

Zusammenfassung

- **RDF als Datenformat für Semantic Web Daten**
 - Grundkonstrukt Tripel (s, p, o)
 - RDF Datensatz als Menge von Tripeln
- **SPARQL als RDF-Anfragesprache**
 - Ideal angepasste Anfragesprache für das Semantic Web und RDF
 - Grundkonstrukt Tripelmuster (s, p, o)
 - Zusätzlich zu Tripeln Variablen (Platzhalter) als Komponenten des Tripelmusters möglich
 - Sehr mächtig, insbesondere SPARQL 1.1