



## Zentrum für sichere Informationstechnologie – Austria Secure Information Technology Center – Austria

A-1030 Wien, Seidlgasse 22 / 9  
Tel.: (+43 1) 503 19 63-0  
Fax: (+43 1) 503 19 63-66

A-8010 Graz, Inffeldgasse 16a  
Tel.: (+43 316) 873-5514  
Fax: (+43 316) 873-5520

<http://www.a-sit.at>  
E-Mail: [office@a-sit.at](mailto:office@a-sit.at)  
ZVR: 948166612

DVR: 1035461

UID: ATU60778947

# MÖGLICHKEITEN ONTOLOGIE-BASIERTER KONZEPTE IM E-GOVERNMENT

## STUDIE

Version 1.0 – 30.04.2016

Thomas Zefferer – [thomas.zefferer@a-sit.at](mailto:thomas.zefferer@a-sit.at)

**Zusammenfassung:** Ontologie-basierte Konzepte finden vor allem im Kontext von Semantic-Web-Anwendungen starke Verbreitung und sind darüber hinaus im Fokus zahlreicher Forschungsaktivitäten. Deren Fähigkeit, gespeicherte und verarbeitete Daten um eine semantische Komponente zu erweitern, ermöglicht zahlreiche Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsszenarien. Ein Bereich, der von einer Verwendung dieser Konzepte profitieren kann, ist E-Government. Bereits jetzt ist die Integration Ontologie-basierter Konzepte in E-Government-Lösungen ein beliebtes Betätigungsfeld im wissenschaftlichen Bereich, was durch zahlreiche wissenschaftliche Publikationen zu dieser Thematik untermauert wird. Eine praktische Anwendung dieser Konzepte in produktiven Anwendungen wurde punktuell bereits umgesetzt, das volle Potential dieser Technologie scheint jedoch noch nicht zur Gänze ausgeschöpft. In dieser Studie wird daher ein allgemeiner Überblick über Ontologie-basierte Konzepte gegeben, der aktuelle Stand der Forschung und Umsetzung erhoben und potentielle positive Entwicklungen für den Bereich E-Government skizziert. Damit dient diese Studie als Basis für mögliche weitere Aktivitäten in diesem Bereich.

## Dokumenthistorie

Version	Datum	Autor	Kommentar
0.1	04.03.2016	Thomas Zefferer	Dokumenterstellung und Strukturierung
0.2	13.04.2016	Thomas Zefferer	Vollständiger Draft
0.3	29.04.2016	Thomas Zefferer	QS
1.0	30.04.2016	Thomas Zefferer	Finalisierung

## Inhaltsverzeichnis

Dokumenthistorie	1
Abbildungsverzeichnis	2
1. Einleitung	3
2. Grundlagen	4
2.1. Semantic Web	4
2.2. Methoden der Wissensrepräsentation	5
2.3. Möglichkeiten	7
2.3.1. Data Retrieval	7
2.3.2. Reasoning (Schlussfolgern)	8
2.3.3. Service-Automation und Service-Interoperabilität	8
3. Aktuelle Anwendungen	8
3.1. Linked Data	8
3.2. Schema.org	9
3.3. Linked Open Data Pilot Österreich	9
4. Aktuelle Forschungsaktivitäten	9
5. Ontologien und E-Government in der Forschung	11
6. Fallstudie: Ontologie-Konzepte in eID-Interoperabilitätslösungen	12
7. Schlussfolgerungen und Ausblick	15
8. Literaturverzeichnis	16

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Graphische Darstellung einer einfachen beispielhaften Sporttaxonomie.....	5
Abbildung 2. Beispielhafter RDF-Graph.....	6
Abbildung 3. Beispielhafte SPARQL-Abfrage (adaptiert von [38]).....	8
Abbildung 4. Vereinfachtes Modell einer eID-Interoperabilitätslösung. ....	13
Abbildung 5. Vorschlag einer verbesserten Interoperabilitätslösung. ....	14

# 1. Einleitung

Der Begriff der Ontologie stammt ursprünglich aus dem Bereich der Philosophie – genauer aus der Disziplin der theoretischen Philosophie – und bezeichnet entsprechend der dort üblichen Definition „die Lehre vom Sein, bzw. von den grundsätzlichen, allgemeinsten, elementarsten, fundamentalen und konstitutiven Eigenschaften, den Prinzipien, den grundsätzlichen Wesens-, Ordnungs- und Begriffsbestimmungen des Seins“ [1]. Von der Informatik wurde der Begriff der Ontologie entlehnt und wird dort im Zusammenhang mit strukturierter Repräsentation von Wissen verwendet. Ontologien dienen in der Informatik damit der Repräsentation und dem Austausch von Daten unter Berücksichtigung einer semantischen Komponente. Dementsprechend konnte sich das Konzept der Ontologie in den letzten Jahren als zentrale Technologie in der Weiterentwicklung der Idee des Semantic Webs [2] etablieren.

Die Grundidee des Semantic Webs, neben dem klassischen „*Web of Documents*“ ein „*Web of Data*“ zu erstellen, in dem Daten des World Wide Webs (WWW) miteinander auch auf semantischer Ebene verknüpft sind, führte in den letzten Jahren zu zahlreichen Aktivitäten. Dies betraf vor allem auch den wissenschaftlichen Sektor, in dem sich die Weiterentwicklung und Perfektionierung Ontologie-basierter Konzepte zu einer relevanten Forschungsdisziplin entwickelte. Eine Vielzahl einschlägiger wissenschaftlicher Konferenzen und Publikationen in diesem Bereich zeugen von der anhaltenden Relevanz, die diesem Themenbereich beigemessen wird.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass Konzepte des Semantic Webs und Ontologie-basierte Konzepte auch im Zusammenhang mit E-Government-Themen immer öfter Anwendung finden. Hier fokussieren sich wissenschaftliche Arbeiten häufig darauf, E-Government-Lösungen durch Miteinbeziehung der semantischen Komponente zu erweitern und so Nutzerinnen und Nutzern dieser Lösungen einen Mehrwert zu bieten. Auch hier wird das anhaltende Interesse an der Thematik durch diverse einschlägige wissenschaftliche Konferenzen aus dem Bereich E-Government untermauert, die Arbeiten zu Semantic Web und Ontologie-basierten Lösungen regelmäßig eine Plattform bieten.

Trotz des anhaltenden wissenschaftlichen Interesses an Themen des Semantic Webs und an Ontologie-basierten Konzepten hält sich die Sichtbarkeit dieser Themen und Konzepte für Bürgerinnen und Bürger in produktiven Anwendungen des E-Governments noch in Grenzen. Dazu tragen auch immer wieder geäußerte Kritiken an den zugrundeliegenden Technologien und an der Anwendung dieser bei, welche Konzepte des Semantic Webs oft als kompliziert und akademisch beschreiben [3] [4]. Hier setzt diese Studie an, indem diese Grundlagen hinter den genannten Technologien erläutert, aktuelle Entwicklungen, Aktivitäten und Lösungen beschreibt und deren künftiges Potential speziell für Anwendungen im Bereich E-Government abschätzt.

Die Studie ist dazu wie folgt aufgebaut. In Abschnitt 2 werden Grundlagen der Technologien hinter dem Semantic Web und hier speziell Ontologie-basierte Konzepte überblicksmäßig beschrieben. Dadurch wird ein allgemeines Verständnis grundlegender Technologien und Konzepte geschaffen. Darauf aufbauend zeigt Abschnitt 3 beispielhaft konkrete Anwendungen aus der Praxis, in denen die zuvor vorgestellten Konzepte zur Anwendung kommen. Dadurch soll der Bogen zwischen Theorie und Praxis gespannt werden. Abschnitt 4 widmet sich daraufhin aktuellen themenbezogenen Forschungsaktivitäten und zeigt, welche Teilaspekte aktuell im Fokus wissenschaftlicher Arbeiten stehen. Aktuelle Forschungsaktivitäten zu den Themen Semantic Web und Ontologie-basierte Konzepte stehen auch im Mittelpunkt von Abschnitt 5. Allerdings wird hier der Schwerpunkt auf jene Aktivitäten gelegt, die zum Ziel haben, Ansätze des Semantic Webs und Ontologie-basierte Konzepte in den Bereich des E-Governments überzuführen. Um das Potential dieser Ansätze für aktuelle Problemstellungen im E-Government zu verdeutlichen, wird in Abschnitt 6 anhand einer konkreten Fallstudie eine mögliche Anwendung gezeigt. Abgeschlossen wird die Studie durch Abschnitt 7, in dem die wichtigsten Erkenntnisse nochmal zusammengefasst werden und ein Ausblick auf mögliche künftige Entwicklungen gegeben wird.

## 2. Grundlagen

Während das Konzept der Ontologie in anderen Wissenschaften bereits seit längerer Zeit bekannt und für diese von Bedeutung war, wurde es für den Bereich der Informationstechnologie erst in den letzten Jahrzehnten relevant. Maßgeblich verantwortlich dafür war die Entwicklung der Idee eines Semantic Webs, für das Ontologien ein wichtiges und zentrales Werkzeug sind.

Die Idee eines Semantic Webs konnte in den letzten Jahren vor allem im akademischen Bereich beträchtlich an Popularität gewinnen. Um den Begriff des Semantic Webs entstanden so in letzter Zeit eine Vielzahl an Konzepten, die durch eine noch größere Anzahl an sich Teils überlappenden Begriffen bezeichnet und beschrieben wurden.

Um Struktur in dieses Dickicht an Konzepten und Begriffen, die alle Teilaspekte des Semantic Webs und damit bis zu einem gewissen Grad auch des Konzepts der Ontologie abdecken, zu bringen, werden in diesem Abschnitt relevante Grundlagen überblicksmäßig beschrieben. Ausgehend von der zentralen Idee des Semantic Webs werden bedeutende Konzepte und Ideen aus dessen Umfeld definiert und erörtert. Besonderes Augenmerk wird dabei auf das Konzept der Ontologie und jene Aspekte gelegt, die für die Umsetzung Ontologie-basierter Lösungen von Bedeutung sind.

### 2.1. Semantic Web

Das World Wide Web (WWW) etablierte sich in den letzten Jahrzehnten als omnipräsente Informations- und Kommunikationsplattform. Waren zu Beginn die Inhalte des WWW zumeist rein statischer Natur, wurde dessen Nutzung durch die Einführung von Web 2.0-Konzepten zunehmend kollaborativer. Heutzutage ist die Benutzerin bzw. der Benutzer nicht mehr ausschließlich Konsument statischer Inhalte, sie bzw. er gestaltet diese Inhalte auch aktiv mit. Repräsentatives Beispiel dafür sind diverse Social-Media-Plattformen, welche überwiegend aus benutzergeneriertem Content bestehen.

Während die Web 2.0-Paradigmen noch immer Gültigkeit besitzen und aktuell nach wie vor breite Anwendung finden, steht die nächste Entwicklungsstufe in Form von Web 3.0 bereits seit längerer Zeit in den Startlöchern. Web 3.0 wird dabei in der Regel als Synonym für das Semantic Web verwendet. Dieses erweitert das bestehende Web, um Daten im WWW für Maschinen interpretierbar zu gestalten, indem diesen Daten eine semantische Komponente verliehen wird. Dadurch soll ein möglicher Datenaustausch zwischen Maschinen verbessert, sowie eine automatisierte Auswertung von Daten effizient durchführbar gemacht werden. Endnutzerinnen und Endnutzer können davon beispielsweise profitieren, indem Suchmaschinen zielgenauere Resultate liefern.

Die Grundidee hinter dem Semantic Web sei anhand des konkreten unter [5] angeführten Beispiels einer Suchmaschinenabfrage illustriert. Dieses Beispiel skizziert den Fall einer Literaturwissenschaftlerin, die über eine Suchmaschine eine Übersetzung von Shakespeares Hamlet, die von Maik Hamburger verfasst wurde, sucht. Eine Abfrage über eine gewöhnliche Suchmaschine unter Verwendung der Stichwörter „Hamburger“ und „Hamlet“ liefert hauptsächlich Einträge zu einer amerikanischen Hamburgerkette benannt nach der amerikanischen Stadt Hamlet, sowie Informationen zu Hamlet-Aufführungen in der deutschen Stadt Hamburg, während die eigentlich gesuchte Information nur schwierig auffindbar ist. Das durch dieses Beispiel illustrierte Grundproblem ist, dass Suchmaschinen die Inhalte des WWW zwar nach Stichwörtern durchsuchen, jedoch deren Semantik nicht automatisch in die Suche miteinbeziehen können. Wüsste die verwendete Suchmaschine im genannten Beispiel, dass es sich beim Begriff Hamlet im aktuellen Fall um einen Buchtitel und bei Hamburger um einen Nachnamen handelt, könnten unerwünschte Suchergebnisse von vornherein ausgeschlossen werden. Das Konzept des Semantic Webs setzt bei diesem Problem an und versucht dieses zu lösen, indem Inhalte des WWW um semantische Informationen ergänzt werden.

Zusammengefasst kann als generelles Ziel der Semantic-Web-Bemühungen das Prinzip „*What You Mean Is What You Get (WYMIWYG)*“ identifiziert werden. Angelehnt an den aus der Textverarbeitung bekannten Ansatz „*What You See Is What You Get (WYSIWYG)*“ bezeichnet das Prinzip WYMIWYG die Berücksichtigung von Semantik bei der Suche und Verarbeitung von Informationen.

Dieses nachvollziehbare Ziel hinter Web 3.0, d.h. Semantic Web, bedingt eine umfassende Erweiterung bestehender Web-Inhalte, sowie eine entsprechende Aufbereitung neuer Inhalte. Zudem müssen Methoden und Werkzeuge geschaffen werden, vorhandene semantische Informationen geeignet auszuwerten. In den folgenden Unterabschnitten werden überblicksmäßig relevante Technologien vorgestellt, die zur Erfüllung dieser Ziele aus heutiger Sicht geeignet erscheinen und denen dementsprechend aktuell Relevanz beigemessen wird.

## 2.2. Methoden der Wissensrepräsentation

Obwohl das WWW insgesamt auf eine beeindruckende Erfolgsgeschichte zurückblicken kann, weist seine ursprüngliche technische Umsetzung diverse Mängel auf, die etwa auch zu den erwähnten Limitierungen in Bezug auf semantische Auswertungen führen. Die Ursache dieser Limitierungen liegt primär in der unstrukturierten Art und Weise, wie Informationen im WWW abgespeichert sind. So zeichnet sich der für die Darstellung webbasierte Inhalte vorgesehene klassische HTML-Standard dadurch aus, dass dieser Informationen in unstrukturierter Form aufbereitet. Beispielsweise sind hier in der Regel Text, Bilder, Videos und andere Inhalte vermischt. Dieser Ansatz erschwert eine automatisierte Verarbeitung von Daten beträchtlich. Zudem sind im klassischen HTML die Möglichkeiten, Meta-Informationen zu Daten abzulegen, um so beispielsweise die Semantik der Daten abzubilden, zwar vorhanden aber beschränkt.

Grundvoraussetzung für die Umsetzung der Konzepte des Semantic Webs ist es also, die Semantik bereitgestellter Daten so aufzubereiten und zur Verfügung zu stellen, dass diese von Maschinen automatisiert ausgewertet werden kann. Arbeiten an einer Umsetzung dieser Zielvorstellung begannen bereits früh und führten zu unterschiedlichen Ansätzen.

So wurden und werden in manchen Bereichen wie zum Beispiel im Bibliothekswesen und für Lexika häufig Taxonomien verwendet, um Daten zu strukturieren und mit Meta-Informationen zu versehen. Bei Taxonomien handelt es sich um eine hierarchische Repräsentation von Metadaten, mit denen Daten ausgezeichnet werden. Abbildung 1 zeigt als Beispiel eine einfache Sporttaxonomie, über die Sport-Events klassifiziert werden können. Durch die hierarchische Organisation müssen Daten nicht mit allen zutreffenden Metadaten ausgezeichnet werden, da auf in der Hierarchie übergeordnete Metadaten automatisch gefolgert werden kann. Probleme ergeben sich mit Taxonomien dort, wo die Komplexität der auszuzeichnenden Daten eine eindeutige Zuordnung in einen Hierarchiezweig verunmöglicht. Beispielsweise wäre es für die Sportart Tennis in der in Abbildung 1 gezeigten Taxonomie unmöglich, eine eindeutige Zuordnung zu treffen, da diese Sportart sowohl dem Zweig Outdoor als auch dem Zweig Indoor zuzuordnen wäre. Auch die Entwicklung und Pflege einer Taxonomie kann sich vor allem in dynamischen Wissensgebieten schnell als aufwändig erweisen.

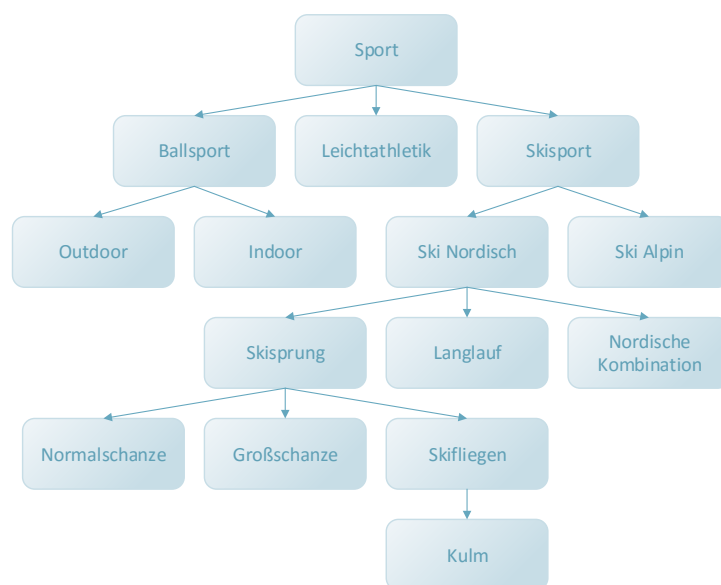


Abbildung 1. Graphische Darstellung einer einfachen beispielhaften Sporttaxonomie.

Eine Alternative zu den doch einfachen und in ihrer Mächtigkeit eingeschränkten Taxonomien stellen sogenannte Wortnetze dar. Ein populäres Beispiel dafür ist das Modell des Princeton WordNet [6], welches das Ziel verfolgt, die englische Sprache über ein lexikalisch-semantisches Netz abzubilden, um so Bedeutungen einzelner Begriffe und deren Beziehungen zueinander zu erfassen. WordNet verwendet das Konzept der Synsets, in denen synonyme Begriffe zusammengefasst werden. WordNet definiert außerdem unterschiedliche Relationen, mit deren Hilfe die Beziehung einzelner Synsets angegeben werden kann. Durch den Verzicht auf eine hierarchische Struktur und die Verwendung einer Netz-Architektur vermeidet WordNet die Taxonomien inhärenten Nachteile.

Aufgrund seiner Eigenschaften können semantische Netze oder Wortnetze wie WordNet als Ontologie betrachtet werden. Der Begriff Ontologie, der ursprünglich in der Philosophie geprägt wurde, wird im Bereich der Informations- und Wissensverarbeitung üblicherweise als „*explizite formale Spezifikation einer gemeinsamen Konzeptualisierung*“ [7] definiert. Alternativ kann der Begriff der Ontologie auch als Beschreibung eines Wissensbereichs mit Hilfe einer standardisierten Terminologie sowie Beziehungen und ggf. Ableitungsregeln zwischen den dort definierten Begriffen beschrieben werden [8].

Die bisher angeführten Methoden der Wissensrepräsentation und hier vor allem auch Ontologien teilen die Eigenschaft, Wissen in Form von Metadaten zu repräsentieren und Verknüpfungen zwischen diesen Metadaten zu definieren, welche eine Aussage über deren Relation zulassen. Soll dieses doch sehr abstrakte Konzept der Wissensrepräsentation verwendet werden, um im Sinne des Semantic Webs unstrukturierte Daten des WWW zu ordnen und einer automatisierten Verarbeitung zugänglich zu machen, müssen dafür geeignete Methoden definiert und angewendet werden. Als erster Wegbereiter dieser Bemühungen kann hier das Meta Content Framework (MCF) gesehen werden, dessen Ziel es war, Metadaten von Webseiten strukturiert bereitzustellen. Entwickelt wurde MCF zwischen 1995 und 1997 von Ramanathan V. Guha, der zu dieser Zeit bei Apple Computer's Advanced Technology Group beschäftigt war. Guha setzte seine Arbeit später bei Netscape fort, wo MCF zusammen mit Tim Bray auf den XML-Standard adaptiert wurde [9]. Diese Arbeit stellte später die Basis der ersten Version des Resource Description Frameworks (RDF) dar.

RDF wurde vom World Wide Web Consortium (W3C) [10] zunächst als Standard zur Beschreibung von Metadaten konzipiert und gilt aktuell als einer der zentralen Bausteine des Semantic Webs. RDF erlaubt es, einfache Aussagen über Ressourcen zu treffen. Eine Aussage besteht dabei aus dem Tripel Subjekt-Prädikat-Objekt. Das Subjekt entspricht in der Regel der Ressource, über die eine Aussage getroffen wird. Auch das Prädikat ist eine Ressource und stellt die Beziehung zwischen Subjekt und Objekt dar. Das Objekt kann selbst auch wieder eine Ressource sein. Alternativ kann das Objekt auch durch ein Literal – etwa eine konstante Zeichenkette – repräsentiert sein. In RDF ist jede Ressource über einen eindeutigen URI identifiziert. Dies ermöglicht es, mehrere Aussagen über eine Ressource, die potentiell aus verschiedenen Quellen stammen können, zu kombinieren. Aufgrund der Eigenschaften von RDF können modellierte Aussagen bzw. Kombinationen von Aussagen als gerichteter Graph repräsentiert und dargestellt werden.

Abbildung 2 zeigt einen beispielhaften RDF-Graphen. Über diesen sind Titel und Herausgeber einer Ressource definiert. Sowohl Titel als auch Herausgeber sind in diesem Beispiel als Literal definiert.

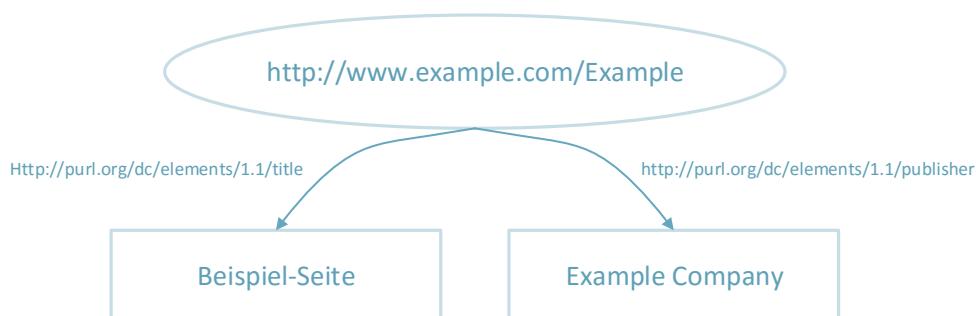


Abbildung 2. Beispielhafter RDF-Graph.

Zu beachten ist im Zusammenhang mit RDF die Tatsache, dass RDF lediglich die Syntax zur Formulierung von Aussagen definiert, jedoch nicht deren Interpretation festlegt. Möchten zwei Entitäten mithilfe von über RDF definierten Aussagen Daten austauschen, müssen sich diese daher zunächst auf ein gemeinsames Vokabular einigen. Definiert dieses Vokabular zusätzlich Regeln für die vorgesehene Verwendung der durch das Vokabular definierten Ressourcen, entspricht das Vokabular einer Ontologie. Ein gängiges Vokabular für die Verwendung zusammen mit RDF ist RDF-Schema (RDFS) [11], welches die Typisierung von RDF-Ressourcen erlaubt. Unter Verwendung der RDF-Syntax erlaubt RDFS also die Formalisierung von Ontologien, indem Ressourcen, deren Eigenschaften, sowie deren Relationen zueinander beschrieben werden können.

Neben RDFS existieren noch weitere Ontologie-Beschreibungssprachen wie zum Beispiel F-Logic oder DAML+OIL [12]. Aus letzterer ging schließlich die Ontologie-Beschreibungssprache Web Ontology Language (OWL) [13] hervor, die mittlerweile ebenfalls durch das W3C standardisiert wurde und heutzutage eine zentrale Rolle für das Semantic Web spielt. Während OWL historisch auf DAML+OIL basiert und als dessen Nachfolger angesehen werden kann, bedient sich OWL auf technischer Ebene der RDF-Syntax. OWL definiert jedoch im Vergleich zu RDF und RDFS zusätzliche Sprach-Konstrukte, was zu einer größeren Flexibilität und Mächtigkeit der Sprache führt.

In Bezug auf Methoden der Wissensrepräsentation lässt sich zusammenfassend festhalten, dass Ontologien hier das Mittel der Wahl sind. Über Ontologien können Ressourcen, deren Eigenschaften und deren Beziehungen zueinander in definierter Art und Weise beschrieben werden. Für die Erstellung und Modellierung von Ontologien existiert eine Reihe von Sprachen und Werkzeugen. Diesbezüglich sind RDF und OWL von besonderer Bedeutung. Insgesamt stellen Ontologien ein zentrales Konzept in der Umsetzung eines Semantic Webs dar. Auf Möglichkeiten, die sich durch eine Verwendung von Ontologien in Kombination mit dem Semantic Web ergeben, wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

### **2.3. Möglichkeiten**

Ontologien und verwandte Konzepte ermöglichen die Realisierung eines Semantic Webs, in dem neben den Daten selbst auch deren Bedeutung strukturiert abgelegt und abrufbar ist. Dies eröffnet eine Reihe von Möglichkeiten und Vorteilen gegenüber herkömmlichen Webinhalten. Auf diese Möglichkeiten, die sich durch die Anwendung der Konzepte des Semantic Webs ergeben, soll in diesem Abschnitt näher eingegangen werden.

#### **2.3.1. Data Retrieval**

Eine effiziente Suche und ein zielgerichteter Zugriff auf Daten ist der wohl offensichtlichste Nutzen, der sich durch eine Strukturierung von Daten über Ontologien und damit durch eine Realisierung des Semantic Webs ergeben. Der Mehrwert ergibt sich hierbei dadurch, dass nicht nur in Daten selbst gesucht, sondern auch die semantische Komponente der durchsuchten Daten berücksichtigt werden kann.

Für die Suche in über Ontologien strukturierten Daten sind spezielle Abfragesprachen notwendig. Über diese Abfragesprachen können zielgerichtete Anfragen formuliert werden. Vergleichbar sind diese Abfragesprachen mit Datenbanksprachen wie SQL, über die auf Daten in entsprechenden Datenbanken zugegriffen werden kann. Die Wahl der passenden Abfragesprache hängt davon ab, welche Technologien für die Modellierung der abzufragenden Daten verwendet wurden. Beispiele für Abfragesprachen, die etwa für den Zugriff auf über RDF modellierte Daten verwendet werden, sind SPARQL [14] und RDQL [15].

Um eine Vorstellung von der Funktionsweise und Verwendung derartiger Abfragesprachen zu erlangen, ist in Abbildung 3 eine beispielhafte SPARQL-Abfrage dargestellt. Diese sucht nach allen europäischen Hauptstädten und den Ländern, in denen sich die Hauptstadt befindet.

---

```
PREFIX abc: <http://example.com/exampleOntology#>
SELECT ?capital ?country
WHERE {
  ?x abc:cityname ?capital ;
  abc:isCapitalOf ?y .
  ?y abc:countryname ?country ;
  abc:isInContinent abc:Europe .
}
```

---

Abbildung 3. Beispielhafte SPARQL-Abfrage (adaptiert von [38]).

### 2.3.2. Reasoning (Schlussfolgern)

Ein großer Vorteil der Organisation von Wissen in Form von Ontologien ist die sich daraus ergebende Möglichkeit des Reasonings (Schlussfolgerns). Dabei können aus den vorhandenen Informationen und den Eigenschaften der verwendeten Ontologie automatisiert neue Erkenntnisse abgeleitet werden. Grundvoraussetzungen dafür sind jedoch gewissen Eigenschaften der verwendeten Ontologie-Beschreibungssprache. Diese sind beispielsweise bei OWL gegeben. Das W3C verwaltet eine Liste, in der verfügbare Software, über die ein automatisiertes Reasoning durchgeführt werden kann, angeführt ist [16]. Beispiele sind KAON2 [17], Apache Jena [18], oder Bossam [19].

### 2.3.3. Service-Automation und Service-Interoperabilität

Abschließend sei nochmal auf das Kernfeature des Semantic Webs, das sich durch die Verwendung einer Wissensrepräsentation über Ontologien ergibt, hingewiesen. Konkret ermöglicht die Erweiterung von Webinhalten um semantische Informationen einen automatisierten Datenaustausch zwischen datenverarbeitenden Systemen, da diese nicht nur Daten selbst, sondern auch deren Bedeutung entsprechend interpretieren können. Dies ermöglicht einerseits einen höheren Automatisierungsgrad, da für die semantische Interpretation von Daten keine Benutzerinteraktion mehr notwendig ist. Andererseits ergibt sich dadurch auch eine verbesserte Interoperabilität zwischen Systemen, die potentiell auf unterschiedlichen Datenmodellen basieren.

## 3. Aktuelle Anwendungen

Die in Abschnitt 2 umrissenen Grundlagen des Semantic Webs und der für dessen Umsetzung relevanten Technologien wurden bewusst auf einem sehr allgemeinen Abstraktionslevel behandelt. Um einen entsprechenden Praxisbezug herzustellen, werden in diesem Abschnitt darauf aufbauend drei konkrete Initiativen, die sich Themen des Semantic Webs verschrieben haben, vorgestellt. Dadurch soll veranschaulicht werden, wie dessen zugrundeliegende Konzepte in der Praxis umgesetzt werden.

### 3.1. Linked Data

Linked Data [20] ist eine Initiative, deren Ziel es ist, das WWW in seiner aktuellen Form zu verwenden, um Daten miteinander zu verbinden. Linked Data kann also als eine Umsetzung des Konzepts des Semantic Webs gesehen werden. Tim Berners-Lee, der als Erfinder des WWW gilt und auch eine der treibenden Kräfte hinter Entwicklungen des Semantic Webs ist, wird in Bezug auf die Definition von Linked Data mit den Worten „*the Semantic Web done right*“ zitiert [20].

Aus technischer Sicht basiert Linked Data auf Standard-Web-Technologien wie HTTP, RDF und URIs. Diese werden entsprechend der Idee des Semantic Webs verwendet, um Informationen in einer für Maschinen interpretierbaren Form zu organisieren und miteinander in Verbindung zu setzen und Daten, die in Webseiten enthalten sind, entsprechend auszuzeichnen.

Die Website der Initiative Linked Data [20] ist die zentrale Anlaufstelle für relevante Informationen zu zugrundeliegenden Konzepten, der Erstellung und Veröffentlichung von entsprechend annotierten Daten (Linked Data) und der automatisierten Auswertung dieser Daten. So zeigen



beispielsweise auf dieser Seite veröffentlichte Tutorials, wie URIs für zu verlinkende Daten gewählt, welches Vokabular verwendet oder wie auf bereits bestehende Daten verwiesen werden soll.

Neben Linked Data trifft man auch des Öfteren auf den Begriff Linked Open Data (LOD). Dieser Begriff wird als Synonym vor allem dort verwendet, wo der Fokus auf einer Nutzung frei verfügbarer und frei nutzbarer Daten (Open Data) liegt.

### **3.2. Schema.org**

Schema.org [21] ist eine Initiative, die von den führenden Suchmaschinen Google, Bing und Yahoo ins Leben gerufen wurde. Später schloss sich auch die im russischen Raum beliebte Suchmaschine Yandex der Initiative an. Ziel von Schema.org ist es, ein einheitliches Schema für die Strukturierung und Repräsentation von Daten im Internet zu entwickeln. Durch die Bereitstellung einer einheitlichen Ontologie für die Strukturierung von Daten soll es Suchmaschinen ermöglicht werden, semantische Informationen in diesen Daten zu finden und auszuwerten.

Technisch basiert Schema.org auf bestehenden Technologien und erlaubt das Annotieren von Daten in Webseiten über JSON-LD [22], HTML Microdata [23] und RDFa [24]. Das Vokabular der Ontologie besteht derzeit aus 642 Typen (Types), 992 Eigenschaften (Properties) und 219 Aufzählungswerten (Enumeration Values). Die komplette Hierarchie der von Schema.org entwickelten Ontologie kann unter [25] eingesehen werden.

### **3.3. Linked Open Data Pilot Österreich**

Im Rahmen des Projekts Linked Open Data Pilot Österreich [26] wurde unter Verwendung öffentlich verfügbarer Datensätze aus Quellen des österreichischen öffentlichen Sektors und unter Miteinbeziehung weiterer Quellen wie dem Open Data Portal Österreich eine Linked Open Data-Infrastruktur geschaffen. Diese ist zur freien Verwendung und Wiederverwendung freigegeben.

Die Erstellung dieser Infrastruktur umfasste die Identifizierung von Basisdaten aus den relevanten Domänen, deren Konvertierung in eine RDF-Darstellung, eine Verlinkung mit Drittquellen, sowie deren Publikation unter der Lizenz Creative Commons Attribution. Die freigegebenen Daten und deren über RDF vorgenommene Strukturierung repräsentieren einen Wissensgraph, der über SPARQL abgefragt werden kann.

## **4. Aktuelle Forschungsaktivitäten**

Während die dem Semantic Web zugrundeliegenden Konzepte und hier vor allem jenes der Ontologie einen einigermaßen theoretischen Eindruck erwecken, zeigten die im vorherigen Abschnitt angeführten Beispiele, dass diese Konzepte in der Praxis bereits durchaus Anwendung finden. Neben diesen praktischen Anwendungen stellen das Semantic Web und themenverwandte Bereiche auch ein für die Forschung relevantes Gebiet dar. Dies wird auch durch eine Vielzahl an wissenschaftlichen Konferenzen, die sich dieser Thematik widmen, verdeutlicht.

In diesem Abschnitt soll ein allgemeiner Überblick über aktuelle Aspekte, denen sich die Forschung in den Bereichen Semantic Web und Ontologien widmet, gegeben werden. Dadurch sollen auch mögliche zukünftige Entwicklungen skizziert werden. Um die nötige Aktualität zu gewährleisten, wird im Folgenden der Fokus auf wissenschaftliche Publikationen gelegt, die im Rahmen des 31<sup>st</sup> ACM Symposium on Applied Computing im April 2016 präsentiert und veröffentlicht wurden. In diesem Symposium widmete sich ein eigener Track der Thematik Semantic Web & Applications. In diesem Track präsentierte Publikationen werden im Folgenden überblicksmäßig zusammengefasst, um einen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung zu geben.

Die thematische Heterogenität der im Rahmen des Symposiums vorgestellten Publikationen verdeutlicht, dass im Bereich des Semantic Webs und anderer Ontologie-basierter Konzepte aktuell diverse Aspekte im Fokus von Forschungsaktivitäten stehen. Einer dieser Aspekte ist die automatisierte Erstellung von Ontologien, dessen Ansätze unter dem englischen Begriff „Ontology-Learning Techniques“ subsumiert werden. Ohne Zweifel handelt es sich dabei um einen wichtigen Aspekt, da die Erstellung einer Ontologie mit einem beträchtlichen Aufwand verbunden sein kann,

deren Verfügbarkeit jedoch zwingend notwendig ist, um Vorteile, die sich durch eine Einbeziehung semantischer Komponenten ergeben, nutzen zu können. Um der Notwendigkeit der manuellen Erstellung und Wartung von Ontologien zu begegnen, widmet sich ein Forschungszweig der Entwicklung geeigneter Lösungen für eine automatisierte Ontologie-Erstellung. Um die Qualität derartiger Lösungen bewerten und vergleichen zu können, sind einheitliche Evaluierungsmethoden notwendig. Sfar et al. [27] stellen in ihrer Publikation eine derartige Evaluierungsmethode vor, die automatisiert erstellte Ontologien gegen einen Gold-Standard prüft. Ein weiterer relevanter Teilaspekt der automatisierten Ontologie-Erstellung ist die maschinelle Extraktion und Organisation von Wissen aus gegebenen Texten. Damit ist dieses Thema eng verwandt zum Forschungsgebiet des Natural Language Processing (NLP). Corcoglioniti et al. [28] stellen in ihrer Arbeit ein Framework vor, das einen neuen Ansatz verfolgt, Wissen aus bestehenden englischsprachigen Texten automatisiert zu extrahieren. Das vorgestellte Verfahren gliedert den Extraktionsprozess in zwei Phasen. In der ersten Phase werden diverse Standard-NLP-Techniken eingesetzt, um aus dem gegebenen Text einen RDF-Graph zu erstellen. Dieser Graph wird im folgenden zweiten Schritt in einen entsprechenden Wissensgraphen übergeführt. Die Autoren sehen den größten Vorteil ihrer Lösung in der Entkopplung der beiden Schritte, was deren unabhängige Implementierung entsprechend gegebener Anforderungen ermöglicht.

Neben der automatisierten Erstellung von Ontologien zeigen aktuelle Publikationen, dass auch das automatisierte Verbessern bestehender Ontologien ein Themenbereich ist, dem sich aktuelle Forschungsaktivitäten widmen. Beispielsweise schlagen d'Amato et al. [29] eine Methode basierend auf Data Mining vor, um versteckte Knowledge Patterns in Daten zu finden und diese in weiterer Folge in die den Daten zugrundeliegenden Ontologie zu inkludieren. Ein ähnliches Problem adressieren auch Minervini et al. [30], indem diese eine Methode vorstellen, um fehlende Links in Wissensgraphen zu ergänzen. Auch Piao et al. [31] widmen sich der Qualität von Ontologien selbst. Im Gegensatz zu den zuvor genannten Arbeiten zielen Piao et al. jedoch nicht direkt auf eine Verbesserung bestehender Ontologien ab, sondern stellen verschiedenen Metriken vor, über die Distanzen zwischen Ressourcen in Linked Data gemessen werden können. Resultate dieser Arbeit können beispielsweise helfen, die Qualität von Recommender-Systemen zu erhöhen.

Neben diesen Hauptschwerpunkten wurden im Rahmen des 31<sup>st</sup> ACM Symposium on Applied Computing noch weitere Forschungsarbeiten vorgestellt, die Tätigkeitsfelder im Bereich Semantic Web und Ontologien betreffen. Beispielsweise nehmen sich Zhang et al. [32] einem wichtigen Problem an, das die praktische Verwendung von in Ontologien strukturierten Daten oft einschränkt: der mangelnden Performance von SPARQL-Endpunkten, über die entsprechende Abfragen abgesetzt werden können. Um hier Abhilfe zu schaffen, schlagen Zhang et al. [32] ein Framework vor, das über die Implementierung von Caching-Methoden die Performance von SPARQL-Abfragen erhöht. Cameranesi et al. [33] fokussieren sich hingegen auf eine konkrete Anwendungsdomäne und stellen in ihrer Arbeit eine Ontologie für den Bereich Ambient Assisted Living (AAL) vor. Durch ihre Spezialisierung kann diese Ontologie gezielt auf die Anforderungen der gewählten Domäne eingehen. Schlussendlich sei an dieser Stelle noch die Arbeit von Falbo et al. [34] erwähnt, die sich auf den Bereich der Modellierung elektronischer Services über Ontologien konzentrieren. Konkret stellen die Autoren eine spezielle Sprache vor, über die Services einfach modelliert werden können.

Dieser kurze Überblick über aktuelle wissenschaftliche Publikationen in den Bereichen Semantic Web und Ontologien zeigt, dass diese Themen aktuell ein breites wissenschaftliches Betätigungsfeld darstellen. Zur Verdeutlichung der aktuellen Situation wurden hier bewusst Publikationen des 31<sup>st</sup> ACM Symposium on Applied Computing gewählt, da dieses eine sehr breite Ausrichtung hat und damit die Heterogenität in den Forschungsaktivitäten geeignet repräsentiert.

Auch im nächsten Abschnitt werden wissenschaftliche Publikationen zu den Themen Semantic Web und Ontologien analysiert. Entsprechend den Zielen dieser Studie werden jedoch primär jene Publikationen betrachtet, die einen Konnex zum Themenbereich E-Government aufweisen. Daraus wird dann deutlich, welche zukünftigen Möglichkeiten sich für E-Government-Lösungen ergeben können.

## 5. Ontologien und E-Government in der Forschung

Ziel dieser Studie ist es, Technologien und Konzepte, die unter den Begriffen Semantic Web und Ontologien subsummiert werden, zu beleuchten und deren zukünftiges Potential für E-Government aus wissenschaftlicher Sicht abzuschätzen. Während im vorangegangenen Abschnitt ein allgemeiner Überblick über aktuelle wissenschaftliche Aktivitäten in den genannten Bereichen gegeben wurde, wird der Fokus nun auf Forschungsaktivitäten im Schnittpunkt zwischen E-Government und Semantic Web gelegt.

Erste wissenschaftliche Publikationen im Bereich E-Government, die sich Thematiken rund um Ontologien annehmen, finden sich bereits früh. Orthofer et al. [35] stellten 2006 bereits eine Ontologie für E-Government vor, über die ein E-Government-Portal umgesetzt wurde. Im selben Jahr erschien eine Veröffentlichung von Vassilakis et al. [36], in der eine Ontologie für E-Government-Services vorgestellt wurde. Basis für die vorgestellte Ontologie war eine Reihe von Anforderungen, die ebenfalls in dieser Publikation gelistet wurden. Konkret wurde festgehalten, dass eine Ontologie für E-Government-Services vollständig sein muss, d.h. es müssen alle relevanten Aspekte solcher Services abgedeckt werden. Des Weiteren sollte die Ontologie eine inkrementelle Entwicklung der Ontologie zulassen. In Bezug auf die stete Weiterentwicklung der Ontologie wurde auch das Ziel definiert, die gemeinsame Entwicklung durch unterschiedliche Parteien zuzulassen. Da sich die Ontologie an unterschiedliche Stakeholder richten sollte, wurde auch die Möglichkeit der Extraktion verschiedener Views als Anforderung definiert. Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen wurde schließlich eine Ontologie definiert, über die E-Government-Services entsprechend abgebildet werden konnten.

Die Idee, E-Government-Services über Ontologien zu beschreiben, wurde einige Jahre später von Fonou-Dombeu et al. [37] aufgegriffen. Die Beschreibung und Spezifikation von E-Government-Services über Ontologien war zu diesem Zeitpunkt bereits eine etablierte Variante, um etwa ein Mapping oder Matching zwischen verschiedenen Services zu erreichen. In ihrer Arbeit untersuchten Fonou-Dombeu et al. jedoch, wie bestehende Ontologie-Erstellungsmethoden in der speziellen Domäne E-Government angewendet werden können. Um diese Frage zu beantworten, verwendeten die Autoren die etablierte Uschold and King-Methode, um eine entsprechende Ontologie im Bereich E-Government zu erstellen. Die erstellte Ontologie wurde daraufhin evaluiert und über OWL formalisiert. Im selben Jahr wurde auch eine Publikation von Sheng et al. [38] veröffentlicht, die sich mit der Anwendung von Ontologien im Bereich E-Government befasste, um einen Datenaustausch zwischen verschiedenen E-Government-Systemen zu ermöglichen. Dazu schlugen die Autoren eine neue Architektur für E-Government-Systeme vor, die sie um einen Ontology-Expression-Layer ergänzten, welcher den Austausch von Daten zwischen unterschiedlichen System ermöglichen soll.

Im Jahr 2011 wurde die Relevanz Ontologie-basierter Konzepte für den Bereich E-Government auch im Rahmen der Dissertation von Peter Salhofer [39] erörtert. Ziel dieser Dissertation war es, die beiden Konzepte Model Driven Architecture (MDA) und Semantic Web Services (SWS) zu verbinden, um die Automatisierung in der Erstellung von Web-Services voranzutreiben, indem diese automatisiert aus definierten Ontologien generiert werden.

Auch heute noch ist die Anwendung Ontologie-basierter Konzepte auf Bereiche des E-Governments im Fokus wissenschaftlicher Forschung. Dies zeigt sich darin, dass auf einschlägigen wissenschaftlichen E-Government-Konferenzen Ontologien und verwandte Themen nach wie vor breit vertreten sind. Beispielsweise wurde auf der im August 2015 stattfindenden 14<sup>th</sup> IFIP WG 8.5 International Conference, EGOV 2015 von Ramaprasad et al. [40] der gesamte Begriff E-Government und alle ihm zugeordneten Konzepte in einer Ontologie abgebildet. Auslöser für diese Arbeit war die Tatsache, dass gemäß den Autoren der Begriff E-Government zwar breit verwendet wird, ihm jedoch eine klare Definition und Abgrenzung fehlt. Die vorgestellte Ontologie soll hier Abhilfe schaffen.

Ontologien und Semantic Web waren auch ein zentrales Thema bei der letztjährigen 4th International Conference, EGOVIS 2015. So wurden etwa von Munoz et al. [41] Möglichkeiten des Semantic Webs im Rahmen von E-Procurement unter Verwendung einer eigens dafür erstellten Ontologie untersucht. Die Anwendung Ontologie-basierter Konzepte im Rahmen des vom Amt für

Veröffentlichungen der Europäischen Union verwendeten Informationssystems CELLAR wurde von Francesconi et al. [42] vorgestellt. In diesem werden Technologien des Semantic Webs verwendet, um semantische Indizierung, sowie fortgeschrittene Suche und Datenzugriff auf mehrsprachige Ressourcen zu ermöglichen. Schließlich präsentierten auch Fonou-Dombeu et al. [43], die bereits im Jahr 2011 eine Arbeit über die Anwendung Ontologie-basierter Konzepte im E-Government veröffentlichten [37], einen Ansatz, das Potential von Semantic Web Services, d.h. Web-Services, deren Eigenschaften semantisch aufbereitet sind, im Bereich E-Government ausschöpfen zu können.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass E-Government seit vielen Jahren im Bereich der Forschung eine beliebte Anwendungsdomäne für Ontologie-basierte Konzepte und Lösungen ist. Erste Publikationen dazu finden sich früh nach der Einführung des Konzepts des Semantic Webs. Ein Blick auf die Programme der letzten einschlägigen E-Government-Konferenzen zeigt, dass die Heranziehung von Ontologie-basierten Konzepten zur Lösung von Problemen des E-Governments nach wie vor von wissenschaftlicher Relevanz ist. Welche Schlussfolgerungen daraus für künftige Entwicklungen im Bereich E-Government gezogen werden können, wird in Abschnitt 7 näher betrachtet. Zuvor wird in Abschnitt 6 versucht, einen Praxisbezug herzustellen, indem anhand einer konkreten Fallstudie gezeigt wird, wie Ontologie-basierte Konzepte verwendet werden können, um anstehenden Herausforderungen des E-Governments zu begegnen.

## **6. Fallstudie: Ontologie-Konzepte in eID-Interoperabilitätslösungen**

Der in Abschnitt 5 gegebene Überblick über Forschungsaktivitäten zeigte, dass Ontologie-basierten Konzepten im Bereich E-Government nach wie vor großes Potential beigemessen wird. Unter anderem können aus den betrachteten wissenschaftlichen Publikationen verschiedene Themenbereiche identifiziert werden, in denen derartige Konzepte zur Anwendung kommen. Einer dieser Themenbereiche aus dem E-Government, in dem die Anwendung Ontologie-basierter Konzepte einen Mehrwert für künftige Lösungen verspricht, ist Service-Interoperabilität.

Service-Interoperabilität bezeichnet allgemein das Konzept, einen Informationsaustausch zwischen verschiedenen elektronischen Diensten aus potentiell unterschiedlichen Domänen zu gewährleisten. Interoperabilität entwickelte sich im Bereich E-Government in den letzten Jahren vor allem in Europa zu einem wichtigen Thema. So wurde beispielsweise im Rahmen mehrerer Large Scale Pilots (LSPs) versucht, nationale E-Government-Lösungen europäischer Länder über Interoperabilitätslösungen miteinander zu verbinden. Ziel dieser Bemühungen war und ist es, der Heterogenität europäischer E-Government-Lösungen zu begegnen und grenzüberschreitendes E-Government in Europa zu ermöglichen.

Ein zentraler Aspekt in den Bemühungen, Interoperabilität zwischen nationalen E-Government-Lösungen in Europa herzustellen, betrifft das Konzept der elektronischen Identitäten (eID) und darauf aufbauender Identitätsmanagementsysteme. Diese Konzepte sind für den Bereich E-Government von zentraler Bedeutung, da sie eine sichere Identifizierung und Authentifizierung von Bürgerinnen und Bürgern an E-Government-Diensten ermöglichen und so Wegbereiter für transaktionale Services sind. In Österreich sind elektronische Identitäten und das im öffentlichen Sektor verwendete Identitätsmanagementsystem über die Konzepte Bürgerkarte und Handy-Signatur umgesetzt. Dementsprechend können sich Bürgerinnen und Bürger in Österreich mit Bürgerkarte und Handy-Signatur sicher an E-Government-Diensten identifizieren und authentifizieren. Andere europäische Länder verfolgen diesbezüglich ähnliche Strategien, vertrauen aber auf teils andere Umsetzungen. Insgesamt waren daher eID-Lösungen in Europa für viele Jahre nur in einem nationalen Kontext verwendbar. Einem österreichischen Bürger bzw. einer österreichischen Bürgerin war es zum Beispiel nicht möglich, sich mit ihrer Handy-Signatur an einem spanischen E-Government-Dienst zu authentifizieren. In einer zusammenwachsenden europäischen Gesellschaft, stellte dies eine zunehmend große Einschränkung dar.

Um diesem Problem zu begegnen, wurde in den letzten Jahren im Rahmen der beiden LSPs STORK [44] und STORK 2.0 [45] ein Interoperabilitätsframework entwickelt, das eine grenzübergreifende Verwendung nationaler eID-Lösungen erlaubt. Die Funktionalität der entwickelten Interoperabilitätslösung wurde anhand mehrerer Pilotanwendungen gezeigt. Unter Einbeziehung

der Erfahrungen dieser beiden LSPs wird in Europa aktuell an der Umsetzung der eIDAS-Verordnung [46] gearbeitet, wodurch eID-Interoperabilität in Europa sichergestellt werden soll.

Eine Eigenschaft von eID-Interoperabilitätslösungen ist, dass diese in der Regel neben der eID selbst – also einem eindeutigen Identifikator für die jeweilige Bürgerin bzw. den jeweiligen Bürger – auch eine Reihe von Attributen unterstützen. Beispielsweise kann ein E-Government-Dienst-Anbieter von einem Identitätsmanagementsystem nicht nur die eID des Bürgers oder der Bürgerin, sondern auch Namen, Geburtsdatum, etc. anfordern. eID-Interoperabilitätslösungen definieren dafür eine Menge an Attributen, die über diese Lösung angefordert und bereitgestellt werden können. Außerdem definieren diese Interoperabilitätslösungen auch die Rolle des Attribute Providers (AP), dessen Aufgabe es ist, angeforderte Attribute bereitzustellen. Damit ergänzen APs die Rolle des sogenannten Identity Providers (IdP), welcher Dienstaniestern auf Anfrage die eID des aktuellen Bürgers bzw. der aktuellen Bürgerin liefert. Abbildung 4 zeigt ein vereinfachtes Modell einer eID-Interoperabilitätslösung und skizziert die einzelnen Prozessschritte im Zuge einer Authentifizierungsprozesses.

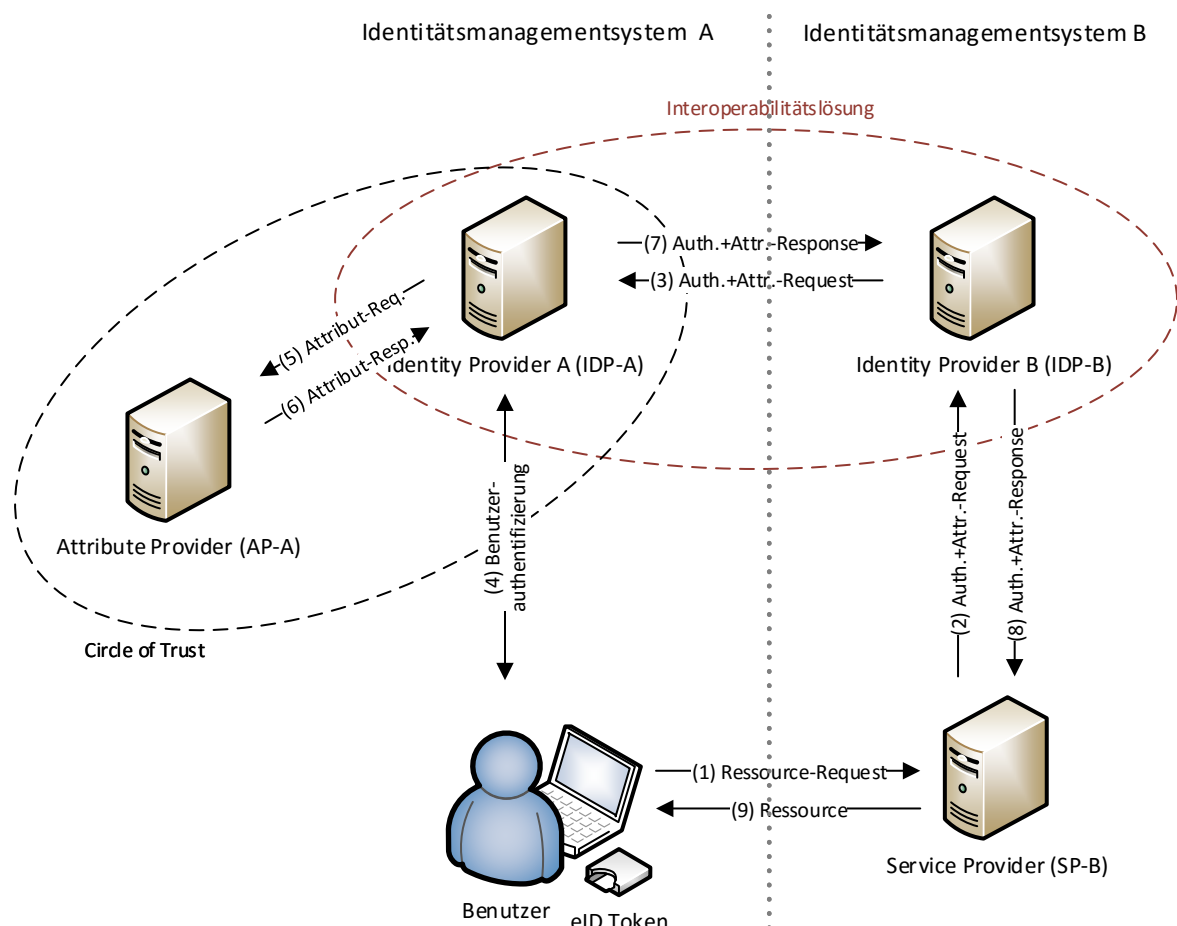


Abbildung 4. Vereinfachtes Modell einer eID-Interoperabilitätslösung.

Eine Einschränkung derartiger Interoperabilitätslösungen ist der Umstand, dass teilnehmende Entitäten sich auf eine konstante Menge von Attributen einigen müssen – nämlich genau jene Menge, die von der Interoperabilitätslösung unterstützt wird. Allgemein ausgedrückt ist es eine implizite Grundannahme bestehender Interoperabilitätslösungen, dass die von teilnehmenden Entitäten verwendeten Attribute auf denselben Ontologien beruhen. Jede Entität muss sich also der Semantik verwendeter Attribute bewusst sein.

Ontologie-basierte Konzepte versprechen Abhilfe gegen diese Limitierung. Konkret könnten Interoperabilitätslösungen dahingehend erweitert werden, dass beliebige Attribute über diese Lösungen angefragt und bereitgestellt werden können. In anderen Worten könnte so erreicht werden, dass Attribut-konsumierende Entitäten wie Dienstanbieter und APs verschiedene

Ontologien verwenden können, um Attribute zu repräsentieren, ohne dass die Möglichkeit einer Interoperabilität zwischen diesen Entitäten eingeschränkt wäre. Ein Vorschlag für eine auf diese Weise verbesserte Interoperabilitätslösung ist in Abbildung 5 gezeigt. Im Vergleich zu der in Abbildung 4 gezeigten Lösung ist hier eine Trennung von Authentifizierung und Attributanforderung, sowie ein zusätzlicher Ontology-Alignment-Schritt vorgesehen.

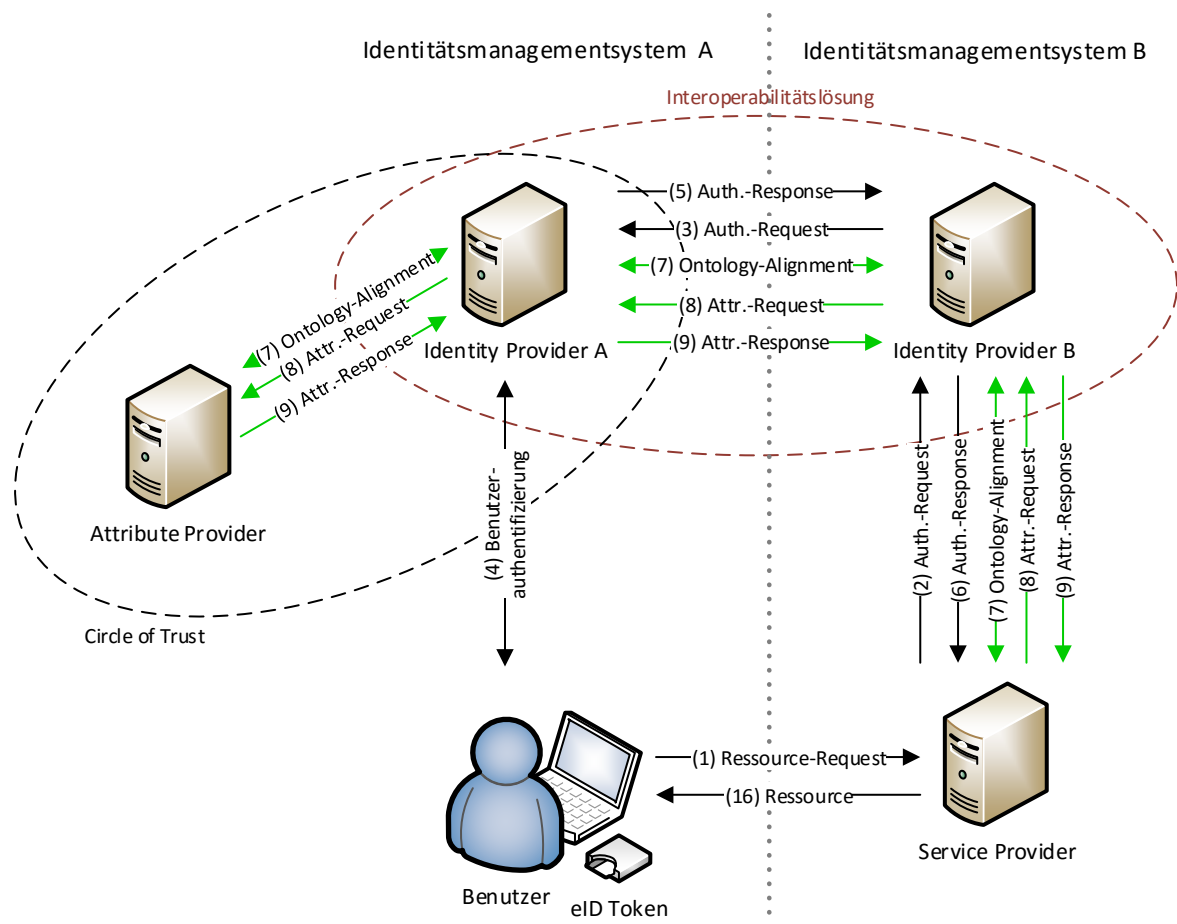


Abbildung 5. Vorschlag einer verbesserten Interoperabilitätslösung.

Basistechnologien, über die diese Verbesserung bestehender Interoperabilitätslösungen erreicht werden könnte, sind dementsprechend sogenannte Ontology Alignment-Lösungen. Ontology Alignment ist eine für Ontologien definierte Operation. Diese Operation nimmt zwei Ontologien als Input und erzeugt eine Aussage bezüglich der Übereinstimmung der in diesen Ontologien definierten Konzepte. Abzugrenzen ist der Begriff des Ontology Alignment von jenem des Ontology Merging. Während das Ziel von Ontology Alignment die Identifikation von Übereinstimmungen von Konzepten ist, versuchen Ansätze des Ontology Merging unterschiedliche Ontologien in einer einzigen Ontologie zu vereinen.

Im Bereich der Ontology Alignment-Lösungen, die für die in diesem Abschnitt beschriebene Fallstudie von besonderer Bedeutung sind, sind aktuell unterschiedliche Ansätze und Implementierungen verfügbar. Beispiele dafür sind:

- **AlignAPI:** Die Alignment API [47] oder kurz AlignAPI ist eine Java-basierte Implementierung, die grundlegende Funktionalität für das Alignment von Ontologien bereitstellt.
- **PROMPT:** PROMPT [48] ist ein Tool, welches ebenfalls das Alignment aber auch das Mergen von Ontologien erlaubt. Dementsprechend nimmt es als Input zwei Ontologien, auf denen die entsprechende Operation ausgeführt wird. PROMPT sieht eine Benutzerinteraktion vor, d.h. PROMPT implementiert einen Prozess, in dem die Benutzerin bzw. der Benutzer durch die jeweilige Operation geführt wird.

- **XMAP:** XMAP [49] hat sich speziell auf große Ontologien spezialisiert. Seine unterstützten Operationen basieren auf UMLS und WordNet, die unter anderem dafür herangezogen werden, Synonyme und Ähnlichkeiten zwischen Ontologien zu identifizieren.

Im gegebenen Fall von eID-Interoperabilitätslösungen können Konzepte und Implementierungen des Ontology Alignment wie die oben erwähnten von Entitäten verwendet werden, um deren eigene Ontologien in Relation zu jenen anderer Entitäten zu setzen. Dadurch könnte beispielsweise ein Dienstanbieter lernen, auf welche Art und Weise Attribute durch diverse APs repräsentiert werden, was in weiterer Folge gezielte Abfragen dieser Attribute ermöglicht.

Das gezeigte Beispiel verdeutlicht die Möglichkeiten, die sich durch einen Einsatz Ontologie-basierter Konzepte und Lösungen im Bereich E-Government ergeben können. Die Erhöhung der Interoperabilität von Attributen im Speziellen oder auch die Anwendung einschlägiger Konzepte im Bereich von eID-Interoperabilitätslösungen im Allgemeinen sind jedoch nur eine Domäne, in denen Ontologie-basierte Konzepte und Ansätze aus dem Bereich des Semantic Webs einen Mehrwert für E-Government-Lösungen bringen können. Abseits des in diesem Abschnitt beschriebenen konkreten Fallbeispiels gibt es im Bereich E-Government noch zahlreiche weitere Anwendungsfälle, die von Ontologie-basierten Konzepten profitieren könnten. Dies wurde auch aus dem in dieser Studie gegebenen Überblick zu aktuellen Forschungsbereichen deutlich. Der folgende Abschnitt fasst deshalb nochmal die wichtigsten Erkenntnisse aus dieser Studie zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche zukünftige Entwicklungen.

## 7. Schlussfolgerungen und Ausblick

In dieser Studie wurden Technologien und Konzepte hinter den Themenbereichen Ontologie und Semantic Web überblicksmäßig betrachtet, um deren aktuelle und zukünftige Relevanz für den Themenbereich E-Government abzuschätzen. Hintergrund dieser Aktivität war und ist die Tatsache, dass sich die beiden Themenbereiche Ontologie und Semantic Web vor allem im wissenschaftlichen Bereich unverändert großer Popularität erfreuen. Dies spiegelt sich in einer Vielzahl wissenschaftlicher Konferenzen und Publikationen zu dieser Thematik wider. Dementsprechend wurde in dieser Studie der Hauptfokus auch auf Entwicklungen im wissenschaftlichen Bereich gelegt. Dies vor allem auch deshalb, weil breite Anwendungen der betrachteten Technologien noch überschaubar sind, sich mögliche zukünftige Entwicklungen jedoch potentiell aus aktuellen wissenschaftlichen Tätigkeiten ableiten lassen. Trotzdem wurde in dieser Studie auch versucht, die Praxisrelevanz der Themenbereiche Ontologie und Semantic Web hervorzuheben und über Anwendungen aus der Praxis sowie ein konkretes Fallbeispiel zu illustrieren.

Insgesamt zeigte sich, dass die beiden eng miteinander verknüpften Bereiche Semantic Web und Ontologien ein breites Forschungsfeld darstellen, in dem sich in den letzten Jahren diverse Richtungen herausgebildet haben. Den meisten Forschungsaktivitäten ist jedoch das gemeinsame Ziel gemein, Daten- und Informationsaustausch zwischen Maschinen bzw. zwischen Mensch und Maschine zu verbessern, indem die semantische Komponente verarbeiteter Daten und Informationen berücksichtigt und miteinbezogen wird.

Vorteile, die sich aus einer Berücksichtigung der semantischen Komponente von Daten und Informationen ergeben, können sich auch auf Anwendungen und Lösungen im Bereich E-Government positiv auswirken. Dieses Potential wurde früh erkannt. Dementsprechend gibt es auch im Bereich E-Government zahlreiche Forschungsaktivitäten, die sich einer Integration Ontologie-basierter Konzepte in E-Government-Lösungen widmen. Wissenschaftliche Betätigungsfelder in diesem Bereich sind die Modellierung E-Government-spezifischer Domänen über Ontologien, die Verbesserung und Automatisierung elektronischer Services durch Modellierung auf semantischer Ebene, sowie die Verwendung von Ontologien in Interoperabilitätslösungen.

Einschlägige Aktivitäten im Bereich E-Government sind jedoch nicht auf die Forschung beschränkt. In den letzten Jahren wurden einige konkrete Lösungen und Anwendungen vorgestellt, die sich Ontologien und Semantic Web-basierter Konzepte bedienen. Österreichische Beispiele hierfür sind der Linked Open Data Pilot Österreich oder auch das Open Government Data App Observatory –

Vienna [50]. Auch auf europäischer Ebene widmen sich zahlreiche Initiativen der Verwendung Ontologie-basierter Konzepte im E-Government [51] [52] [53] [54].

Aus den betrachteten Aktivitäten lässt sich schlussfolgern, dass Ansätze und Konzepte rund um das Semantic Web und Ontologie-basierte Technologien das Potential haben, einen Mehrwert für zukünftige Anwendungen – vor allem auch im Bereich des E-Governments – zu liefern. Hier ergeben sich vor allem auch im Zusammenhang mit Initiativen rund um Open Government Data (OGD) zahlreiche neue Möglichkeiten. Auch Interoperabilitätslösungen, deren Entwicklung in den letzten Jahren vor allem in Europa von zentraler Bedeutung war, können von einer Integration Ontologie-basierter Konzepte profitieren, wie auch anhand einer konkreten Fallstudie beispielhaft gezeigt wurde. Insgesamt empfiehlt es sich daher, neue Entwicklungen in den Themenbereichen Ontologie und Semantic Web zu beobachten, und Möglichkeiten der Integration neuer Lösungen und Konzepte in E-Government-Lösungen laufend zu evaluieren. Auf diese Weise können die Potentiale dieser Technologien frühzeitig erkannt und in einen positiven Nutzen für E-Government-Lösungen übergeführt werden.

## 8. Literaturverzeichnis

- [1] P. Möller, „Ontologie - Philolex,“ 2016. [Online]. Available: <http://www.philolex.de/ontologi.htm>.
- [2] W3C, „Semantic Web,“ W3C, 2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/standards/semanticweb/>.
- [3] C. Shirky, „Ontology is Overrated,“ 2005.
- [4] A. Swartz, „Aaron Swartz’s A Programmable Web - An Unfinished Work,“ Morgan&Claypool Publishers, 2013.
- [5] e-teaching.org, „Semantic Web,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.e-teaching.org/technik/vernetzung/semanticweb>.
- [6] Princeton University, „WordNet,“ Princeton University, 2016. [Online]. Available: <https://wordnet.princeton.edu/>.
- [7] T. Gruber, „Ontology,“ 2009. [Online]. Available: <http://tomgruber.org/writing/ontology-definition-2007.htm>.
- [8] Gesellschaft für Informatik, „Ontologie(n),“ Gesellschaft für Informatik, 2016. [Online]. Available: <https://www.gi.de/service/informatiklexikon/detailansicht/article/ontologien.html>.
- [9] R. V. Guha und T. Bray, „Meta Content Framework Using XML,“ W3C, 2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/NOTE-MCF-XML/>.
- [10] World Wide Web Consortium, „W3C,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/>.
- [11] W3C, „RDF Schema 1.1,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/rdf-schema/>.
- [12] W3C, „DAML+OIL (March 2001) Reference Description,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/daml+oil-reference>.
- [13] W3C, „OWL Web Ontology Language - Overview,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>.
- [14] W3C, „SPARQL 1.1 Overview,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/sparql11-overview/>.
- [15] W3C, „RDQL - A Query Language for RDF,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/Submission/RDQL/>.
- [16] W3C, „Category:Reasoner,“ W3C, 2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/Category:Reasoner>.
- [17] W3C, „Kaon2,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/Kaon2>.
- [18] The Apache Software Foundation, „Apache Jena,“ 2016. [Online]. Available: <https://jena.apache.org/>.
- [19] W3C, „Bossam,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/Bossam>.



- [20] Linked Data, „Linked Data - Connect Distributed Data across the Web,“ 2016. [Online]. Available: <http://linkeddata.org/>.
- [21] Schema.org, „Schema.org,“ 2016. [Online]. Available: <https://schema.org/>.
- [22] JSON-LD, „JSON for Linking Data,“ 2016. [Online]. Available: <http://json-ld.org/>.
- [23] W3C, „HTML Microdata,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/microdata/>.
- [24] RDFa, „Linked Data in HTML,“ 2016. [Online]. Available: <https://rdfa.info/>.
- [25] Schema.org, „Schema.org - Full Hierarchy,“ 2016. [Online]. Available: <https://schema.org/docs/full.html>.
- [26] Semantic Web Company GmbH, „LOD Pilot,“ 2016. [Online]. Available: <http://lodpilot.at/>.
- [27] H. Sfar, A. H. Chaibi, A. Bouzeghoub und H. B. Ghezala, „Gold Standard based Evaluation of Ontology Learning Techniques,“ *Proceedings of the 31th Annual ACM Symposium on Applied Computing 2016*, pp. 339-346, 2016.
- [28] F. Corcoglioniti, M. Rospocher und A. P. Apro시오, „A 2-phase Frame-based Knowledge Extraction Framework,“ *Proceedings of the 31th Annual ACM Symposium on Applied Computing 2016*, pp. 354-361, 2016.
- [29] C. d'Amato, S. Staab und A. Tettamanzi, „Ontology Enrichment by Discovering Multi-Relational Association Rules from Ontological Knowledge Bases,“ *Proceedings of the 31th Annual ACM Symposium on Applied Computing 2016*, pp. 333-338, 2016.
- [30] P. Minervini, C. d'Amato, N. Fanizzi und F. Esposito, „Leveraging the Schema in Latent Factor Models for Knowledge Graph Completion,“ *Proceedings of the 31th Annual ACM Symposium on Applied Computing 2016*, pp. 327-332, 2016.
- [31] G. Piao und J. G. Breslin, „Measuring Semantic Distance for Linked Open Data-enabled Recommender Systems,“ *Proceedings of the 31th Annual ACM Symposium on Applied Computing 2016*, pp. 315-320, 2016.
- [32] W. E. Zhang, Q. Z. Sheng und K. Taylor, „SECF: Improving SPARQL Querying Performance with Proactive Fetching and Caching,“ *Proceedings of the 31th Annual ACM Symposium on Applied Computing 2016*, pp. 362-367, 2016.
- [33] M. Cameranesi, C. Diamantini, D. Potena und E. Storti, „GoAAL: an Ontology for Goal-oriented Development of AAL Environments,“ *Proceedings of the 31th Annual ACM Symposium on Applied Computing 2016*, pp. 347-353, 2016.
- [34] R. A. Falbo, G. K. Quirino, J. C. Nardi, M. P. Barcellos, G. Guizzardi, N. Guarino, A. Longo und B. Livieri, „An Ontology Pattern Language for Service Modeling,“ *Proceedings of the 31th Annual ACM Symposium on Applied Computing 2016*, pp. 321-326, 2016.
- [35] G. Orthofer und M. A. Wimmer, „An Ontology for eGovernment: Linking the Scientific Model with Concrete Projects,“ *Papers from the 2006 AAAI Spring Symposium: Semantic Web Meets eGovernment*, pp. 96-98, 2006.
- [36] C. Vassilakis und G. Lepouras, „An Ontology for e-Government Public Services,“ *Encyclopedia of E-Commerce, E-Government and Mobile Commerce*, pp. 865-870, 2006.
- [37] J. V. Fonou-Dombeu und M. Huisman, „Semantic-Driven e-Government: Application of Uschold and King Ontology Building Methodology for Semantic Ontology Models Development,“ *International Journal of Web & Semantic Technology (IJWeST) Vol.2, No.4*, 2011.
- [38] L. Sheng und L. Lingling, „Application of Ontology in E-Government,“ *2011 International Conference on Management of e-Commerce and e-Government*, pp. 93-96, 2011.
- [39] P. Salhofer, ODEG – Ontology Driven E-Government, Graz: TU Graz, 2011.
- [40] A. Ramaprasad, A. Sánchez-Ortiz und T. Syn, „An Ontology of eGovernment,“ *Electronic Government*, pp. 258-269, 2015.
- [41] Munoz, J. F. Munoz und G. Esteban, „Using Semantic Web for the Integration and Publication of Public Procurement Data,“ *Electronic Government and the Information Systems Perspective*, pp. 14-28, 2015.

- [42] E. Francesconi, M. W. Küster, P. Gratz und S. Thelen, „The Ontology-Based Approach of the Publications Office of the EU for Document Accessibility and Open Data Services,“ *Electronic Government and the Information Systems Perspective*, pp. 29-39, 2015.
- [43] J. V. Fonou-Dombeu und M. Huisman, „Engineering Sematic Web Services for Government Business Processes Automation,“ *Electronic Government and the Information Systems Perspective*, pp. 40-54, 2015.
- [44] STORK Consortium, „STORK,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.eid-stork.eu/>.
- [45] STORK 2.0 Consortium, „STORK 2.0,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.eid-stork2.eu/>.
- [46] DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION, „VERORDNUNG (EU) Nr. 910/2014 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Juli 2014 über elektronische Identifizierung und Vertrauensdienste für elektronische Transaktionen im Binnenmarkt und zur Aufhebung der Richtlinie 1999/93/EG,“ Amtsblatt der Europäischen Union, 2016.
- [47] Alignment API, „Alignment API and Alignment Server,“ 2016. [Online]. Available: <http://alignapi.gforge.inria.fr/>.
- [48] PROMPT, „PROMPT,“ 2016. [Online]. Available: <http://protegewiki.stanford.edu/wiki/PROMPT>.
- [49] W. E. Djeddi und M. T. Khadir, „XMAP : A novel structural approach for alignment of OWL-Full onotologies,“ *2010 International Conference on Machine and Web Intelligence (ICMWI)*, pp. 368-373, 2010.
- [50] OGD App Observatory – Vienna, „OGD App Observatory – Vienna,“ 2016. [Online]. Available: <http://data.ifs.tuwien.ac.at/ogda/observatory/#/>.
- [51] Agile Knowledge Engineering and Semantic Web (AKSW), „LOD2,“ 2016. [Online]. Available: <http://lod2.eu/Welcome.html>.
- [52] Europäische Kommission, „European Union Open Data Portal,“ Europäische Kommission, 2016. [Online]. Available: <https://open-data.europa.eu/en/data/>.
- [53] Semic.eu, „SEMIC - Semantic Interoperability Community,“ JOINUP, 2016. [Online]. Available: <https://joinup.ec.europa.eu/community/semic/description>.
- [54] Semic.eu, „e-Government Core Vocabularies,“ JOINUP, 2016. [Online]. Available: [https://joinup.ec.europa.eu/asset/core\\_vocabularies/description](https://joinup.ec.europa.eu/asset/core_vocabularies/description).
- [55] Duden, „Duden - Ontologie,“ 2016. [Online]. Available: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Ontologie>.
- [56] Wikipedia, „SPARQL - Wikipedia,“ 2016. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/SPARQL>.
- [57] STORK Consortium, „STORK,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.eid-stork.eu/>.