

# Ontology-based Customization and Visualization of Information Flow control in an Industry 4.0 Scenario

Oliver König (1703779)

Betreut durch: Dipl.-Ing. Antonios 'Toni' Karatzoglou (TECO)



# Einleitung

---

## ■ Forschungsfrage

- Modellierungsmöglichkeiten eines ontologie-basierten *Datenmodells* eines Industrie 4.0 Szenario?
- Möglichkeiten der ontologie-basierten *Anpassung* des Datenmodells?
- Konstrukte der ontologie-basierten *Informationsflusskontrolle* innerhalb des Datenmodells?

## ■ Ansatz

# Einleitung

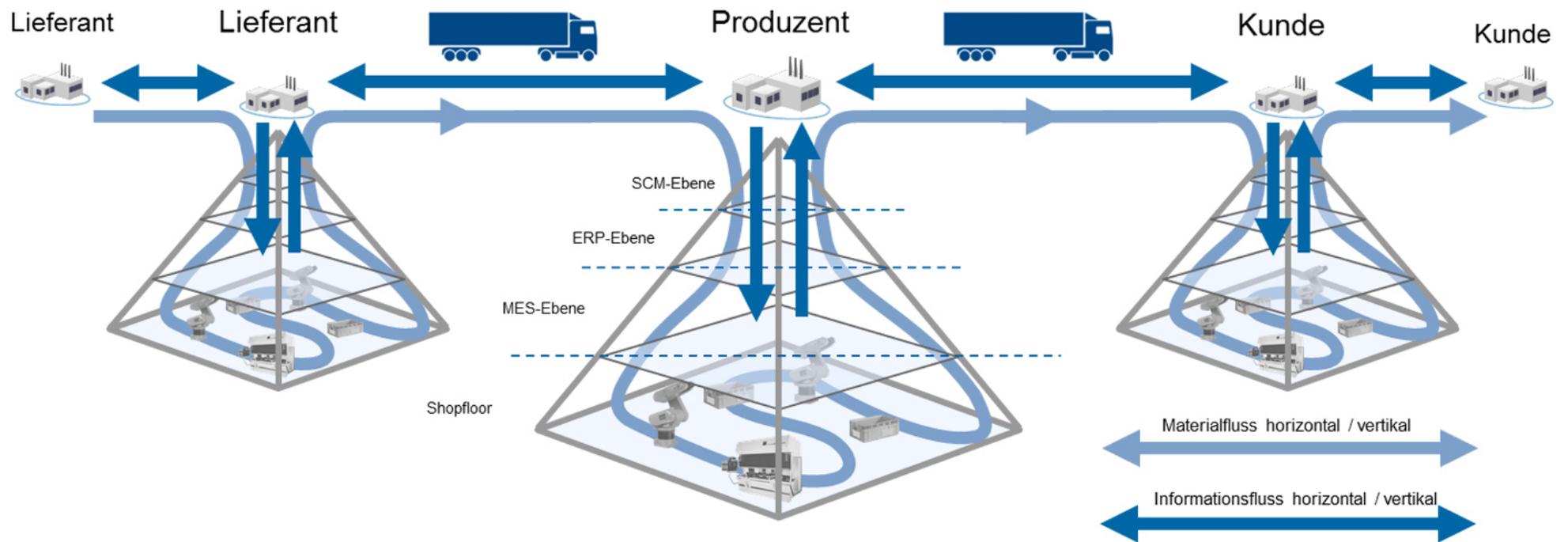
---

- Forschungsfrage
  
- Ansatz
  - Untersuche ...
    - die Struktur produzierender Unternehmen
    - die Ansätze der Informationsflusskontrolle
    - die Möglichkeiten der Web Ontology Language
  
  - Entwickle ein ontologie-basiertes Datenmodell

# Struktur

- Grundlagen
  - Vernetzung der Wertschöpfungskette
  - Begriff der Informationsflusskontrolle
  - Spezifikation des Semantic Webs
  
- Analyse
  - Web Ontology Language und relevante Vokabulare
  - Ontology Design Patterns
  - Informationsflusskontrolle
  
- Entwurf
  - Top-Level-Ontology
  - Base-Ontology
  
- Implementierung
  - Java-Kernkomponente
  - TripleStore
  - Client-App
  
- Evaluation
- Zusammenfassung und Ausblick

# Vernetzung der Wertschöpfungskette

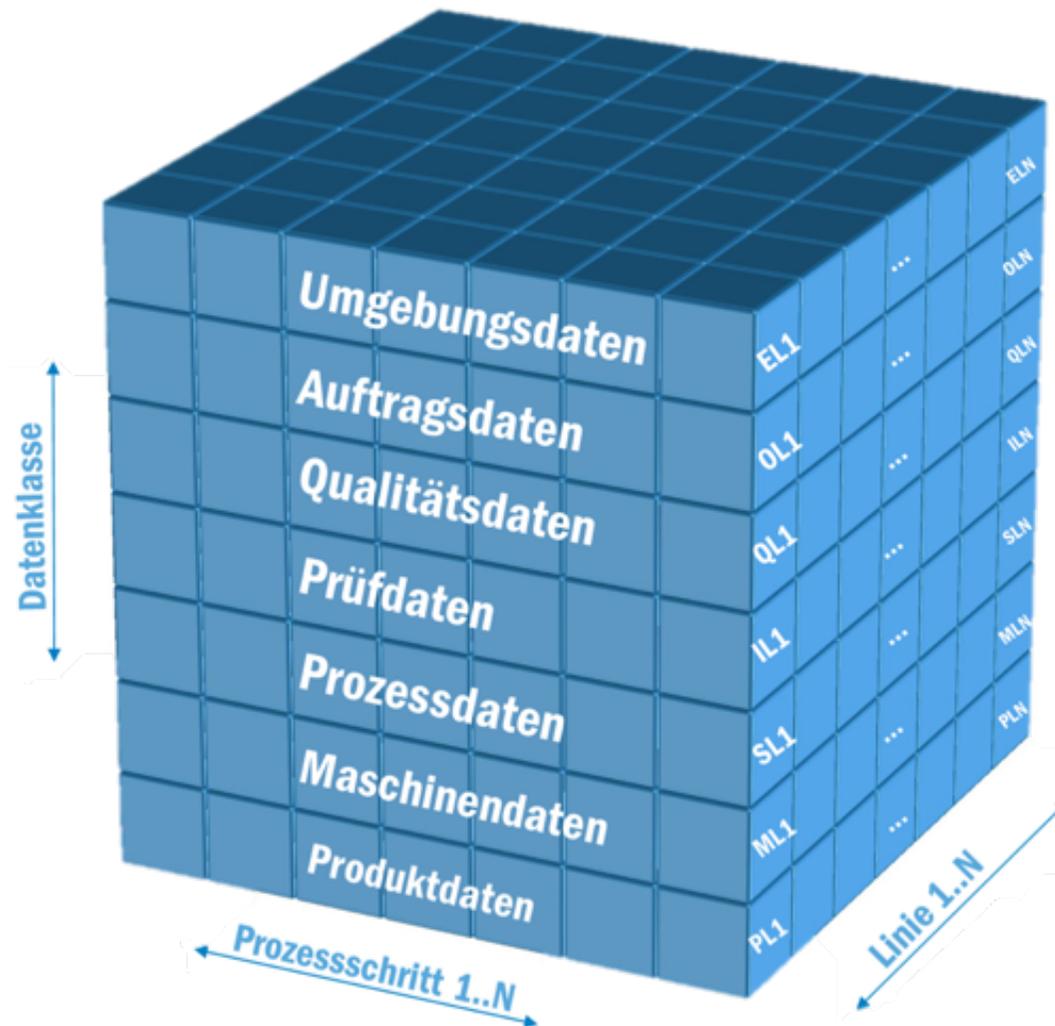


[Aach17]

*Wer darf wann auf welche Informationen zugreifen und wie darf dieser Zugriff erfolgen?*

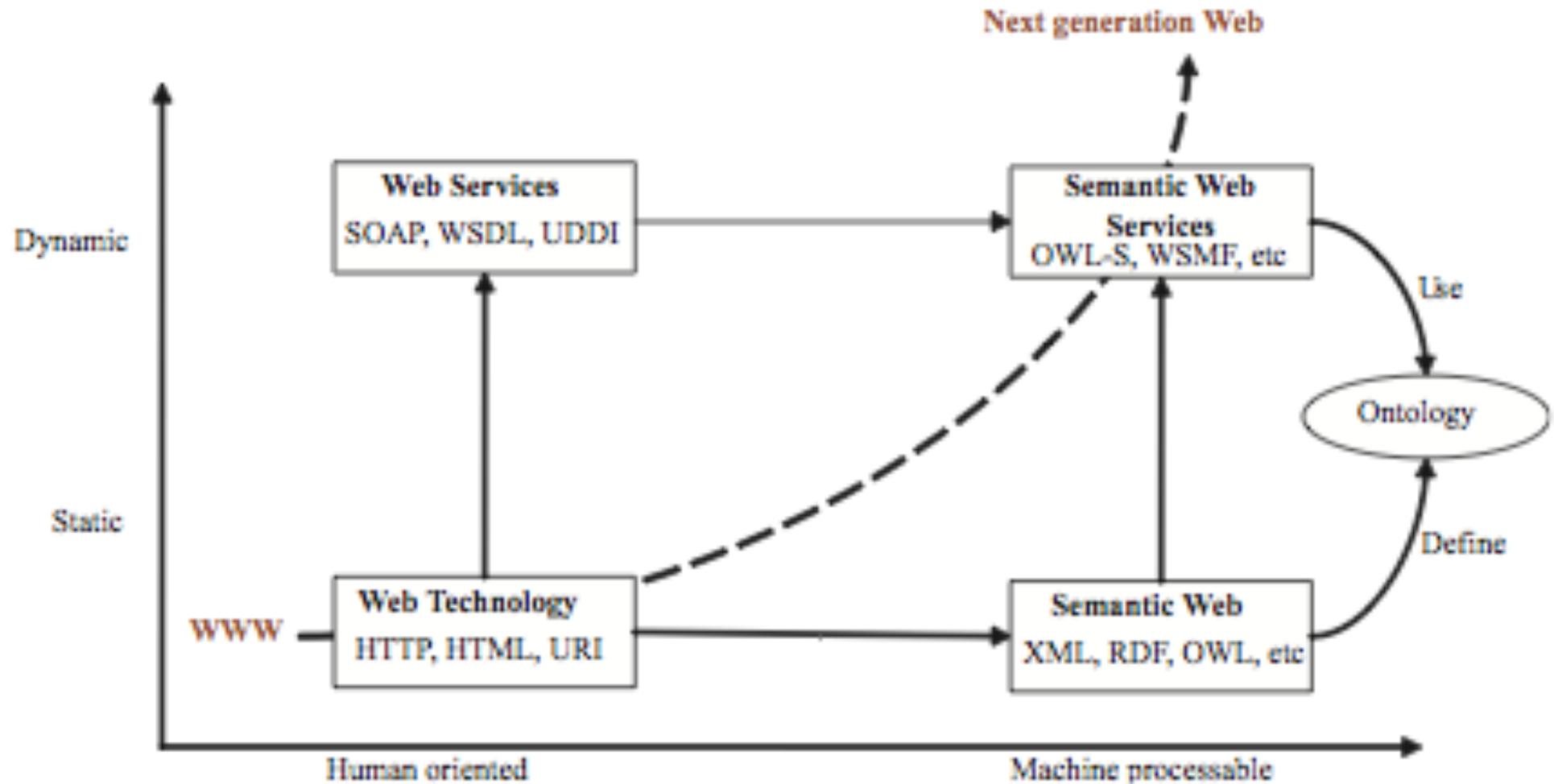
vgl. [Lehm07]

# Data Cube



[ScaleIT]

# Linked Data in der Industrie 4.0



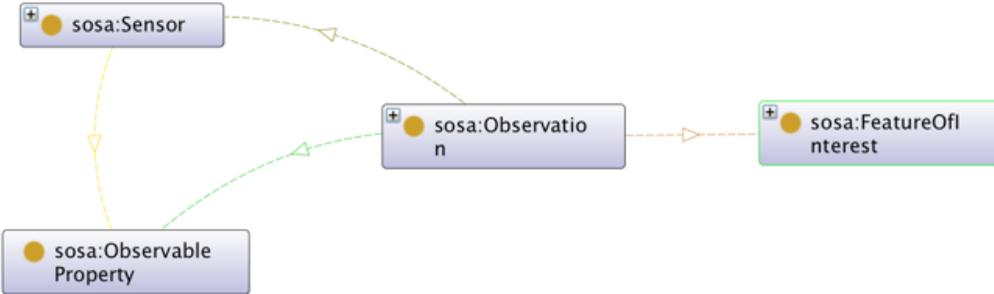
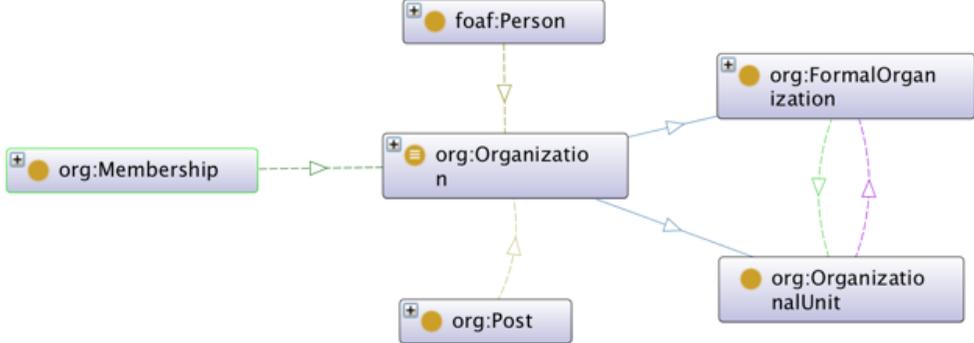
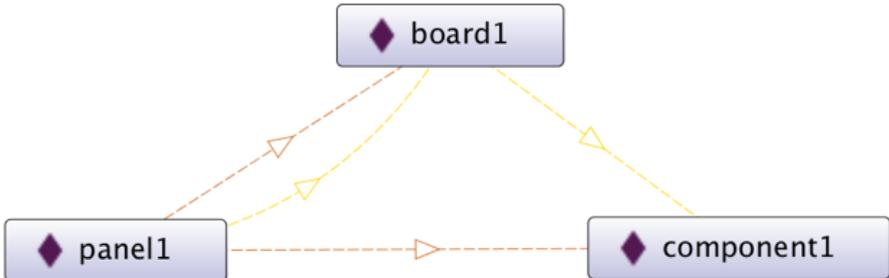
[KhHC09]

# Struktur

- Grundlagen
  - Vernetzung der Wertschöpfungskette
  - Begriff der Informationsflusskontrolle
  - Spezifikation des Semantic Webs
  
- Analyse
  - Web Ontology Language und relevante Vokabulare
  - Ontology Design Patterns
  - Informationsflusskontrolle
  
- Entwurf
  - Top-Level-Ontology
  - Base-Ontology
  
- Implementierung
  - Java-Kernkomponente
  - TripleStore
  - Client-App
  
- Evaluation
- Zusammenfassung und Ausblick

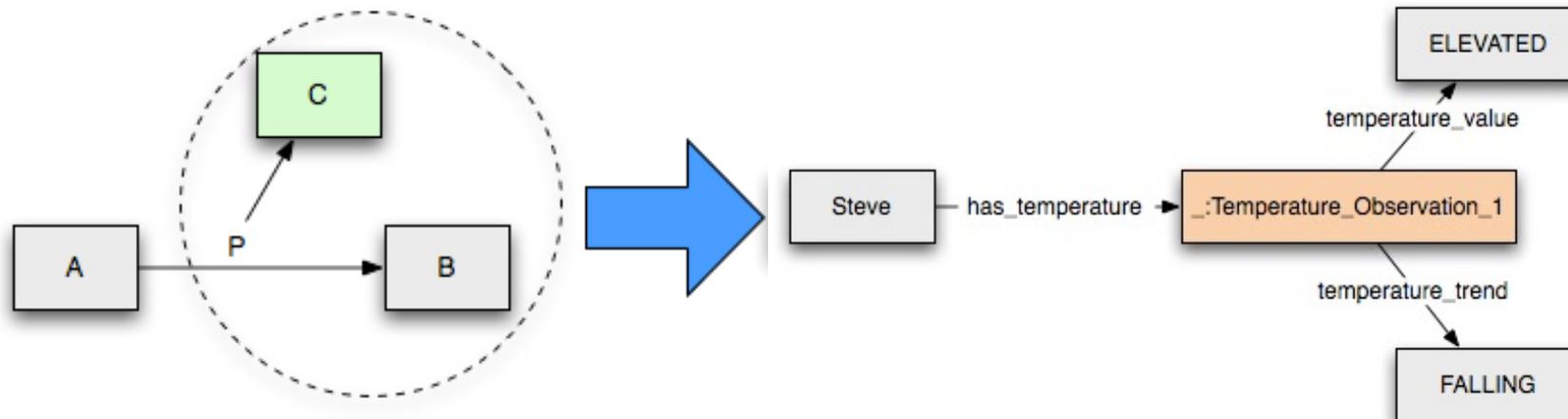
- Web Ontology Language (OWL)
  - Formale Beschreibungssprache basierend auf RDF/ RDFS
  - Geeignet zum Entwurf von ontologischen Wissensmodellen
  - Gemeinsame *Vokabulare* ermöglichen Austausch über gemeinsame Konzepte
  
  - Features:
    - *Konsistenzüberprüfung*
    - *Klassifizierung*
    - *Wissenserschließung (Inferenz)*
  
- Semantic Web Rule Language (SWRL)
  - Erweiterung von OWL
  - Modellierung von konditionalem Verhalten (if-else-Struktur)
  - proposal, keine Spezifikation

# Relevante Vokabulare

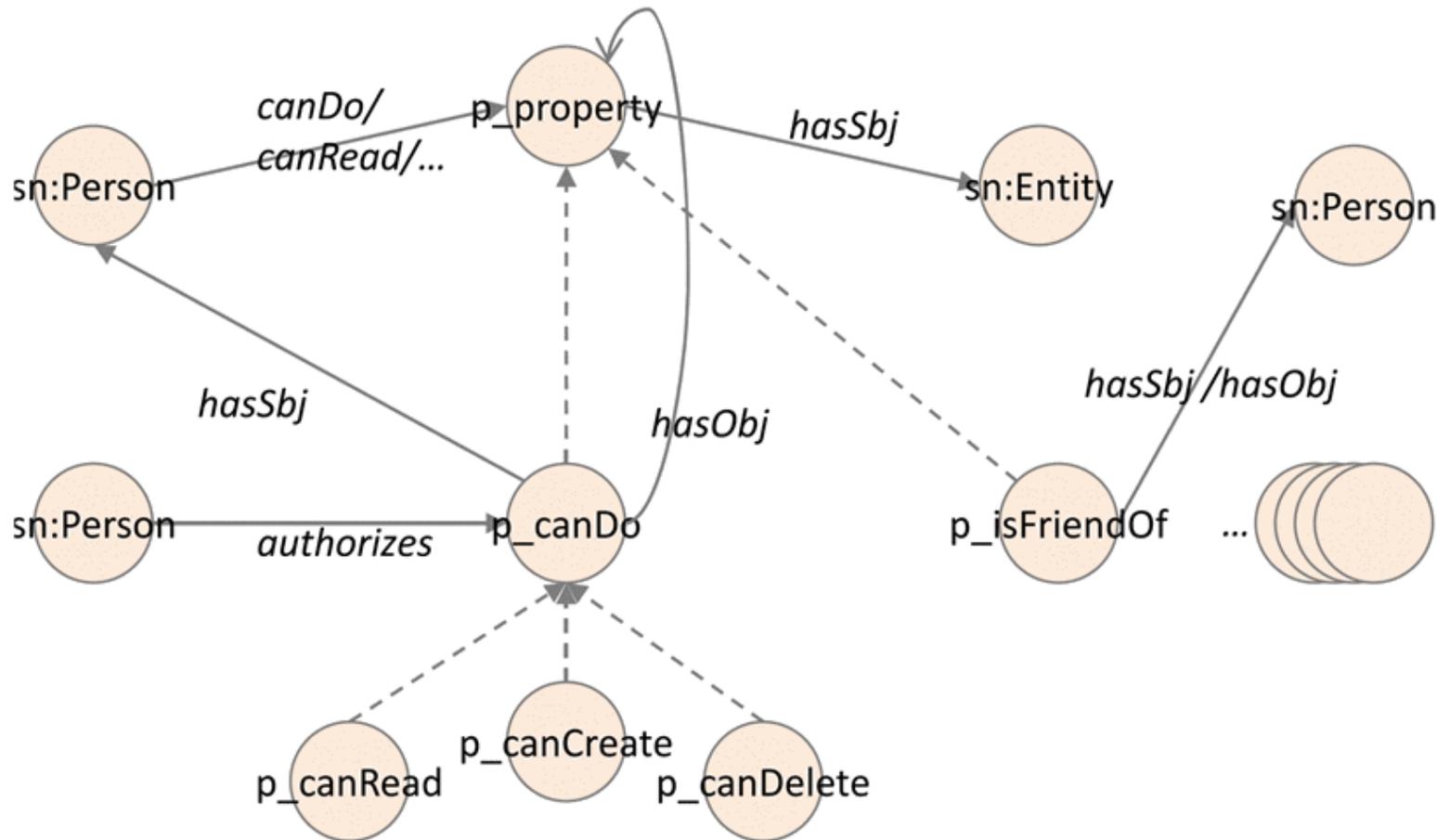
Vokabular	Darstellung	Properties
<p>Sensor, Observation, Sample and Actuator Vocabulary (SOSA)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>● sosa:observes</li> <li>● sosa:madeBySensor</li> <li>● sosa:observedProperty</li> <li>● sosa:hasFeatureOfInterest</li> </ul>
<p>Organizational Vocabulary (org)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>● org:organization</li> <li>● org:headOf</li> <li>● org:postIn</li> <li>● hasSubclass</li> <li>● org:hasUnit</li> <li>● org:unitOf</li> </ul>
<p>Simple Part-whole Relations (part)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>● part:hasPart_directly</li> <li>● part:hasPart (inferiert)</li> </ul>

# Ontology Design Patterns

n-ary Design Pattern:



[W3C06]



[MaJo10]

# Struktur

- Grundlagen
  - Vernetzung der Wertschöpfungskette
  - Begriff der Informationsflusskontrolle
  - Spezifikation des Semantic Webs
  
- Analyse
  - Web Ontology Language und relevante Vokabulare
  - Ontology Design Patterns
  - Informationsflusskontrolle
  
- Entwurf
  - Top-Level-Ontology
  - Base-Ontology
  
- Implementierung
  - Java-Kernkomponente
  - TripleStore
  - Client-App
  
- Evaluation
- Zusammenfassung und Ausblick



# Konstruktion eines Anwendungsfalles (1)

- Prozess zur Konstruktion von Surface-Mounted-Devices (SMD)
- Resultierte aus einem Datenset des ScaleIT-Projekts
- SMD-Prozess (im Rahmen dieser Arbeit):

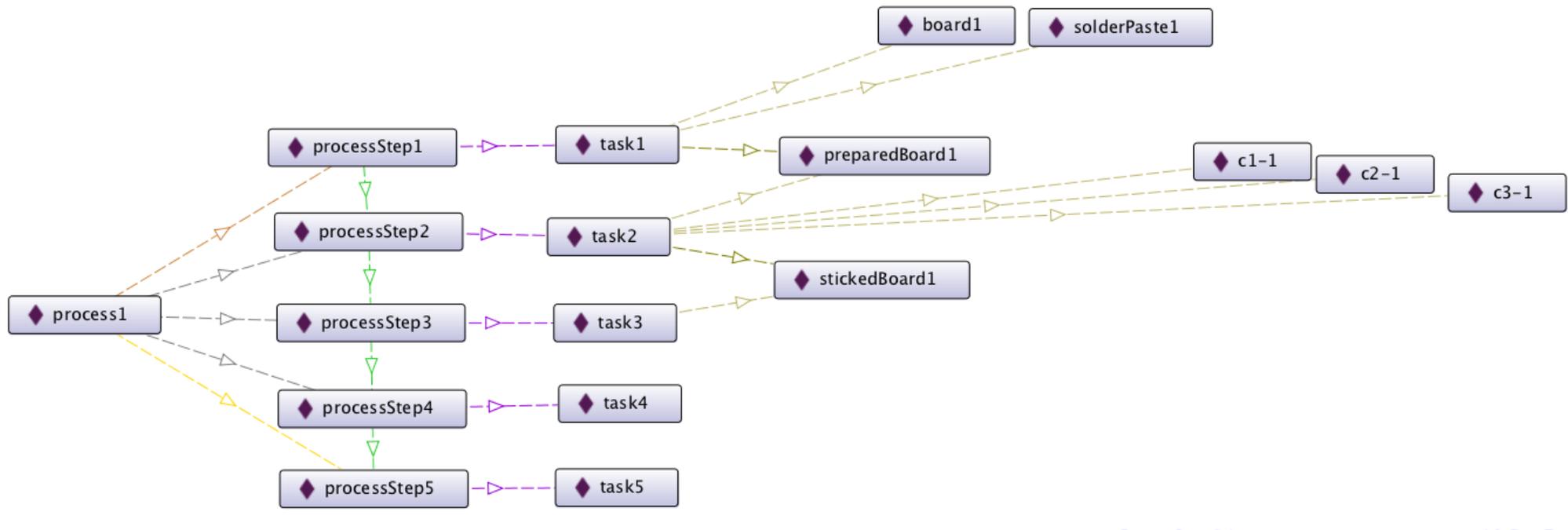
T1	Wärmeleitpaste auf eine Leiterplatte auftragen
T2	Leiterplatte mit Komponenten bestücken
T3	Durchführung der ersten automatischen, optischen Inspektion (AOI)
T4	Härtung der Verbundmaterialien im Leiterplattenofen
T5	Durchführung der zweiten AOI

● Herstellungsaufgabe

● Qualitätssicherung

- Ontologie-basierte Fehlerauflösung

# Base Ontology - Implementierung des Anwendungsfalles 1



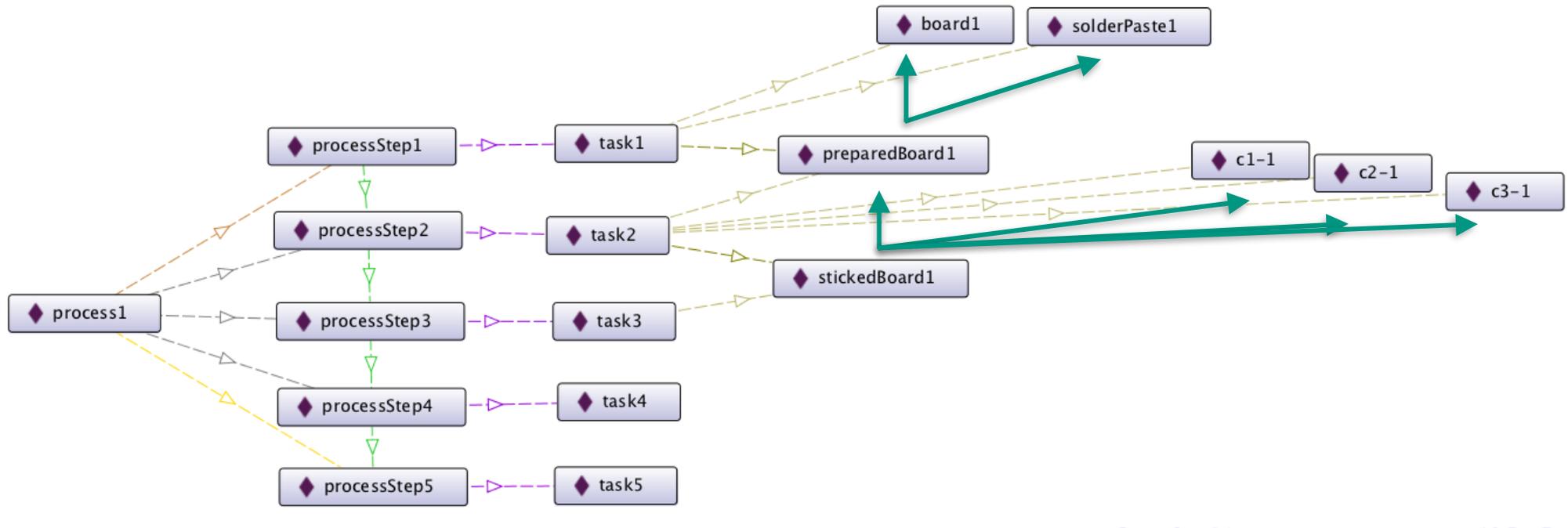
## Property

- *hasProcessStart*
- *hasProcessStep*
- *hasProcessEnd*
- *hasNextStep*
- *hasFunctionalTask*

## Property

- *hasFunctionalTaskInput*
- *hasFunctionalTaskOutput*

# Regelbasierte Annotation mittels SWRL Regel R1



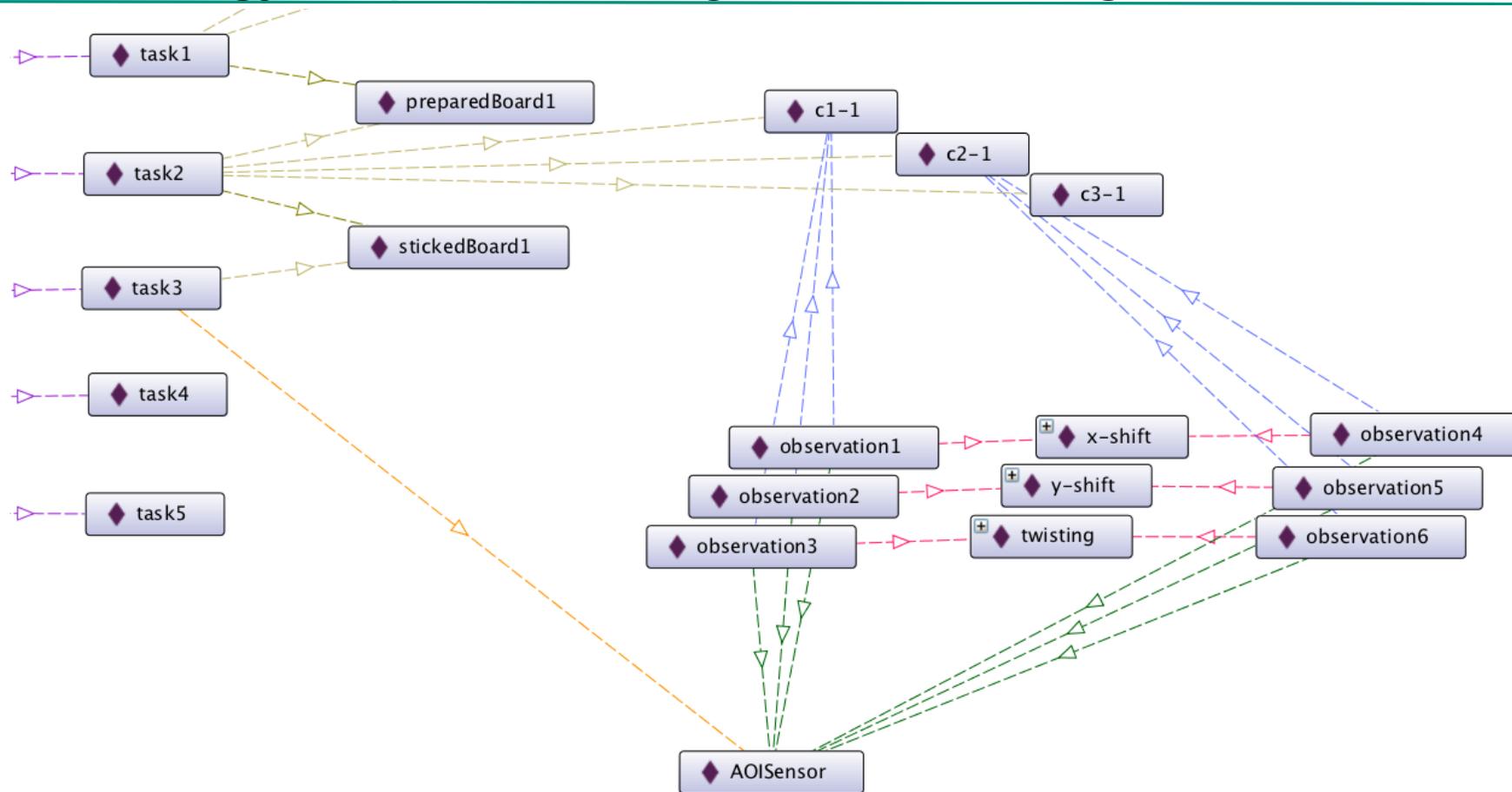
## Property

- *hasProcessStart*
- *hasProcessStep*
- *hasProcessEnd*
- *hasNextStep*
- *hasFunctionalTask*

## Property

- *hasFunctionalTaskInput*
- *hasFunctionalTaskOutput*
- *part:hasPart*

# Base Ontology - Implementierung des Anwendungsfalles 2



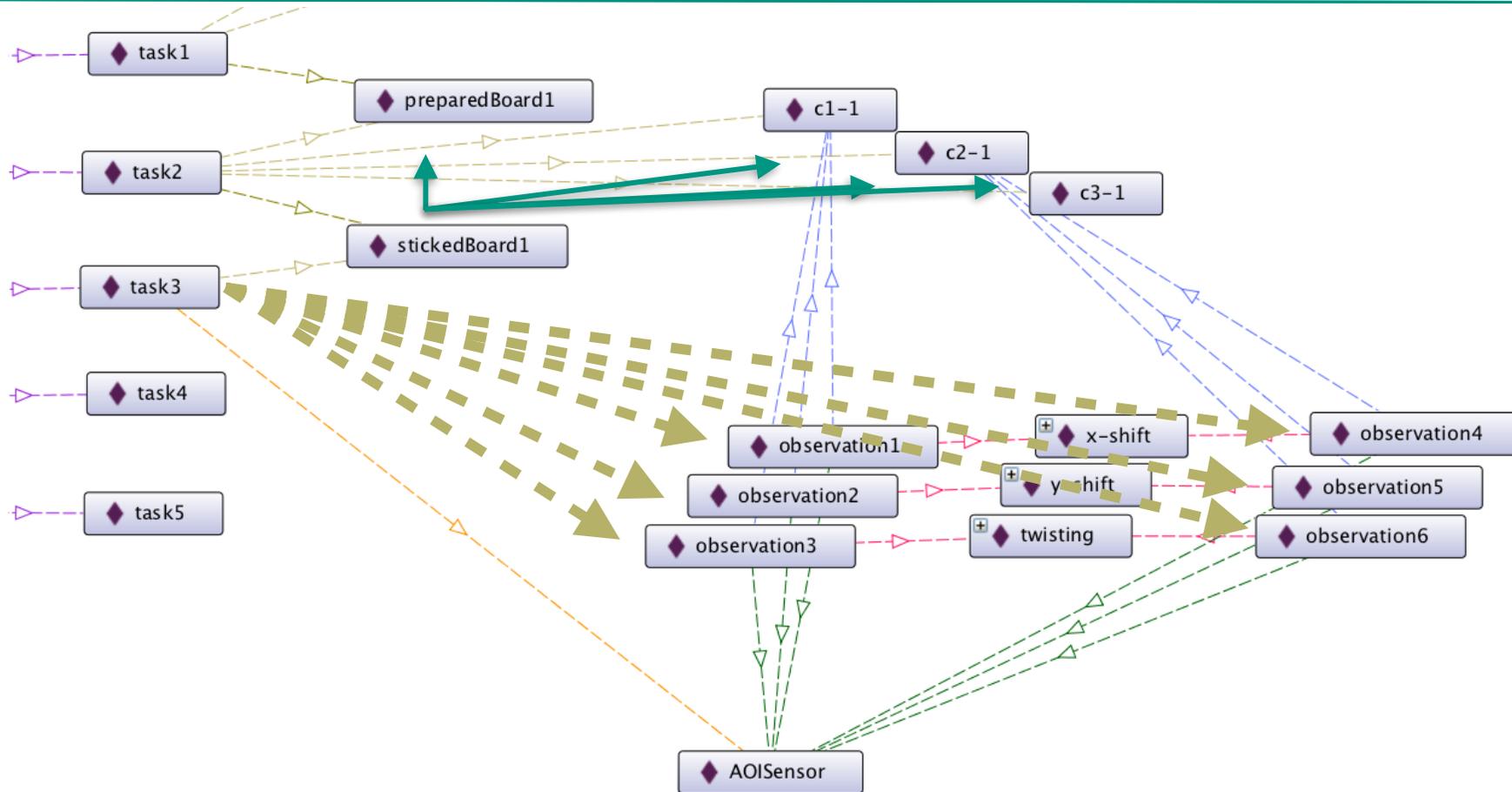
## Property

- *hasFunctionalTask*
- *hasFunctionalTaskInput*
- *hasFunctionalTaskOutput*

## Property

- *hasFeatureOfInterest*
- *observedProperty*
- *madeBySensor*
- *implementedBy*

# Regelbasierte Annotation mittels SWRL Regel R2



## Property

- *hasFunctionalTask*
- *hasFunctionalTaskInput*
- *hasFunctionalTaskOutput*

## Property

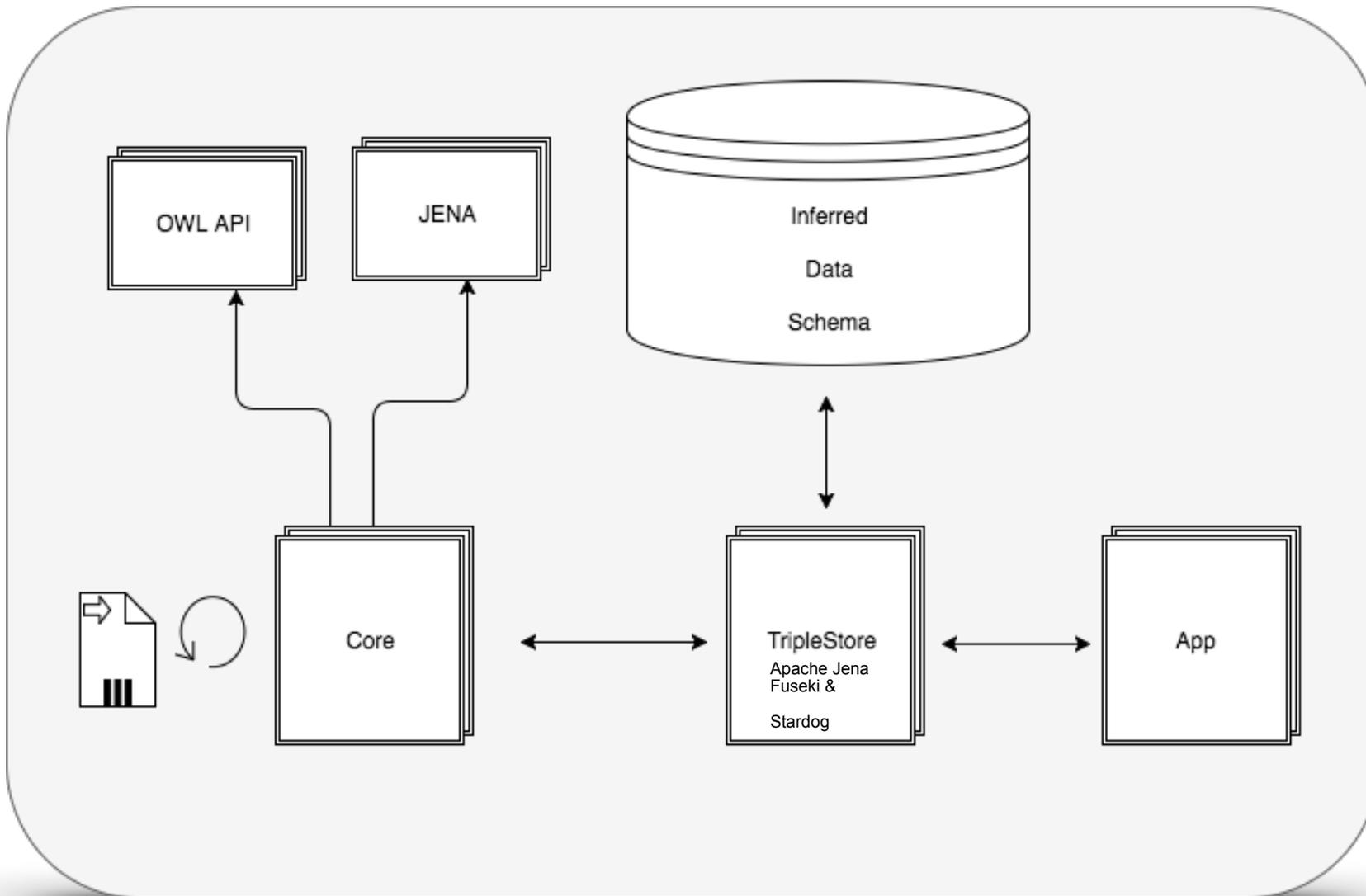
- *hasFeatureOfInterest*
- *observedProperty*
- *madeBySensor*
- *implementedBy*

## Konstruktion eines Anwendungsfalles (2)

- Prozess zur Konstruktion von Surface-Mounted-Devices (SMD)
- Resultierte aus einem Datenset des ScaleIT-Projekts
  
- SMD-Prozess (im Rahmen dieser Arbeit):
  
- **Ontologie-basierte Fehlerauflösung**
  - (1) Rohmaterialien nicht verfügbar
  - (2) Arbeiter nicht verfügbar
  - (3) Zeit für Prozessneustart nicht verfügbar

# Struktur

- Grundlagen
  - Vernetzung der Wertschöpfungskette
  - Begriff der Informationsflusskontrolle
  - Spezifikation des Semantic Webs
  
- Analyse
  - Web Ontology Language und relevante Vokabulare
  - Ontology Design Patterns
  - Informationsflusskontrolle
  
- Entwurf
  - Top-Level-Ontology
  - Base-Ontology
  
- Implementierung
  - Java-Kernkomponente
  - TripleStore
  - Client-App
  
- Evaluation
- Zusammenfassung und Ausblick



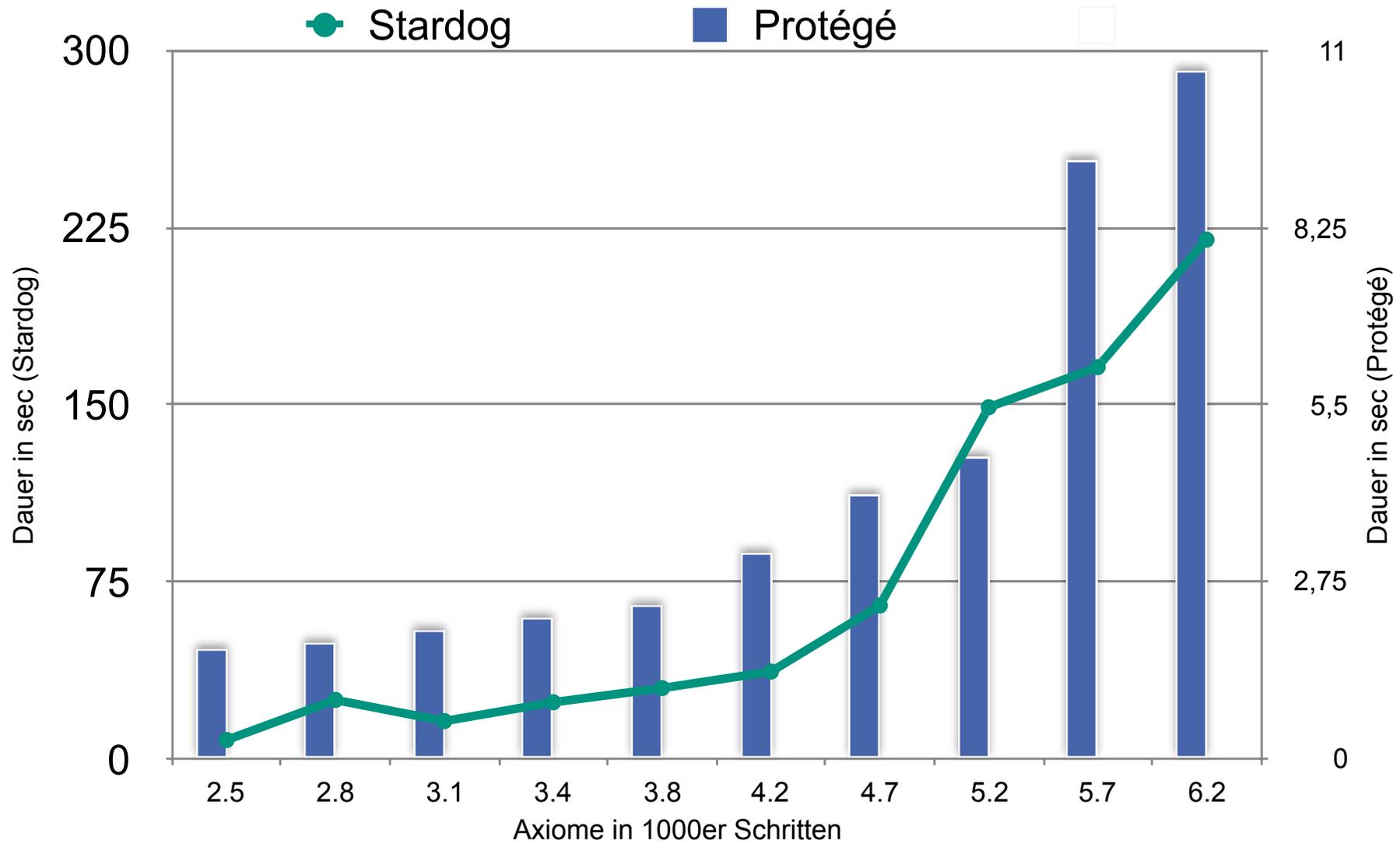
# Ausschnitt der Client-App

<a href="#">:concept/internal/purchasemanager</a>	<b>materialProperty</b> <a href="http://localhost/concept/task/smd_aoinspection_01">http://localhost/concept/task/smd_aoinspection_01</a>	<b>materialProperty</b> <a href="http://localhost/concept/task/smd_componentApplication">http://localhost/concept/task/smd_componentApplication</a>
<a href="#">:concept/material/board#3827581</a>	<b>materialProperty</b> <a href="http://localhost/concept/task/smd_boardSetting">http://localhost/concept/task/smd_boardSetting</a>	<b>hasPart_directly</b> <a href="http://localhost/concept/material/board#3827581">http://localhost/concept/material/board#3827581</a>
<a href="#">:concept/material/component#c1-1</a>	<b>hasPart_directly</b> <a href="http://localhost/concept/material/component#c1-1">http://localhost/concept/material/component#c1-1</a>	<b>hasPart_directly</b> <a href="http://localhost/concept/material/solderpaste#1">http://localhost/concept/material/solderpaste#1</a>
<a href="#">:concept/material/component#c2-1</a>	<b>hasPart_directly</b> <a href="http://localhost/concept/material/component#c2-1">http://localhost/concept/material/component#c2-1</a>	<b>isMaterialOf</b> <a href="http://localhost/concept/task/smd_componentApplication">http://localhost/concept/task/smd_componentApplication</a>
<a href="#">:concept/material/component#c3-1</a>	<b>hasPart_directly</b> <a href="http://localhost/concept/material/component#c3-1">http://localhost/concept/material/component#c3-1</a>	<b>partOf_directly</b> <a href="http://localhost/concept/material/stickedBoard#1">http://localhost/concept/material/stickedBoard#1</a>
<a href="#">:concept/material/component#c4-1</a>	<b>hasPart_directly</b> <a href="http://localhost/concept/material/component#c3-1">http://localhost/concept/material/component#c3-1</a>	<b>hasPart</b> <a href="http://localhost/concept/material/board#3827581">http://localhost/concept/material/board#3827581</a>
<a href="#">:concept/material/preparedBoard#1</a>	<b>hasPart_directly</b> <a href="http://localhost/concept/material/preparedBoard#1">http://localhost/concept/material/preparedBoard#1</a>	<b>hasPart</b> <a href="http://localhost/concept/material/solderpaste#1">http://localhost/concept/material/solderpaste#1</a>
<a href="#">:concept/material/settedBoard#1</a>	<b>isMaterialOf</b> <a href="http://localhost/concept/task/smd_aoinspection_01">http://localhost/concept/task/smd_aoinspection_01</a>	<b>type</b> <a href="http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing">http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing</a>
<a href="#">:concept/material/solderpaste#1</a>	<b>isMaterialOf</b> <a href="http://localhost/concept/task/smd_boardSetting">http://localhost/concept/task/smd_boardSetting</a>	<b>type</b> <a href="http://localhost/concept/oml/gn#Resource">http://localhost/concept/oml/gn#Resource</a>
<a href="#">:concept/material/stickedBoard#1</a>	<b>hasPart</b> <a href="http://localhost/concept/material/component#c1-1">http://localhost/concept/material/component#c1-1</a>	<b>type</b> <a href="http://localhost/concept/oml/gn#Material">http://localhost/concept/oml/gn#Material</a>
<a href="#">:concept/materialdisposition</a>	<b>hasPart</b> <a href="http://localhost/concept/material/component#c2-1">http://localhost/concept/material/component#c2-1</a>	<b>type</b> <a href="http://localhost/concept/oml/gn#RawMaterial">http://localhost/concept/oml/gn#RawMaterial</a>
<a href="#">:concept/materialdisposition/stock</a>	<b>hasPart</b> <a href="http://localhost/concept/material/component#c3-1">http://localhost/concept/material/component#c3-1</a>	<b>type</b> <a href="http://localhost/concept/oml/gn#IntermediateMaterial">http://localhost/concept/oml/gn#IntermediateMaterial</a>
<a href="#">:concept/observations/1</a>	<b>hasPart</b> <a href="http://localhost/concept/material/preparedBoard#1">http://localhost/concept/material/preparedBoard#1</a>	<b>type</b> <a href="http://localhost/concept/oml/sick#Board">http://localhost/concept/oml/sick#Board</a>
<a href="#">:concept/observations/2</a>	<b>hasPart</b> <a href="http://localhost/concept/material/board#3827581">http://localhost/concept/material/board#3827581</a>	<b>type</b> <a href="http://localhost/concept/oml/sick#PreparedBoard">http://localhost/concept/oml/sick#PreparedBoard</a>
<a href="#">:concept/observations/3</a>	<b>hasPart</b> <a href="http://localhost/concept/material/solderpaste#1">http://localhost/concept/material/solderpaste#1</a>	<b>partOf</b> <a href="http://localhost/concept/material/stickedBoard#1">http://localhost/concept/material/stickedBoard#1</a>
<a href="#">:concept/observations/4</a>	<b>type</b> <a href="http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing">http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing</a>	
<a href="#">:concept/observations/5</a>	<b>type</b> <a href="http://localhost/concept/oml/gn#Resource">http://localhost/concept/oml/gn#Resource</a>	
<a href="#">:concept/observations/6</a>	<b>type</b> <a href="http://localhost/concept/oml/gn#Material">http://localhost/concept/oml/gn#Material</a>	
<a href="#">:concept/oml/gn#</a>	<b>type</b> <a href="http://localhost/concept/oml/gn#RawMaterial">http://localhost/concept/oml/gn#RawMaterial</a>	
<a href="#">:concept/oml/gn#ACTIVE</a>	<b>type</b> <a href="http://localhost/concept/oml/gn#IntermediateMaterial">http://localhost/concept/oml/gn#IntermediateMaterial</a>	
<a href="#">:concept/oml/gn#FINISHED</a>	<b>type</b> <a href="http://localhost/concept/oml/sick#Board">http://localhost/concept/oml/sick#Board</a>	
<a href="#">:concept/oml/gn#PENDING</a>	<b>type</b> <a href="http://localhost/concept/oml/sick#StickedBoard">http://localhost/concept/oml/sick#StickedBoard</a>	
<a href="#">:concept/oml/sick#</a>		
<a href="#">:concept/oml/sick#stardog-rule-1</a>		

# Struktur

- Grundlagen
  - Vernetzung der Wertschöpfungskette
  - Begriff der Informationsflusskontrolle
  - Spezifikation des Semantic Webs
  
- Analyse
  - Web Ontology Language und relevante Vokabulare
  - Ontology Design Patterns
  - Informationsflusskontrolle
  
- Entwurf
  - Top-Level-Ontology
  - Base-Ontology
  
- Implementierung
  - Java-Kernkomponente
  - TripleStore
  - Client-App
  
- Evaluation
- Zusammenfassung und Ausblick

# Evaluation 1: Performance



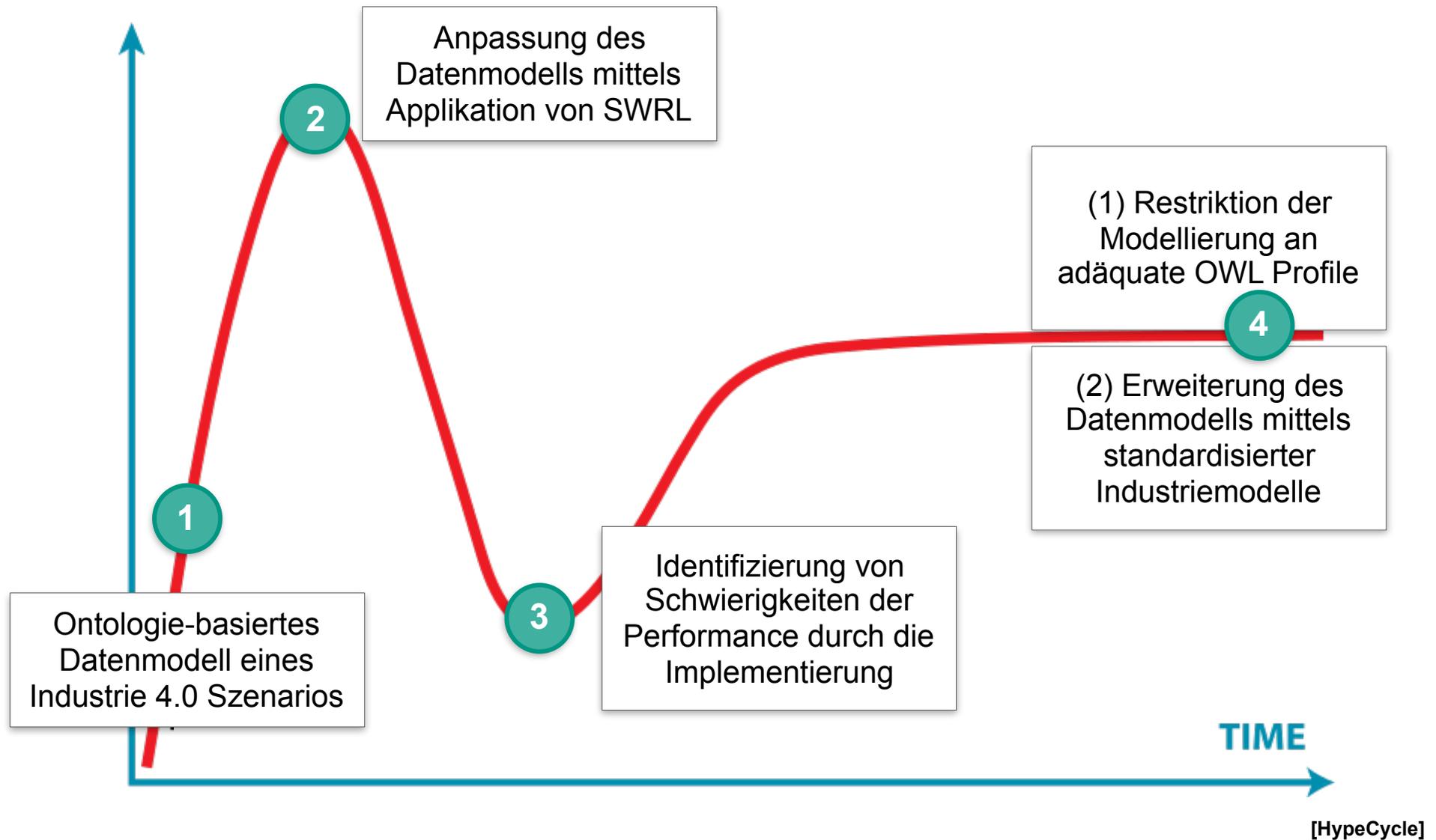
Anzahl Prozesse

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10)

# Evaluation 2: Ontologie-basierte Fehlerauflösung

	Bedingung	Umsetzbar	Beschreibung
<b>(1) Rohmaterialien nicht verfügbar</b>	1. Quantifizierbarkeit der Rohmaterialien  2. Erkennung defekter Materialien	1. Nicht mittels des vorgeschlagenen Entwurfs  2. Ja	1. <i>Unique Name Assumption</i> und <i>Open World Assumption</i> verhindern Aufzählbarkeit einzelner Materialien  2. Mittels <i>Observation</i> und der implementierten SWRL Regel R2
<b>(2) Arbeiter nicht verfügbar</b>	1. Modellierung der Anwesenheitszeiten	1. Ja	1. Mittels einer Klasse <i>Availability</i>
<b>(3) Zeit für Prozessneustart nicht verfügbar</b>	1. Modellierung einzelner Prozessdauern  2. Modellierung der gegebenen Zeit	1. Ja  2. Ja	1. Mittels einer SWRL-basierten Regel  2. Mittels <i>order_delivery_date</i>

# Zusammenfassung & Ausblick



- [Aach17] R. Aachen. Überbetrieblicher Material- und Informationsfluss / Logistikdemonstrator. <http://www.produktionstechnik.rwth-aachen.de/cms/Produktionstechnik/Forschung/Demonstratoren/~hhkc/Logistikdemonstrator/>, 2017. Accessed: 2017-09-17.
- [Lehm07] K. Lehmann. Modelle und Techniken für eine effiziente und lückenlose Zugriffskontrolle in Java-basierten betrieblichen Anwendungen. Dissertation, Technical University Munich, Germany, 2007.
- [KhHC09] N. Khilwani, J. A. Harding und A. K. Choudhary. Semantic web in manufacturing. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture 223(7), 2009, S. 905–924.
- [W3C06] W3C. Defining N-ary Relations on the Semantic Web. <https://www.w3.org/TR/swbp-n-aryRelations/>, 2006. Accessed: 2017-10-29.
- [MaJo10] A. Masoumzadeh und J. Joshi. Osnac: An ontology-based access control model for social networking systems. In Social Computing (Social-Com), 2010 IEEE Second International Conference on. IEEE, 2010, S. 751–759.
- [Fram13] O. S. Framework. Description of W3C Technology Stack II-illustration. <http://wiki.opensemanticframework.org/index.php/File:OWL1vOWL2.png>, 2013. Accessed: 2017-10-29.
- [KDDK<sup>+</sup>15] J. Kletti, R. Deisenroth, M. Diesner, W. Kletti, J.-P. Lübbert, J. Schumacher und T. Strebel. Die Anforderungen an die moderne Produktion. In MES-Manufacturing Execution System, S. 1–18. Springer, 2015.
- [HypeCycle] Wikipedia. Hype cycle. [https://en.wikipedia.org/wiki/Hype\\_cycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Hype_cycle). Accessed: 2017-11-05

# Backup: Analyse

---

- 31 Ergänzung zu *Web Ontology Language*
- 32 Vokabular 1:  
Sensor, Observation, Sample and Actuator Vocabulary (SOSA) &  
Semantic Sensor Network Ontology (SSN)
- 33 Vokabular 2:  
Organizational Vocabulary (ORG)
- 34 Vokabular 3:  
Simple part-whole Relations (part)
- 35 Abgrenzung der OWL Profile

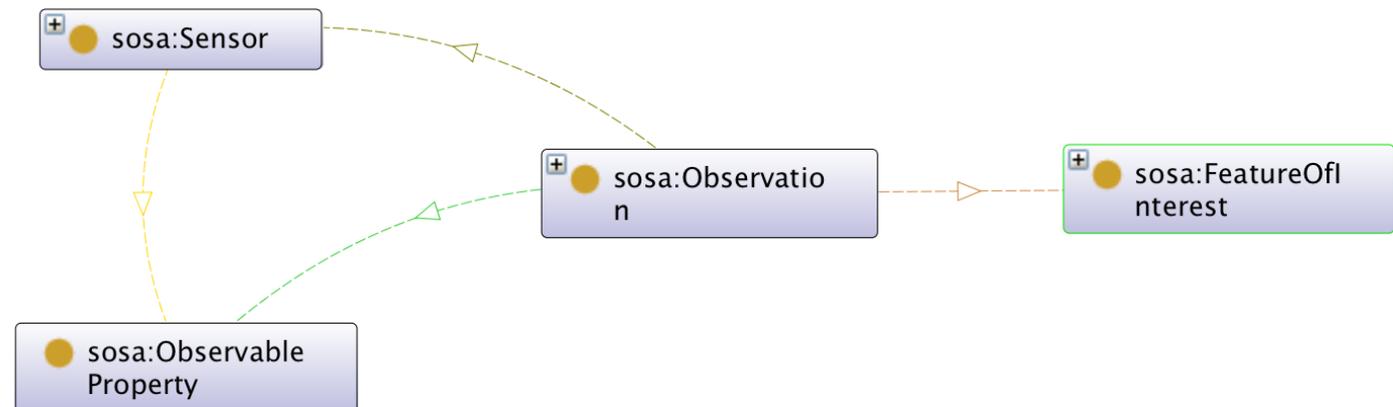
## Ergänzung zu *Web Ontology Language*

- Modellierung von Aussagen mittels Tripels über Ressourcen
- Ressourcen sind mittels URIs *eindeutig definiert*
  
- Eindeutige Identifizierung ermöglicht:
  1. Maschinelle Verarbeitung von autonomen Akteuren
  2. Austausch von definierten Konzepten über gemeinsame *Vokabulare*

## Property

● *sosa:observes*

● *sosa:madeBySensor*  
● *sosa:observedProperty*



● *sosa:hasFeatureOfInterest*

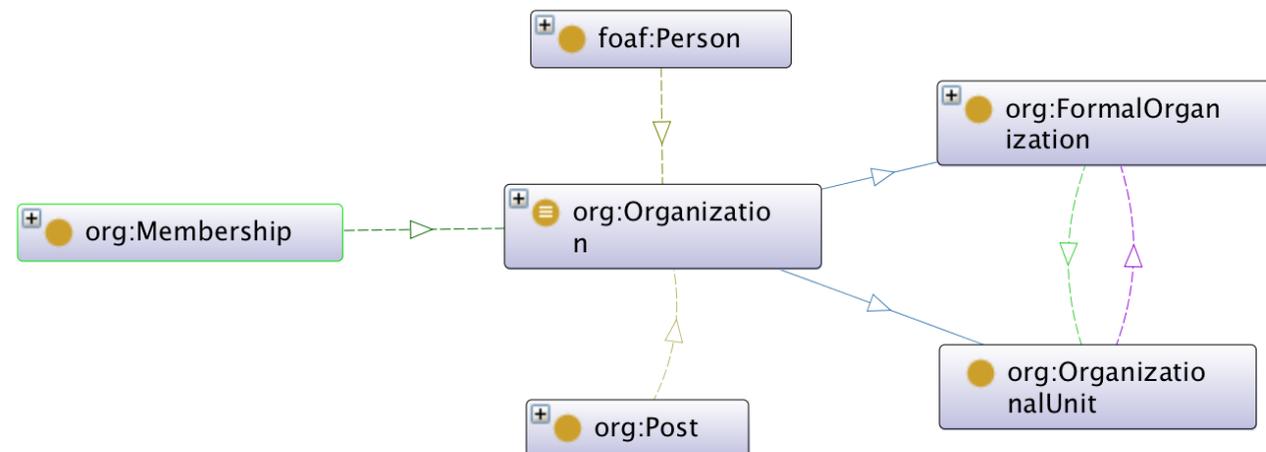
# Vokabular 2: Organizational Vocabulary (ORG)

## Property

● *org:organization*

● *org:headOf*  
● *org:postIn*

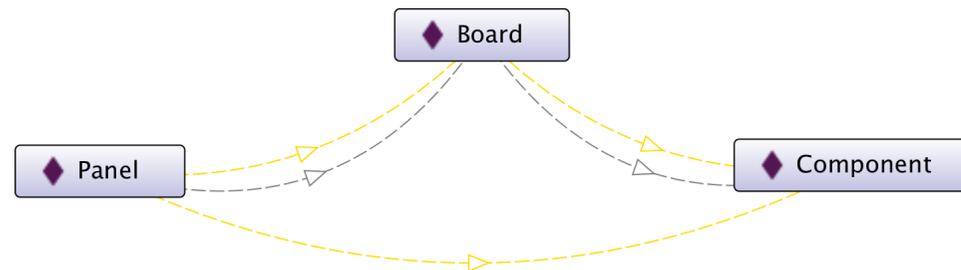
● *hasSubclass*  
● *org:hasUnit*  
● *org:unitOf*



# Vokabular 3: Simple part-whole Relations (part)

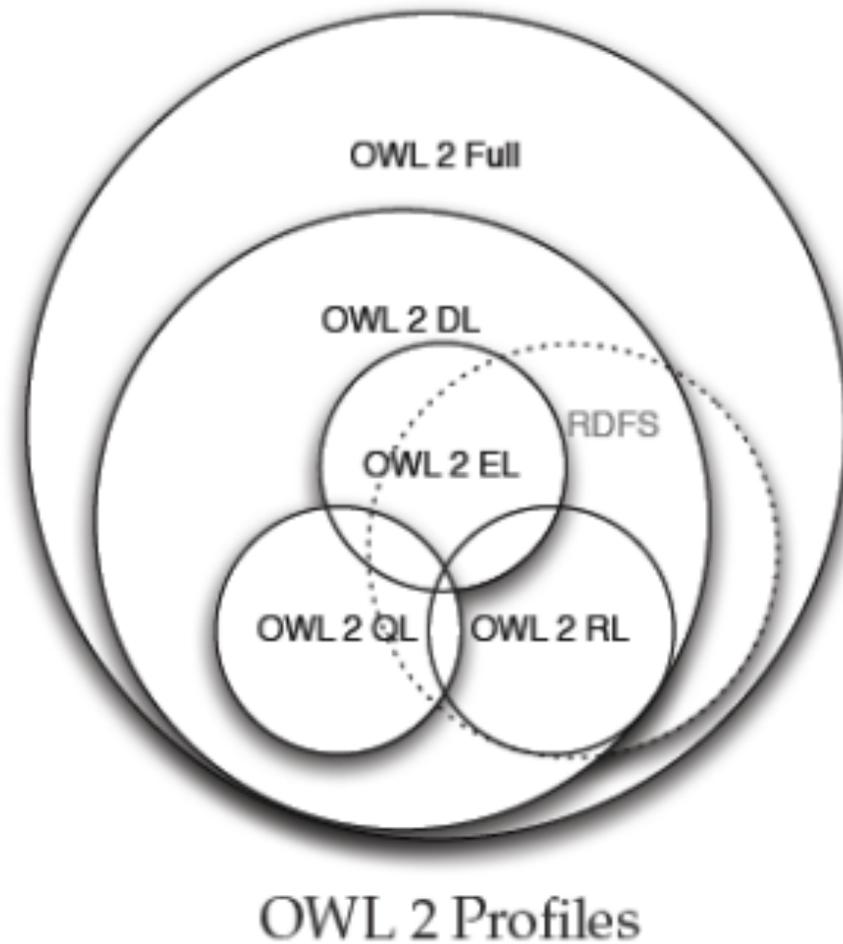
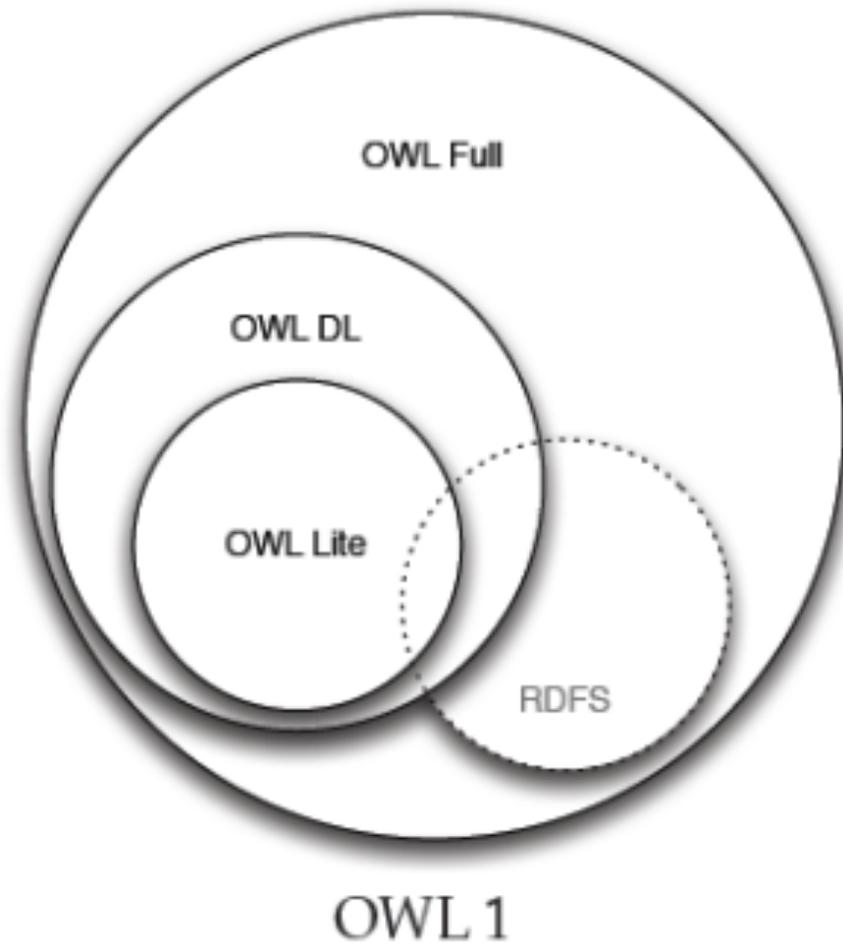
## Property

- *part:hasPart\_directly*



- *part:hasPart (inferiert)*

# Abgrenzung der OWL Profile



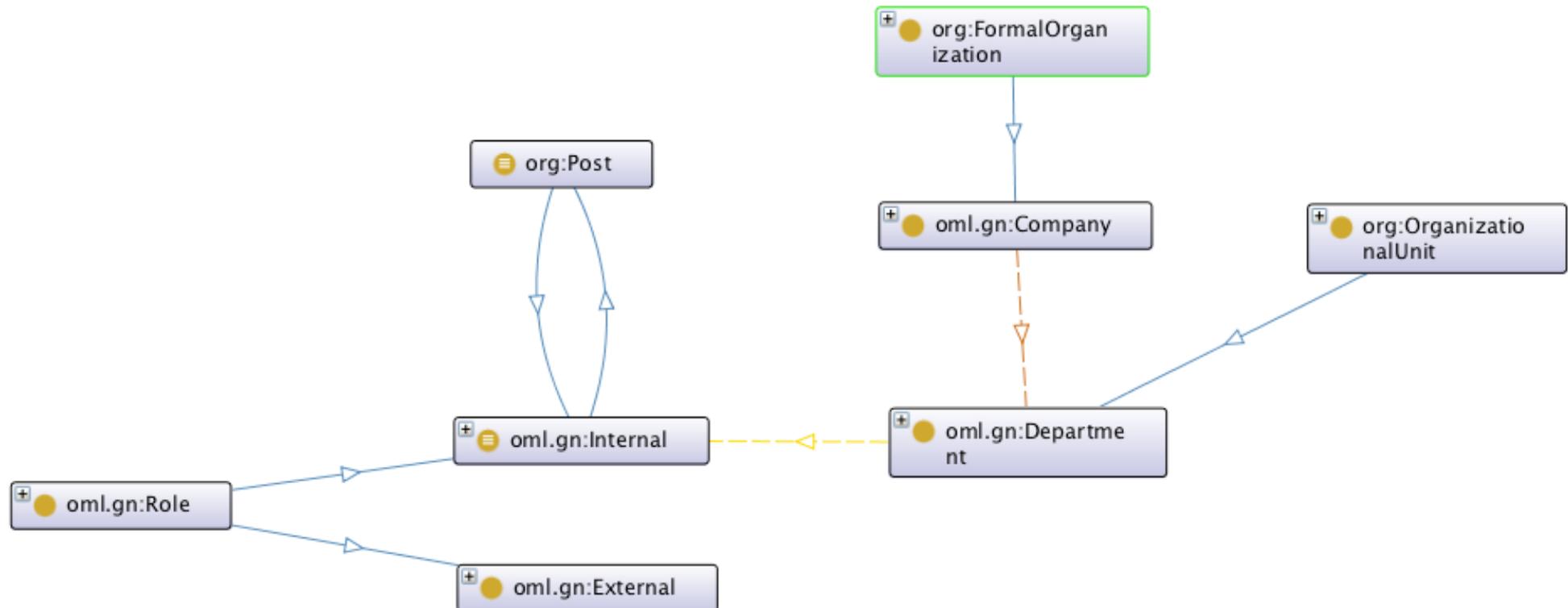
[Fram13]

# Backup: Entwurf

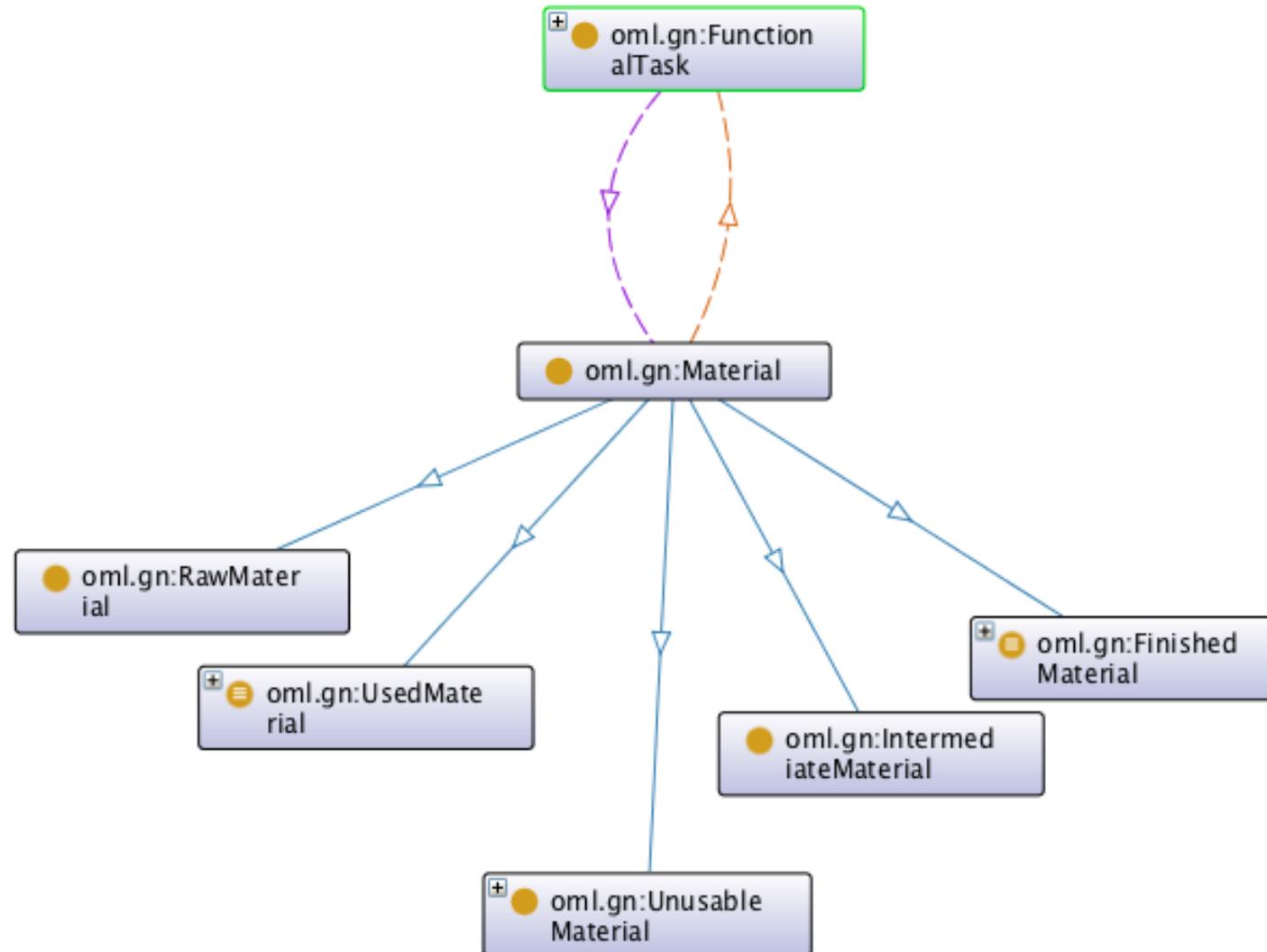
---

- 37 Integration eines Unternehmens in das Organizational Vocabulary
- 38 Integration der materiellen Sicht
- 39 Anwendung von SWRL Regeln zur automatisierten Prozessannotation
- 40 Materialdefinition
- 41 Top-Level-Ontology - Personalstruktur
- 42 Top-Level-Ontology - Prozessstruktur
- 43 Top-Level-Ontology - Informationsflusskontrolle

# Integration eines Unternehmens in das Organizational Vocabulary

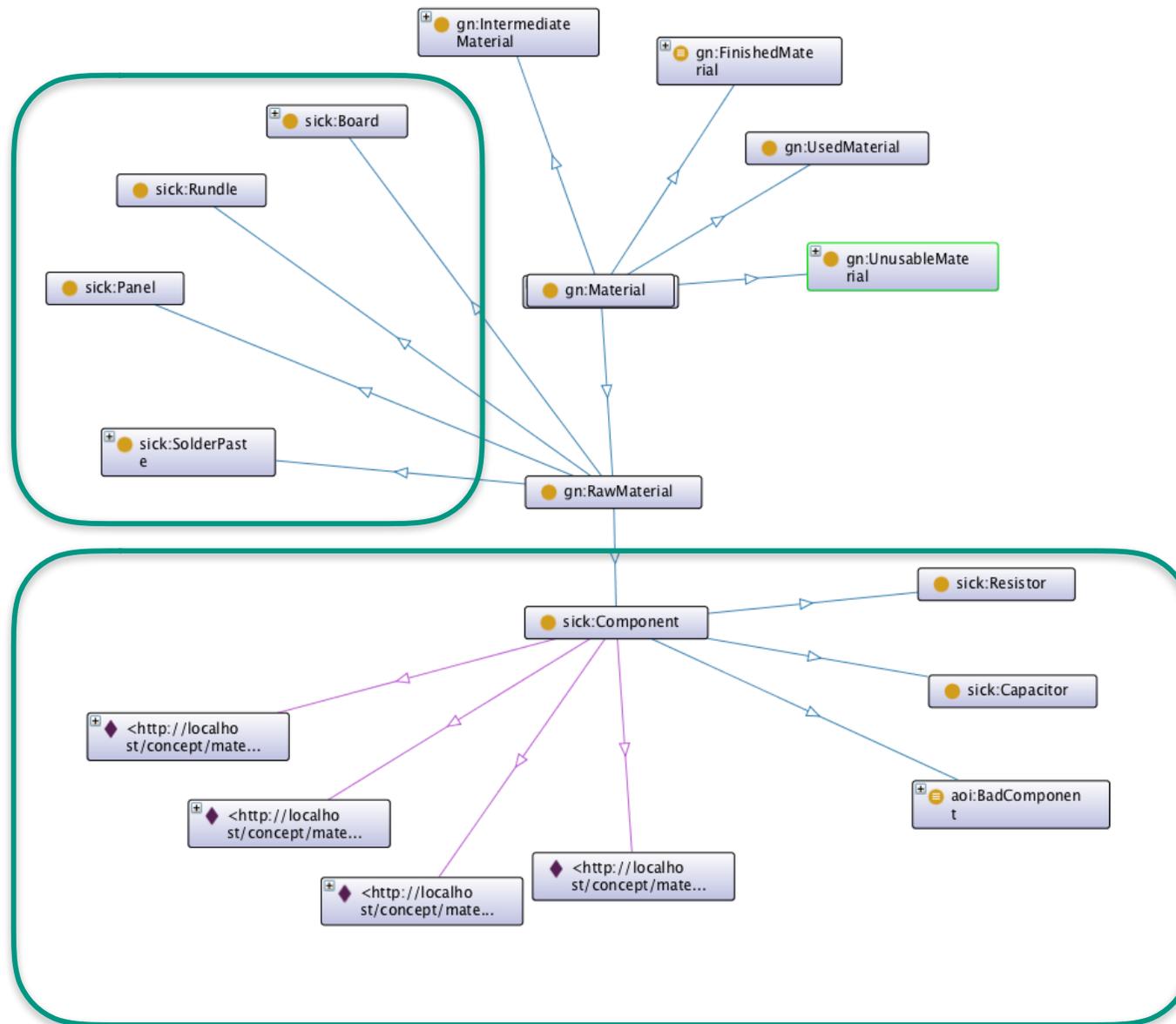


# Integration der materiellen Sicht

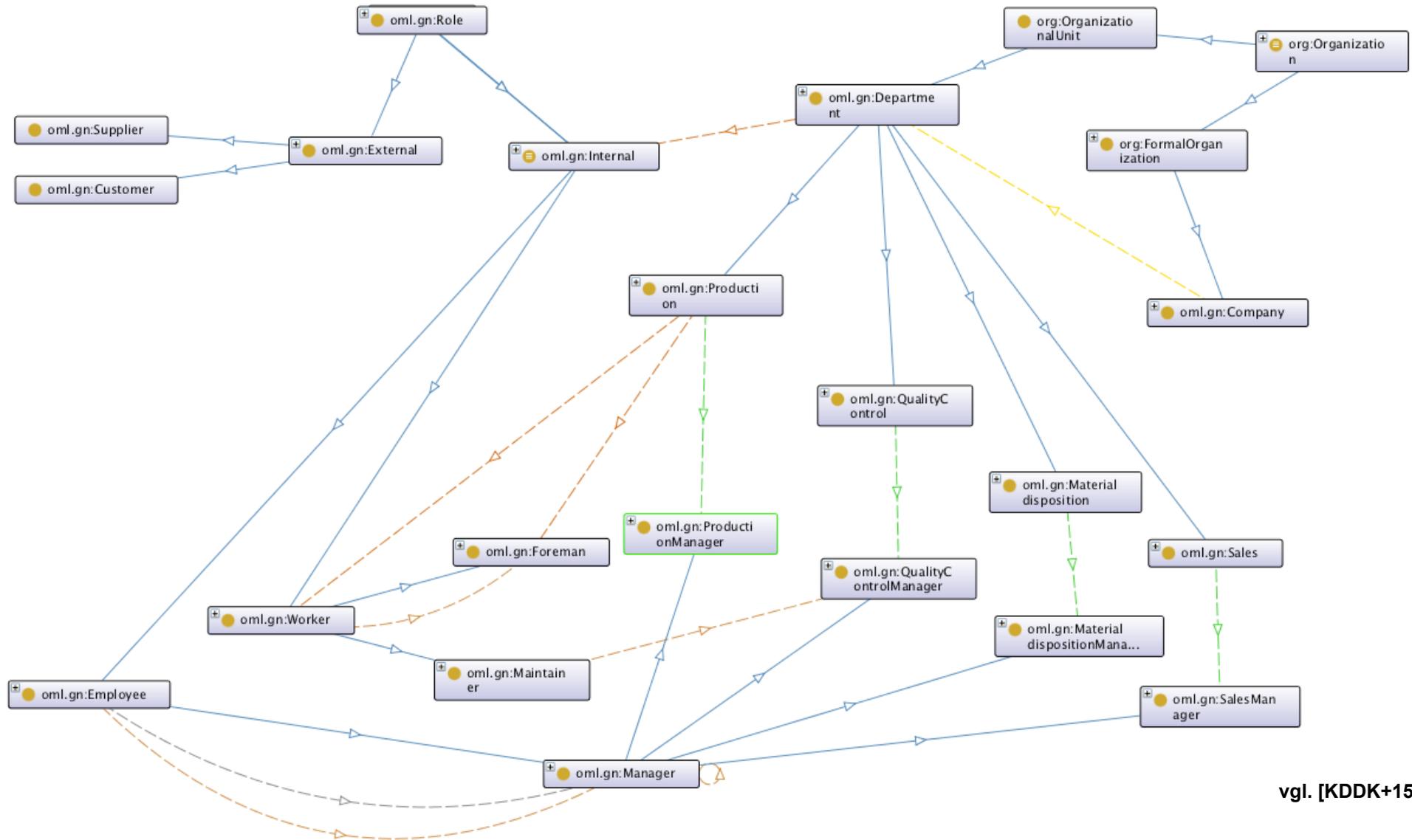


	Ziel
SWRL R1	<p>Annotiere das hergestellte Produkt entlang des Produktionsprozesses, indem die Materialeingaben einer <i>Herstellungsaufgabe</i> mit der Materialausgabe verbunden werden.</p> <p>Dabei soll die <i>part:hasPart</i> Eigenschaft verwendet werden.</p>
SWRL R2	<p>Annotiere die Aufgaben der AOI-Kontrolle, indem die korrespondierenden Beobachtungen, die zu den Bauteilen der Eingabe der Aufgabe der AOI-Kontrolle passen, als <i>Ausgabe</i> der Aufgabe ergänzt werden.</p>

# Materialdefinition

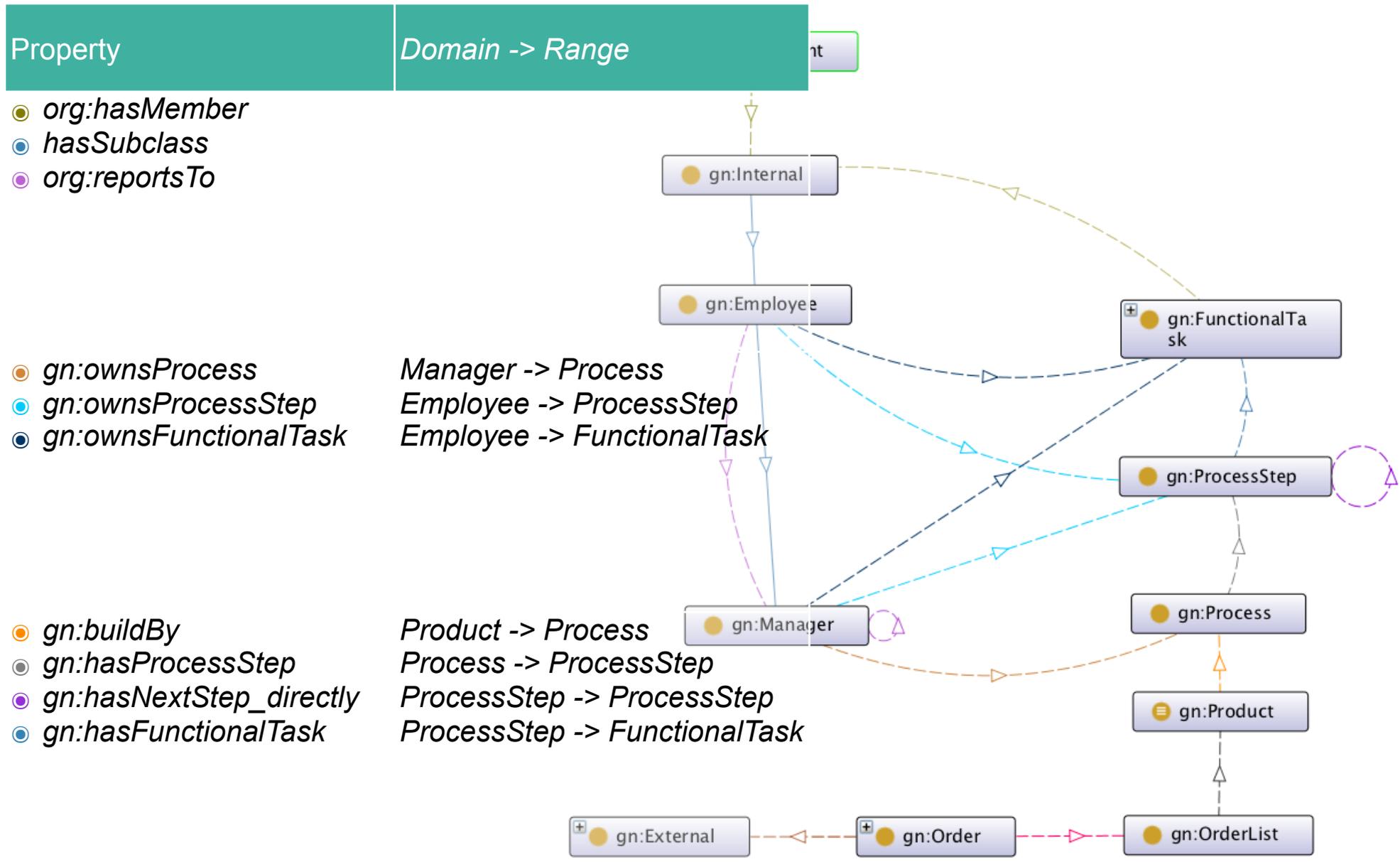


# Top-Level-Ontology - Personalstruktur



vgl. [KDDK+15]

# Top-Level-Ontology - Prozessstruktur





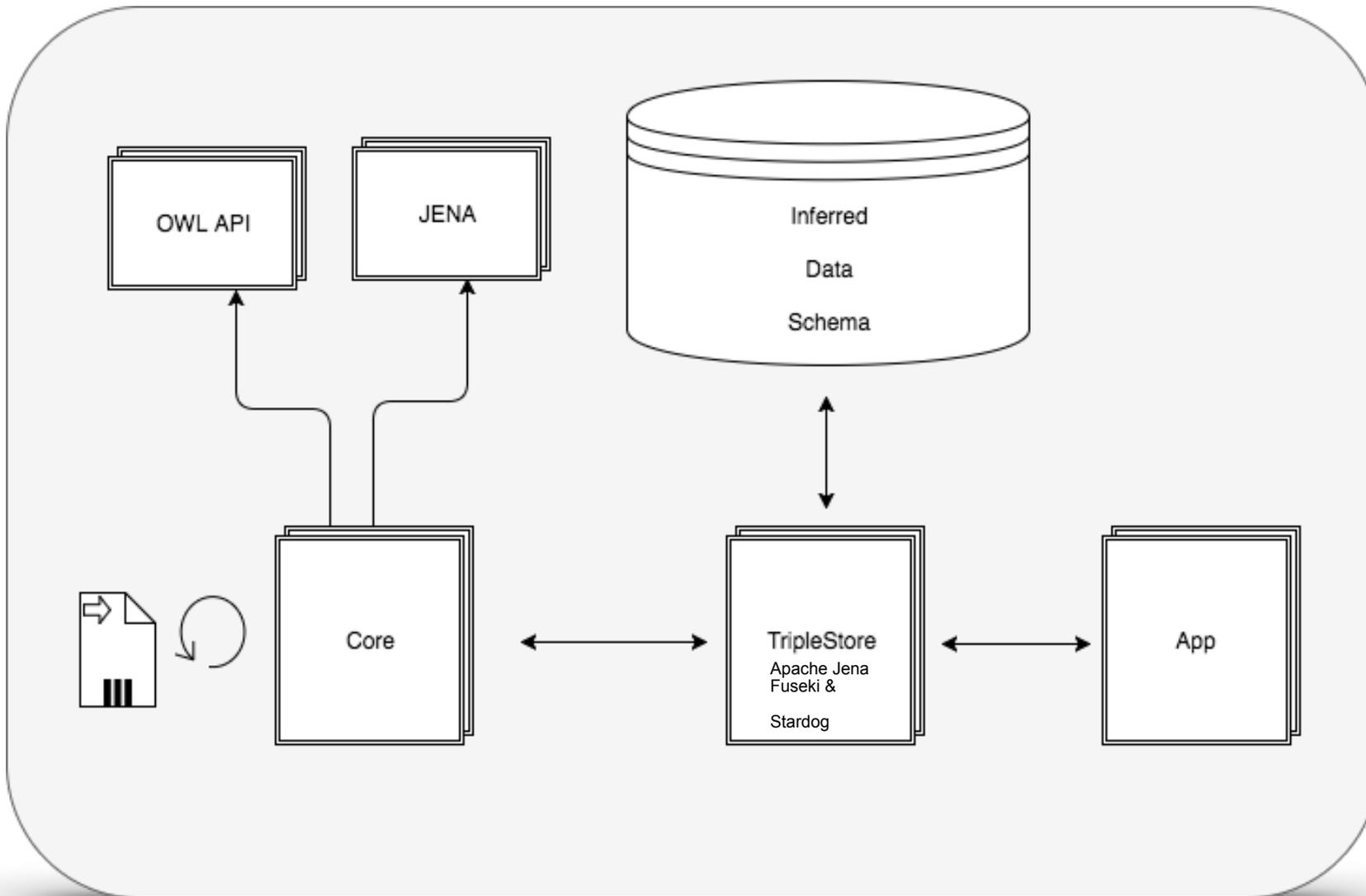
## Property

- *gn:ownsDataCollection*
- *gn:canRead*

# Backup: Implementierung

---

- 45 Übersicht
- 46 Ausführung der Komponenten



# Implementierung

## ■ Java-Kernkomponente

### ■ Funktionalität

- (1) Einlesen von OWL-Dokumenten
- (2) Schnittstelle zu den Datenbanken *Apache Jena Fuseki* und *Stardog*
- (3) Wahlweises Ausführen von Reasoning mittels *Openllet-Reasoner*

### ■ Openllet

- Opensource Weiterführung des OWL 2 DL Reasoner *Pellet*
- Integration mittels Java-Bibliothek *OWL API*
- Unterstützung von SWRL

### ■ Apache Jena Generic Rule Reasoner

- RDF(S)-Reasoner mit OWL 1 Unterstützung
- Integration mittels Java-Bibliothek des *Apache Jena Frameworks*
- Regelbasiertes Reasoning mittels eigenem Syntax

## ■ Datenbank

### ■ Apache Jena Fuseki

### ■ Stardog

- Reasoning über OWL 2 DL Profil *ohne* regelbasiertes Reasoning
- Reasoning über OWL 2 SL Profil *mit* SWRL-basiertem Reasoning

## ■ Client-App

- NodeJs-basierte Webapp
- Visualisierung der Anwendungsdaten

48

Evaluation 1: Implementierung

# Evaluation 1: Implementierung

	OWL Unterstützung	Reasoning über OWL Profil	Regelbasiertes Reasoning
Java-Kernkomponente	OWL 2	OWL DL	SWRL
TripleStore 1: Stardog	OWL 2	OWL SL *	SPARQL-Rules; SWRL
TripleStore 2: Apache Jena Fuseki	Fokus RDF/RDFS; auch OWL 1	-	Generic Rule Reasoner

\* entspricht Funktionalität von OWL RL, EL und QL

# Backup: Ausblick

---

50

ISA 88/95

## Ausblick: ISA 88/95

- Designphilosophie für Software, Ausrüstung und Verfahrensablauf
  
- Modularisierung der Konzepte
  - (1) Modelle und Terminologie
  - (2) Datenstrukturen und Leitfaden für Sprachen
  - (3) Modelle und Darstellungen von Verfahrens- und Werksrezepten
  - (4) Batch Production Records
  
- bietet konsistente Standards und Terminologien für chargenorientierte Fahrweise und definiert das physische Modell, Prozedure und Rezepte