

# SEMAT – Ein Werkzeug zur ontologiebasierten Analyse und zum Vergleich von Prozessmodellen

Martin Kluth<sup>1</sup>, Frederik Ahlemann<sup>2</sup>, Frank Teuteberg<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Informationsmanagement und Unternehmensführung  
Universität Osnabrück  
Katharinenstraße 1  
49069 Osnabrück  
mkluth@uni-osnabrueck.de  
Frank.Teuteberg@uos.de

<sup>2</sup> Institute of Research on Information Systems (IRIS)  
European Business School (EBS)  
Schloss Reichartshausen  
65375 Oestrich-Winkel  
Frederik.Ahlemann@ebs.edu

**Zusammenfassung:** Die automatisierte syntaktische und semantische Analyse von Prozessmodellen ist für viele Anwendungszwecke wie z.B. für das Prozessbenchmarking wünschenswert. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Modellierungssprachen und divergierender Verständnisse des modellierten Realitätsausschnitts jedoch meist nicht direkt zu realisieren. In diesem Beitrag wird eine prototypische Umsetzung eines Verfahrens vorgestellt, welches grundsätzlich eine derartige Analyse erlaubt. Die Durchführung von (halb-)automatisierten Prozess-Benchmarking-Initiativen kann damit unter Kosten- und Zeitaspekten effizienter gestaltet werden. Als weitere Anwendungsbereiche, in denen das vorgestellte Verfahren genutzt werden kann, können neben dem Benchmarking unter anderem eine (halb-)automatische Referenzmodellkonstruktion sowie ein „Information Model Mining“ genannt werden.

## 1 Einleitung

### 1.1 Motivation

Die Dokumentation von Geschäftsprozessen durch Prozessmodelle schafft Wissen über die Struktur und die Abläufe der unternehmerischen Aktivitäten sowie die Möglichkeit zur Analyse und kontinuierlichen Verbesserung [Sc02, S. 3]. Zur Erstellung solcher Prozessmodelle sind eine Vielzahl an Modellierungssprachen entwickelt worden. Beispielhaft seien hier die *Ereignisgesteuerte Prozesskette* (EPK) und die *Unified Modeling Language* (UML) mit dem UML-Aktivitätsdiagramm genannt. Beim Ver-

gleich und der Interpretation dieser Modelle wird ein einheitliches semantisches und syntaktisches Verständnis aller bei der Modellierung und Interpretation beteiligten Personen vorausgesetzt. Semantisch spiegelt sich dies in einem Konsens über den zu betrachtenden Realitätsausschnitt wieder. Syntaktisch in einem einheitlichen Verständnis bezüglich der Konstrukte der gewählten Modellierungssprache. Sollten zur Prozessmodellierung unterschiedliche Modellierungssprachen eingesetzt werden, so ist für den Vergleich somit zunächst ein Konsens bezüglich der Syntax und Semantik der einzelnen Modelle und Modellkonstrukte zu schaffen. Zum Austausch von Prozessmodellen werden daher Transformationen der Modelle in ein von allen Beteiligten akzeptiertes Modell vorgeschlagen (siehe [VZS05] oder [SMW07]).

Die Transformation von Prozessmodellen in eine einheitliche syntaktische Darstellung löst die Anforderungen, die beispielweise durch das *Prozess-Benchmarking* (PBM) auf Basis von Prozessmodellen gestellt werden, nur teilweise, da alle am PBM beteiligten Personen ein einheitliches Verständnis über die Domäne besitzen sollten. Ein zentrales Ziel, welches durch das *Prozess-Benchmarking* verfolgt wird, ist die kontinuierliche Steigerung der Leistungsfähigkeit von Arbeitsabläufen (siehe [LÖ99]). Es wird hierbei durch Analyse und Vergleich von Prozessmodellen innerhalb eines Unternehmens oder über Unternehmensgrenzen hinweg versucht, Verbesserungspotenziale der einzelnen Abläufe aufzudecken und umzusetzen. Neben der syntaktischen Vergleichbarkeit muss hierzu auch eine semantische Vergleichbarkeit geschaffen werden. So kann zum Beispiel in einem Modell von „Kunde“ oder „Prozessaktivität“ gesprochen werden, während in einem anderen von „Customer“ und „Prozessschritt“ gesprochen wird. Sollte der Vergleich von Prozessmodellen zusätzlich automatisiert stattfinden, so ist eine computergestützte semantische Interpretation der Modellkonstrukte anzustreben. Hierdurch könnte erkannt werden, dass die Konzepte „Kunde“ und „Customer“ sowie „Prozessaktivität“ und „Prozessschritt“ die gleiche Bedeutung haben. Häufig werden zur semantischen Beschreibung von Prozessmodellen Ontologien genutzt, die semantisches Wissen über eine Domäne in einer maschinenlesbaren Form enthalten. Ansätze, die Ontologien zur weiteren Beschreibung von Prozessmodellen nutzen, sind unter anderem von [He05] und [TF07] vorgestellt worden.

Ein fast identisches Verfahren zur syntaktischen und semantischen Vereinheitlichung von Informationsmodellen wurde von [ATB06] und [Hö07] unabhängig voneinander entwickelt. Im Mittelpunkt dieser Verfahren stehen die Verwendung von Ontologien zur semantischen Anreicherung von Modellkonstrukten sowie die syntaktische Vereinheitlichung von Informationsmodellen über ein Referenz-Metamodell. Die Grundlagen, die in diesem Beitrag vorgestellten prototypischen Umsetzung, wurden jedoch aufgrund des früheren Erscheinungstermins der Arbeit von [ATB06] entnommen. Weiterhin wird in diesem Beitrag die zusätzliche Erfassung von Leistungsinformationen für einzelne Modellkonstrukte und deren Auswertung beschrieben, die ausschließlich in der Arbeit von [ATB06] betrachtet wurde.

## 1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieses Beitrags ist es, die technische Realisierbarkeit des Verfahrens von [ATB06] anhand einer prototypischen Umsetzung aufzuzeigen. Darüber hinaus sollen Erkenntnisse über vorteilhafte Entwurfsentscheidungen als Grundlage für eine spätere Referenzarchitektur gewonnen werden. Der Prototyp soll weiterhin die weitere Evaluation des Konzeptes in Form von praktischen Anwendungen ermöglichen.

Aus Gründen der Komplexitätsreduktion beschränkt sich die hier präsentierte Umsetzung auf Prozessmodelle, jedoch ist eine Überführung der Ausführungen auf das allgemeinere Konzept der Informationsmodelle leicht möglich. Weiterhin wurde keine Evaluation der Nutzung der prototypischen Umsetzung durch fachliche Anwender untersucht.

## 1.3 Forschungsmethode und Struktur des Beitrags

Die Forschungsmethode, die dem gesamten Forschungsvorhaben zur semantischen und syntaktischen Analyse und des Vergleichs von Informationsmodellen zugrunde liegt, wird als *Design Science* bezeichnet. In dieser Forschungsmethode werden eine zyklische Suche nach einer befriedigenden Lösung eines relevanten Problems und eine rigorose Evaluierung dieser Lösung gefordert ([He04]). Auf die Wirtschaftsinformatik übertragen ist das Ziel dieser Methode somit die Schaffung und Evaluierung von IT-Artefakten, um organisatorische Probleme zu lösen. Die hier vorgestellte prototypische Umsetzung kann somit als Teilergebnis des übergeordneten Forschungsprojektes angesehen werden.

Die Forschungsarbeiten zu diesem Beitrag wurden mit einer eingehenden Literaturanalyse begonnen. Als nächster Schritt folgten die in diesem Beitrag präsentierte prototypische Umsetzung sowie die Ermittlung hieraus resultierender Schlussfolgerungen auf Schwächen des Konzeptes. Die identifizierten Schwachstellen wurden daraufhin behoben, so dass das Konzept weiter verbessert und verfeinert wurde. In den nächsten Schritten soll das Konzept mit Hilfe des hier beschriebenen Prototypen praktisch erprobt werden. Darüber hinaus soll durch eine Kosten-/Nutzenbetrachtung die Wirtschaftlichkeit des Konzeptes untersucht und belegt werden. Im Rahmen dieser Analyse soll auch ermittelt werden, welche organisatorischen Rahmenbedingungen getroffen werden müssen, damit dieses Konzept in einem realen Umfeld effizient eingesetzt werden kann. Diese weitergehenden Evaluationsschritte sind jedoch nicht Teil dieses Beitrags und werden am Ende dieser Arbeit nur kurz skizziert.

Der Beitrag gliedert sich wie folgt: Abschnitt 2 hat die (begrifflichen) Grundlagen zu diesem Artikel zum Gegenstand. Hierzu zählen Prozessmodelle, Ontologien sowie die Beschreibung der bisherigen Forschung im Bereich der semantischen und syntaktischen Analyse von Prozessmodellen. Abschnitt 3 beschreibt das Verfahren von [ATB06] sowie die vorgenommenen Erweiterungen. Die prototypische Umsetzung dieses Verfahrens wird in Abschnitt 4 beschrieben. Nutzeneffekte des Konzeptes im Bereich des Prozess-Benchmarking werden in Abschnitt 5 diskutiert. Der Beitrag schließt in Abschnitt 6 mit einem Fazit sowie einem Ausblick auf weitere Forschung in diesem Bereich.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Prozessmodelle

Der Anwendungsbereich von Prozessmodellen bzw. von Prozessmodellierungssprachen ist die Abbildung von Prozessen und somit von ablauforganisatorischen Sachverhalten. [BKR05, S. 6] definieren einen Prozess als „... *die inhaltlich abgeschlossene, zeitliche und sachlogische Folge von Aktivitäten, die zur Bearbeitung eines prozessprägenden betriebswirtschaftlichen Objektes notwendig sind.*“ Die mit diesem Prozessverständnis verbundenen dynamischen Aspekte stehen im Zentrum der Modellierung und werden mittels Knoten und Kanten graphisch dargestellt. Die Knoten, welche die eigentlichen Modellelemente, wie zum Beispiel Prozessschritte oder Ereignisse repräsentieren, werden durch gerichtete Kanten in den geforderten zeitlichen und sachlogischen Ablauf eingeordnet. Zur Darstellung dieser Abläufe sind unter anderem die Modellierungssprachen *Ereignisgesteuerte Prozesskette* (EPK) und *Unified Modeling Language* (UML) mit dem UML-Aktivitätsdiagramm entwickelt worden, welche beispielhaft in diesem Beitrag betrachtet werden.

### 2.2 Ontologien sowie die Ontologiesprache OWL

Die wohl am häufigsten zitierte Definition des Begriffs Ontologie stammt von [Gr93], der eine Ontologie als „*an explicit specification of a conceptualization*“ beschreibt. Er nennt weiterhin drei konstituierende Merkmale von Ontologien:

- **formal:** Ontologien sind maschinenlesbare Modelle, die durch eine Menge von Konzepten (Klassen, Begriffen), Relationen, Instanzen und logischen Aussagen (Axiome) beschrieben werden.
- **explizit:** Die verwendeten Konzepte, deren Randbedingungen sowie Datentypen werden explizit spezifiziert.
- **allgemein:** Der Geltungsbereich einer Ontologie wird von einer Gruppe von menschlichen und maschinellen Akteuren als Kommunikationsgrundlage akzeptiert.

Grundlage vieler Ontologiesprachen, wie der Web Ontology Language (OWL) [OWL], ist die Beschreibungslogik (engl. *Description Logics*), unter der man eine Familie von Sprachen zur Wissensrepräsentation versteht. Merkmal dieser Sprachen ist, dass sie zur Repräsentation von Wissen über eine Anwendungsdomäne in einer strukturierten und formal verständlichen Form genutzt werden können. Hierbei wird das Ergebnis, die Wissensbasis (engl. *knowledge base*), in eine sogenannte T- und A-Box unterteilt. Die T-Box enthält hierbei das Wissen über sämtliche Konzepte einer Domäne, das sogenannte terminologische Wissen, wohingegen die A-Box das Wissen über Instanzen dieser Konzepte, sowie deren Beziehungen untereinander, enthält (siehe [Ba03, S. 50 ff.]). Die Beschreibungslogik ist eine Untermenge der Prädikatenlogik erster Stufe (engl. *first order logic*), ist aber im Gegensatz dazu entscheidbar [Ho05]. Durch die

Entscheidbarkeit sind logische Schlussfolgerungen möglich und es kann so aus vorhandenem Wissen neues Wissen generiert bzw. abgeleitet werden. Als Schlussfolgerung oder Inferenz bezeichnet man hierbei den Vorgang, wenn aus einer Anzahl von Fakten, den Prämissen, ein neues Faktum abgeleitet wird (die Konklusion) ([Ba03]).

Als Ontologiesprache wurde im Rahmen dieses Beitrags OWL gewählt, da sie sich als Standardsprache im Semantic Web etabliert hat, gut dokumentiert ist und eine Reihe von Frameworks zur Bearbeitung und Schlussfolgerung existieren. OWL basiert auf dem *Resource Description Framework* (RDF) und RDF-Schema und nutzt die *Extensible Markup Language* (XML) Syntax von RDF. Sie ist vom *World Wide Web Consortium* (W3C) definiert worden. Der Kompromiss, den diese Sprache eingehen muss, wird von [AV03, S. 69] als Kompromiss zwischen Ausdrucksmächtigkeit und Entscheidbarkeit bzw. leistungsfähiger Schlussfolgerung beschrieben. Da beide Ziele nicht vollständig zu erfüllen erschien, hat sich das W3C dazu entschlossen, die Ontologiesprache OWL in drei Varianten anzubieten, die sich an bestimmte Gruppen von Anbietern und Anwendern richten [AV03, S. 70 ff.]. Diese drei Varianten sind OWL Full, OWL Description Logic (DL) und OWL Lite. Wichtig für das weitere Verfahren ist die Beschränkung auf die Ausdrucksstärken OWL Lite und OWL DL, da die genutzten Ontologien entscheidbar sein sollten.

### **2.3 Bisherige Forschung im Bereich der semantischen und syntaktischen Analyse von Prozessmodellen**

Die Verwendung von Ontologien in Bezug auf Informationsmodelle, insbesondere jedoch Prozessmodelle, wurde in den letzten Jahren in vielen Beiträgen mit unterschiedlichen Zielsetzungen beschrieben und motiviert. So nutzt etwa [Hö07] Ontologien mit dem Ziel der Verbesserung der semantischen Interoperabilität von Prozessmodellen. [He05], [TF07] und [Ce07] verwenden sie zur semantischen Beschreibung der Prozessmodelle und deren automatischer Auswertung. [FL07] nutzen zur ontologischen Evaluierung von Scheers Referenzmodell die Bunge-Wand-Weber (BWW-)Ontologie mit dem Ziel, ontologische Anomalien in diesem Referenzmodell aufzuzeigen. Hingegen nutzen [EKO07] Ontologien im Zusammenhang mit Petri-Netzen zur Messung von Ähnlichkeiten in Prozessmodellen.

In der Literatur lassen sich weiterhin zahlreiche Beiträge zur Verwendung von Metamodellen mit dem Ziel der Vereinheitlichung bzw. Transformation von Prozessmodellen finden. So nutzen [VZS05] Metamodelle mit dem Ziel des interorganisationalen Geschäftsprozessmanagements und [Ka06a] zur transparenten Transformation von Modellen zwischen verschiedenen Modellierungswerkzeugen. [MK07] nutzen ein integriertes Metamodell, das alle Konzepte einer Sprache einer Domäne beinhaltet, um Szenarien wie die Transformation, Integration und Synchronisation in der Geschäftsprozessmodellierung zu verwirklichen.

Weitere Beiträge nutzen Ontologien sowie Metamodelle mit unterschiedlicher Zielsetzung. In ihrem Beitrag beschreiben [RG02] zum Beispiel die Entwicklung eines Metamodells von Konstrukten der BWW-Ontologie mit dem Ziel, den Nutzen dieser

Ontologie Praktikern der Prozessmodellierung näher zu bringen und verständlicher zu machen. [RG02] gehen davon aus, dass Praktikern Metamodelle näher sind als Ontologien. [Ka06b] gehen in ihrem Beitrag den umgekehrten Weg, indem sie Metamodelle in Ontologien überführen und so eine bessere Transformation von Modellen verfolgen. [KH06] nutzen Metamodelle und Ontologien im Zusammenhang mit dem Bereich der semantischen Integration.

### 3 Ontologiebasierte Analyse und Vergleich von Prozessmodellen

#### 3.1 Syntaktische und semantische Vereinheitlichung von Prozessmodellen

Die Grundlage der syntaktischen Vereinheitlichung von Prozessmodellen, die in unterschiedlichen Modellierungssprachen erstellt worden sind, bildet eine einheitliche Ontologie, die so genannte Basisontologie. Sie ist durch das von [ATB06, S. 9 ff.] beschriebene Referenz-Metamodell motiviert und beinhaltet hier nur einige wenige Konstrukte, die zur Veranschaulichung der Vereinheitlichung von Prozessmodellen benötigt werden (siehe Abbildung 1). So wird beispielsweise in der Basisontologie ein Ereignis (engl. *Event*) eines modellierten Prozesses ganz allgemein als Unterkonzept des Konzepts Prozesselement (engl. *Process Element*) aufgefasst. Ist in einem Prozessmodell ein Ereignis „Projektidee liegt vor“ modelliert, so wird dies als Instanz des Konzeptes Ereignis aus der Basisontologie aufgefasst.

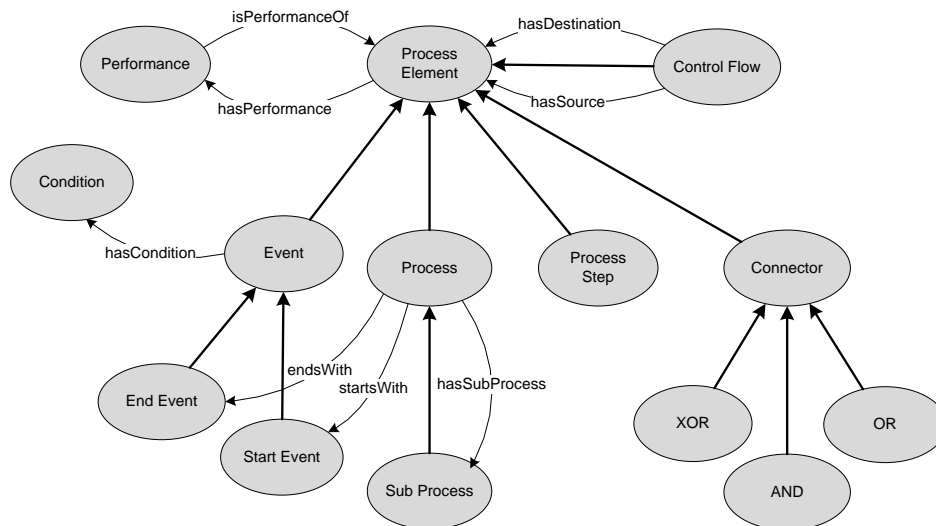


Abbildung 1: Basisontologie in Anlehnung an das Referenz-Metamodell von [ATB06, S. 9 ff.]

Die semantische Vereinheitlichung erfolgt über eine weitere Zuordnung der Instanzen der Basisontologie zu den Instanzen einer Domänenontologie. Diese Domänenontologie ist entweder vorab zu entwickeln oder es kann eine schon entwickelte Ontologie genutzt

werden, wobei in beiden Fällen die Problemangemessenheit beachtet werden sollte. Problemangemessenheit ist in dem hier vorgestellten Verfahren gegeben, wenn alle fachlichen Aspekte der potenziell zu attributierenden Prozessmodelle von der Domänenontologie abgedeckt werden.

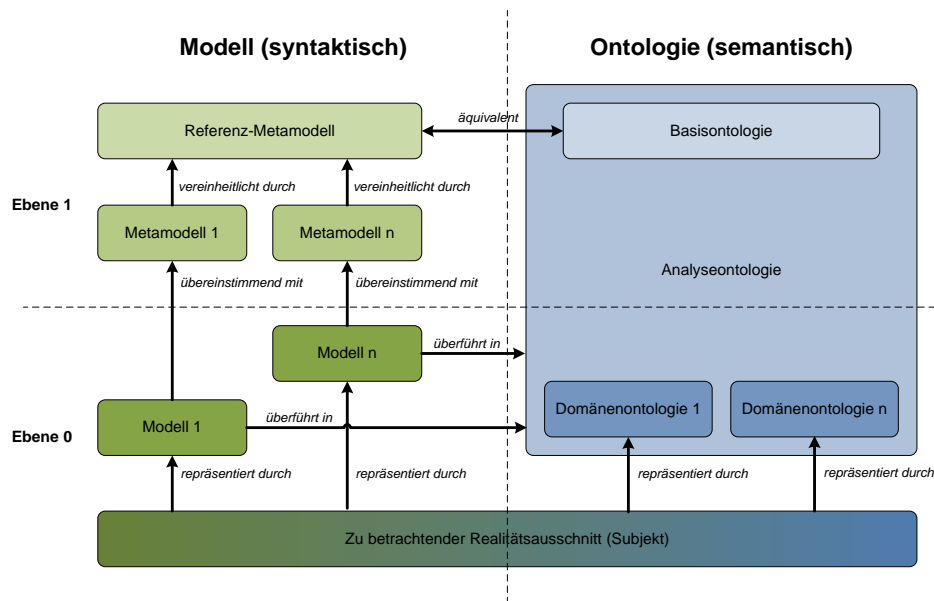


Abbildung 2: Syntaktische und semantische Vereinheitlichung

In Abbildung 2 ist der Zusammenhang zwischen den einzelnen Modellen, Metamodellen und Ontologien dargestellt. Ausgangspunkt ist der zu betrachtende Realitätsausschnitt, der syntaktisch durch 1...n Modelle in unterschiedlichen Modellierungssprachen repräsentiert werden kann. Semantisch kann dieser Realitätsausschnitt durch 1...n Domänenontologien beschrieben werden. Die Modelle, die eine Repräsentation des Realitätsausschnittes in einer Objekt- bzw. Modellierungssprache darstellen, befinden sich nach [St98] auf der untersten Beschreibungsebene. Analog können auch die Domänenontologien zugehörig zu dieser untersten Beschreibungsebene aufgefasst werden, da sie den Realitätsausschnitt durch eine Ontologiesprache semantisch beschreiben. Auf der nächsthöheren Ebene erfolgt eine Beschreibung der einzelnen Objektsprachen durch Metamodelle. Gegenstand der Metamodelle sind somit die Sprachkonstrukte bzw. Modellelementtypen der einzelnen Modelle. Dieses vereinheitlichte Referenz-Metamodell wird in eine äquivalente Basisontologie überführt, so dass in dieser Ontologie Konzepte existieren, welche die vereinheitlichte und für relevant erachteten syntaktischen Modellelementtypen der Metamodelle repräsentieren. Durch Nutzung der Basisontologie kann eine syntaktische Auswertung, wenn auch auf einer höheren Abstraktionsebene, von überführten Modellkonstrukten realisiert werden. Diese Überführung findet durch Erzeugung von Instanzen dieser Basisontologie für jedes Modellkonstrukt statt. [Hö07] spricht in diesem Zusammenhang von „*lifting*“.

Zusammengefasst bildet die Basisontologie, die zur semantischen Beschreibung genutzten Domänenontologie sowie die Instanzen der überführten Modellkonstrukte die sogenannte Analyseontologie. Jegliche Analysen und Vergleiche der Modelle werden ausschließlich auf dieser Ontologie vollzogen.

Die Modelle sowie Domänenontologien der Ebene 0 in Abbildung 2 werden in klassischen Prozessmodellierungs- sowie Ontologiebearbeitungswerkzeugen erstellt. Die Konstrukte dieser Modelle können in den Modellierungswerkzeugen – dem Ansatz des hier vorgestellten Prototypen folgend – auch direkt mit Konzepten einer Domänenontologie verbunden werden. Eine Überführung der verbundenen Konstrukte in die Analyseontologie erfolgt automatisiert durch den Prototypen. Die in der Ebene 1 dargestellten Aspekte liegen dem vorgestellten Prototypen zu Grunde und entziehen sich dem Einfluss des Anwenders.

### **3.2 Syntaktische und semantische Vereinheitlichung von Prozessmodellen an einem Beispiel**

In Abbildung 3 sind das Verfahren sowie die Verwendung der einzelnen Ontologien am Beispiel eines Projektportfolioplanungsprozesses illustriert. Es sind auszugsweise zwei divergierende Prozessmodelle sowie eine Domänenontologie dargestellt. Das erste Modell zeigt eine EPK, welche nur drei Modellelementtypen verwendet: Funktion, Ereignis und Kontrollfluss. Dem gegenüber ist der gleiche Prozessausschnitt nochmals als UML-Aktivitätsdiagramm modelliert. Die genutzten Modellelementtypen sind Aktion, Kontrollfluss und Objektknoten. Durch eine Instanzierung der Modellkonstrukte als Instanzen von Konzepten der Basisontologie wird eine Überführung des Prozessmodells in die so genannte Analyseontologie vollzogen. Im Beispiel kann dies an der Instanzierung bzw. Überführung der Funktion „Prozessantrag schreiben“ der EPK nachvollzogen werden (Pfeil von „Projektantrag schreiben“ der EPK zu „Projektantrag schreiben (EPK)“ in der Analyseontologie in Abbildung 3).

Grundlage der Analyseontologie ist die in Abbildung 1 vorgestellte Basisontologie. Im Beispiel wird deutlich, dass die Modellelementtypen Funktion (EPK) und Aktion (UML) syntaktisch äquivalent sind, da die Ausprägungen dieser Typen in Instanzen des Konzepts *Process Step* überführt werden. Erfolgt nun eine Zuordnung der erzeugten Instanzen der Analyseontologie zu Instanzen der Domänenontologie, dargestellt durch Pfeile mit der Beschriftung „sameAs“ in Abbildung 3, sind weitere Aussagen mittels Inferenz möglich. Es kann zum Beispiel darauf geschlossen werden, dass der Prozessschritt „Projektantrag schreiben“ der EPK identisch mit drei unterschiedlichen Prozessschritten im UML-Aktivitätsdiagramm ist. Diese Information ist über die Eigenschaft „hatTeilaufgabe“ in der Domänenontologie ermittelbar. Sind zusätzlich noch Leistungsinformationen (wie z.B. Durchlaufzeiten oder Ressourcenbedarfe) zu den einzelnen Prozessschritten erfasst worden, so lassen sich weitere Aussagen schlussfolgern. Es lässt sich beispielsweise ableiten, dass die Informationen zu Kosten und Durchlaufzeiten der Konstrukte „Aufwand schätzen“, „Wirtschaftlichkeit analysieren“ und „Projektantrag schreiben“ des UML-Aktivitätsdiagramms entsprechend



zu aggregieren sind, um sie mit dem Konstrukt „Projektantrag schreiben“ der EPK vergleichen zu können.

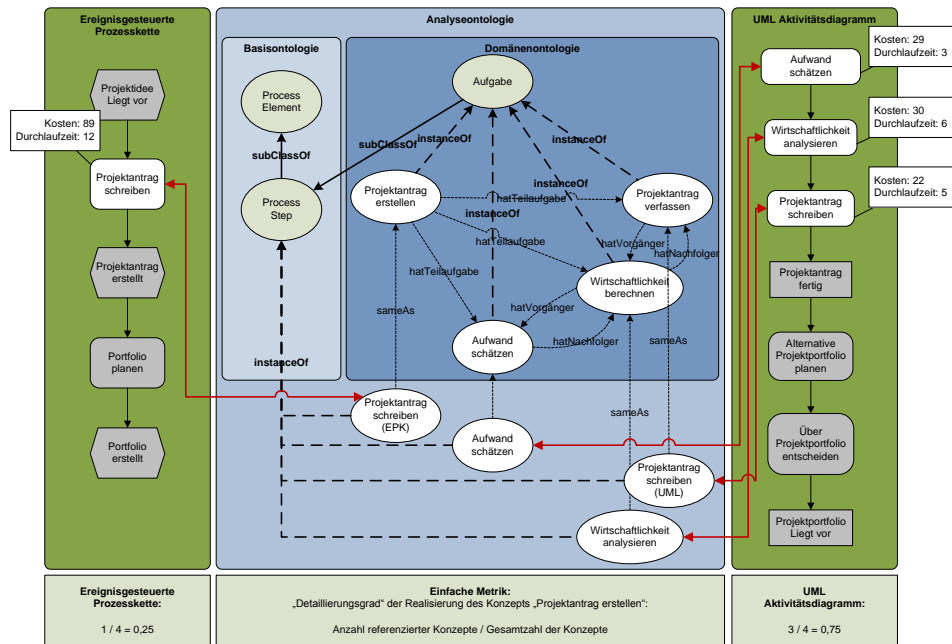


Abbildung 3: Beispiel

#### 4 Software-Komponenten des SEMAT-Werkzeugs

Die prototypische Umsetzung des Verfahrens erfolgt durch mehrere Software-Komponenten, welche für die erforderlichen Teilaufgaben des Verfahrens genutzt werden. Zur Erstellung von Domänenontologien dient der *SEMAT Ontologie-Editor*, zur Modellierung und Attributierung der Informationsmodelle das *SEMAT Modellierungswerkzeug* und zur Analyse der Modelle das *SEMAT Analysewerkzeug*. Das Kürzel SEMAT (SEMantische ATtributierung) wurde vor die Namen der Komponenten gesetzt um die Erweiterung bestehender Software-Komponenten bzw. die Eigenentwicklung dieser zu verdeutlichen.

Für die zentrale Speicherung aller Ergebnisse sowie der Wiederherstellung dieser zur weiteren Bearbeitung wird als vierte Komponente ein Repository in Form eines Datenbanksystems benötigt. Da eine detaillierte Beschreibung aller Komponenten dem Rahmen dieses Beitrags nicht gerecht werden würde, erfolgt eine detaillierte Betrachtung nur für das *SEMAT Analysewerkzeug* und etwas eingeschränkt für das *SEMAT Modellierungswerkzeug*.

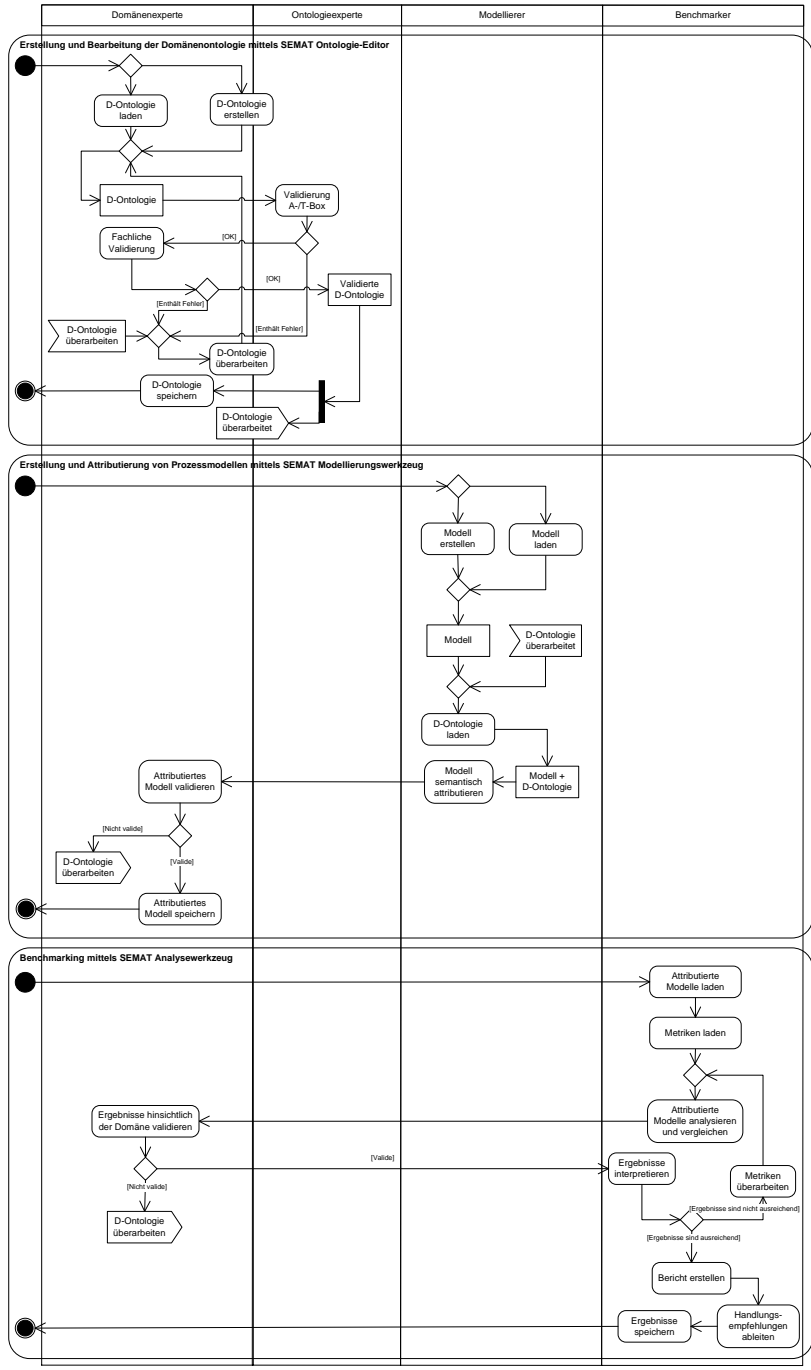


Abbildung 5: Ablauf des Benchmarkings mit dem SEMAT-Werkzeug

In Abbildung 5 ist der Ablauf des Prozessbenchmarking mittels der Software-Komponenten des SEMAT-Werkzeugs anhand von 3 Prozessschritten sowie ihrer möglichen Akteure skizziert:

Im ersten Schritt erfolgt die *Erstellung und Bearbeitung der Domänenontologie mittels des SEMAT Ontologie-Editors* durch die Akteure Domänen- und Ontologieexperte. Sollte bereits eine Domänenontologie existieren, so kann diese aus dem *Datenbanksystem* geladen werden. Sollte noch keine Domänenontologie existieren, so kann diese in Zusammenarbeit der Domänen- und Ontologieexperten mittels des *SEMAT Ontologie-Editors* erstellt und validiert werden. Die Validierung der Ontologie in Bezug auf die A- und T-Box erfolgt durch den Ontologieexperten, während die fachliche Validierung durch den Domänenexperten erfolgt. Sollten durch die Validierungen technische oder fachliche Fehler in der Ontologie ermittelt worden sein oder ein Signal zur Überarbeitung der Domänenontologie empfangen werden, so erfolgt eine Überarbeitung. Bei erfolgreicher fachlicher und technischer Validierung wird die Domänenontologie in dem *Datenbanksystem* gespeichert und ggf. ein Signal gesendet, dass die Ontologie überarbeitet wurde.

Die *Erstellung und Attributierung von Prozessmodellen mittels des SEMAT Modellierungswerkzeugs* erfolgt durch die Akteure Modellierer und Domänenexperte. Der Modellierer erstellt das zu attributierende Prozessmodell oder lädt es aus dem *Datenbanksystem* in das *SEMAT Modellierungswerkzeug*. In einem nächsten Schritt lädt er die den modellierten Realitätsausschnitt repräsentierende Domänenontologie aus dem *Datenbanksystem* und attributiert das Prozessmodell mit den semantischen Informationen aus der Domänenontologie sowie den vorhandenen Leistungsinformationen des Prozesses. Nach der Validierung des Modells durch den Domänenexperten wird das Modell im Erfolgsfall in das *Datenbanksystem* gespeichert oder, falls die Validierung nicht erfolgreich war, ein Signal zur Überarbeitung der Domänenontologie (siehe Abbildung 5) gesendet.

Im letzten Schritt, dem *Benchmarking mittels des SEMAT Analysewerkzeugs*, erfolgen die Analyse und der Vergleich von attributierten Prozessmodellen. Der Benchmarker lädt sich hierzu die zu betrachtenden Modelle sowie vorher entwickelte Metriken aus dem *Datenbanksystem*. Danach hat er durch das *SEMAT Analysewerkzeug* die Möglichkeit die attributierten Modelle zu analysieren und zu vergleichen. Hierbei können auch eigene Abfragen des Benchmarkers zur Analyse genutzt werden. Die Ergebnisse der Analyse und des Vergleichs der Modelle wird durch den Domänenexperten hinsichtlich der Domäne validiert. Sollte dies erfolgreich sein, so können die Ergebnisse durch den Benchmarker interpretiert werden oder aber das Signal zur Überarbeitung der Domänenontologie gesendet werden. Nach der Interpretation der Ergebnisse durch den Benchmarker kann bei ausreichendem Erkenntnisgewinn durch die Analyse und den Vergleich ein Bericht erstellt, Handlungsempfehlungen abgeleitet und die Ergebnisse im *Datenbanksystem* gespeichert werden. Anderenfalls erfolgen eine Überarbeitung der Metriken und eine nochmalige Analyse sowie ein Vergleich der Modelle.

#### 4.1 Basisontologie in der Ontologiesprache OWL

Eine Überführung der Basisontologie in OWL ist in Abbildung 6 dargestellt. Im Wesentlichen ist dies eine Überführung der in Abbildung 1 dargestellten Ontologie als T-Box. Die Beziehungen zwischen den Konzepten sind als ObjectProperties dargestellt, die eine Domäne (engl. *domain*) und einen Wertebereich (engl. *range*) besitzen. Detaillierter als in Abbildung 1 sind hier Kardinalitäten dargestellt. So kann zum Beispiel ein Kontrollfluss nur eine Quelle (engl. *source*) und ein Ziel (engl. *destination*) haben.

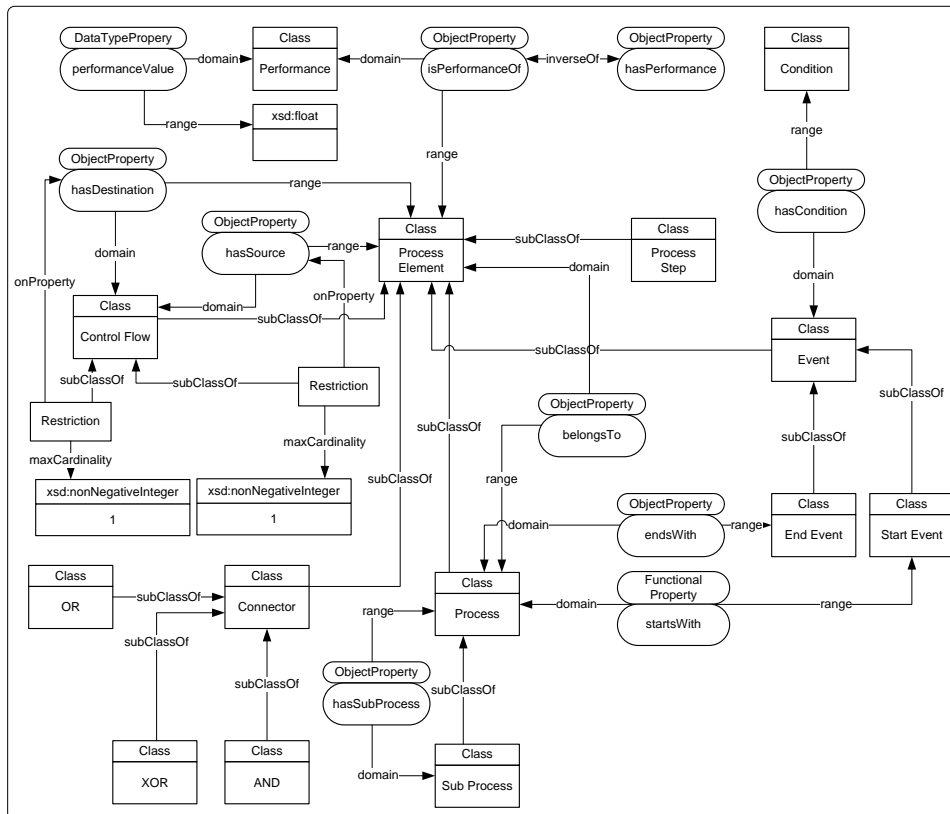


Abbildung 6: Basisontologie in der Ontologiesprache OWL

## 4.2 SEMAT Modellierungswerkzeug

Zur benutzerfreundlichen Attributierung von Informationsmodellen wurde prototypisch ein Microsoft Visio 2007 Add-In entwickelt. Die Entscheidung, Microsoft Visio 2007 als Modellierungswerkzeug zu nutzen, ist motiviert durch die Erweiterbarkeit mittels Add-Ins sowie der hohen Verbreitung und Akzeptanz von Microsoft Visio. Das Add-In ermöglicht die semantische Attributierung und Erfassung von Leistungsinformationen für UML-Aktivitätsdiagramme und Ereignisgesteuerte Prozessketten. Hierzu kann der Modellierer über ein Kontextmenü zu jedem Modellkonstrukt ein Konzept aus der Domänenontologie suchen und dem Konstrukt zuordnen sowie Leistungsinformationen erfassen, die hier beispielhaft für die Durchlaufzeit und die Kosten abgebildet sind (siehe Abbildung 7). Sollten Instanzen der Domänenontologie in verschiedenen Sprachen beschrieben sein, wie hier in Englisch und Deutsch, so werden diese Instanzen in diesen Sprachen zur Auswahl angeboten. Weiterhin ist das Laden und Speichern der Modelle in das Datenbanksystem möglich.

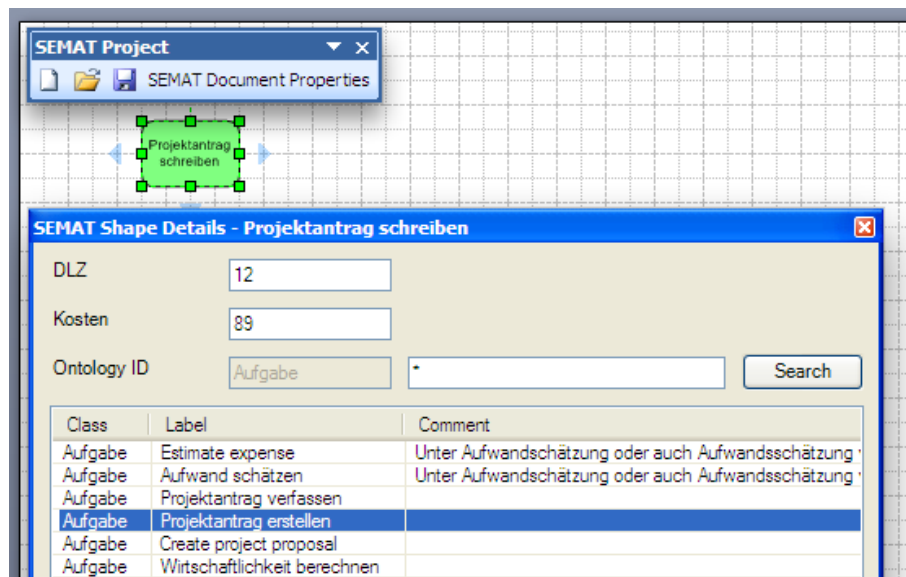


Abbildung 7: SEMAT Microsoft Visio Add-In

Eine Übersicht über die zur Verfügung stehenden Modellkonstrukte, die mittels des Microsoft Visio Add-Ins attribuiert werden können, gibt Tabelle 1.

Bezeichnung im Referenz-Metamodell	UML- Aktivitätsdiagramm	EPK
ProcessStep	Aktion	Funktion
Event	Objektknotenzustand, Entscheidungsbedingung	Ereignis
Start-/End-Event	Startknoten, Endknoten	Ereignis
ControlFlow	Kontrollfluss	Kontrollfluss
Connector	Entscheidungsknoten, Gabelung	OR-, XOR-, AND- Konnektor
Subprocess	Aktivität	Unterprozess

Tabelle 1: Übersicht der Modellkonstrukte

### 4.3 SEMAT Analysewerkzeug

Zur Analyse und zum Vergleich der Prozessmodelle wird eine prototypisch entwickelte Java-Software genutzt, die in Abbildung 8 als Komponentendiagramm dargestellt ist. Sie besteht aus den Komponenten „Modell-, Metrik- und Ontologieverwaltung“, „Datenbankzugriff“, „Metrikerzeugung und -bearbeitung“ sowie „Ontologieaufbereitung und -analyse“. Über die Komponente „Modell-, Metrik- und Ontologieverwaltung“ ist es möglich, Modelle, Metriken und Ontologien aus der Datenbank zu laden oder zu speichern, wozu die Komponente „Datenbankzugriff“ genutzt wird. Diese Komponente ist ein beliebiger *Object-Relational-Mapper* der jeden Entitätstypen der Datenbank mit einer Klasse verbindet. Somit können sehr leicht Entitäten aus der Datenbank, die ähnlich dem Referenz-Metamodell gespeichert wurden, als Instanzen von Java-Klassen erzeugt werden. Diese Instanzen wiederum werden zur Erzeugung der Analyseontologie genutzt. Durch die Komponente „Ontologieaufbereitung und -analyse“ ist es dem Anwender möglich diese Analyseontologie auszuwerten. Hierzu wird das *Semantic Web Framework* Jena [Jena] und die Inferenzmaschine Pellet [Pellet] genutzt.

Hinsichtlich der Auswertung der Analyseontologien stellt der Prototyp mehrere Möglichkeiten zur Berechnung von Kennzahlen zur Verfügung. Es können alle Möglichkeiten zur Auswertung von Ontologien mittels einer Inferenzmaschine genutzt werden sowie Abfragen mittels SPARQL erfolgen. SPARQL steht für *SPARQL Protocol and RDF Query Language* und wurde vom [W3C] am 18. Januar 2008 als *Recommendation* freigegeben. Es erlaubt Abfragen auf RDF Dokumenten in ähnlicher Weise wie SQL. Diese grundlegenden Auswertungsmöglichkeiten können weiterhin in Skripte zusammengeführt werden.

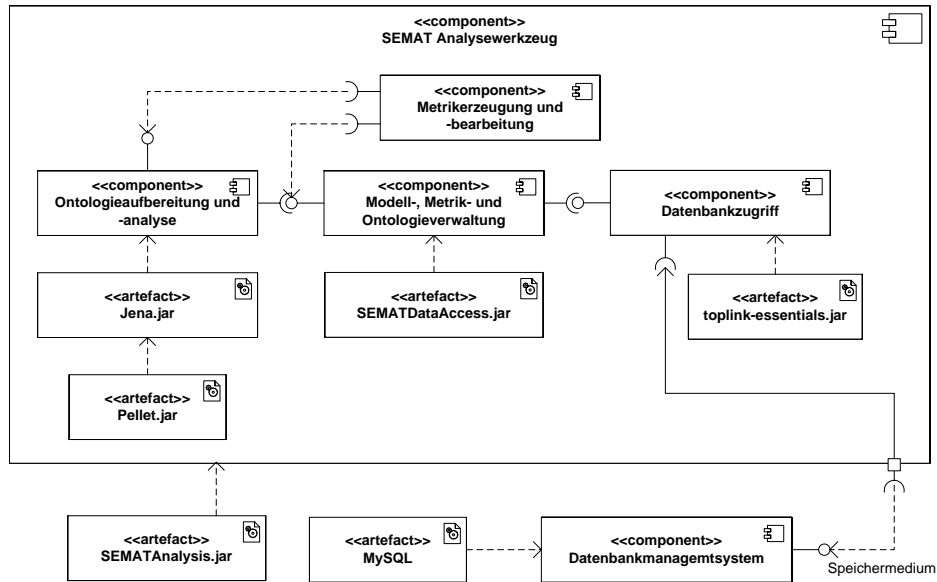


Abbildung 8: Komponenten des SEMAT Analysewerkzeugs

#### 4.4 Analyse und Vergleich mittels SEMAT Analysewerkzeug

Die Analysemöglichkeiten der prototypischen Umsetzung werden anhand des bereits zuvor in Abbildung 3 dargestellten Beispiels demonstriert. Die Analyse einer vorher erzeugten Analyseontologie kann, wie oben erwähnt, auf zwei Arten sowie deren Kombination erfolgen. Zum einen durch die Erzeugung eines Skripts und zum anderen durch die Abfrage mittels SPARQL. Eine SPARQL-Abfrage kann auch in ein Skript mit eingebunden und ausgewertet werden.

In Abbildung 9 ist die Auswertung anhand eines Skripts zur Ermittlung des „Detaillierungsgrad“ der einzelnen Prozessmodelle dargestellt. Diese sehr einfache Metrik kann zum Modellvergleich herangezogen werden, da mit dieser Metrik gemessen werden kann, wie detailliert ein Konzept in einem Prozessmodell repräsentiert ist. Die Metrik besteht aus dem Quotienten aus referenzierten (Sub-)Konzepten und der Anzahl vorhandener (Sub-)Konzepte. In Hinblick auf das Konzept „Projektantrag erstellen“ ergibt sich hier für die ereignisgesteuerte Prozesskette ein Wert von 0,25, weil nur eines von vier Konzepten referenziert wird. In Hinblick auf das Aktivitätsdiagramm ergibt sich ein Wert von 0,75, weil drei von vier Konzepten referenziert werden. Dieses Ergebnis kann mittels Inferenz auf der Analyseontologie des Beispiels automatisch ermittelt und zum Prozessvergleich herangezogen werden. Ein Vergleich ist durch diese einfache Metrik insofern möglich, dass Teilbereiche identifiziert werden können, die in unterschiedlichen Detaillierungsgrad modelliert wurden. Sollten weiterhin Leistungsinformationen, wie in Abbildung 3 dargestellt, bei der Analyse genutzt werden,

so können einzelne Teilbereiche auch anhand dieser Informationen miteinander verglichen werden.

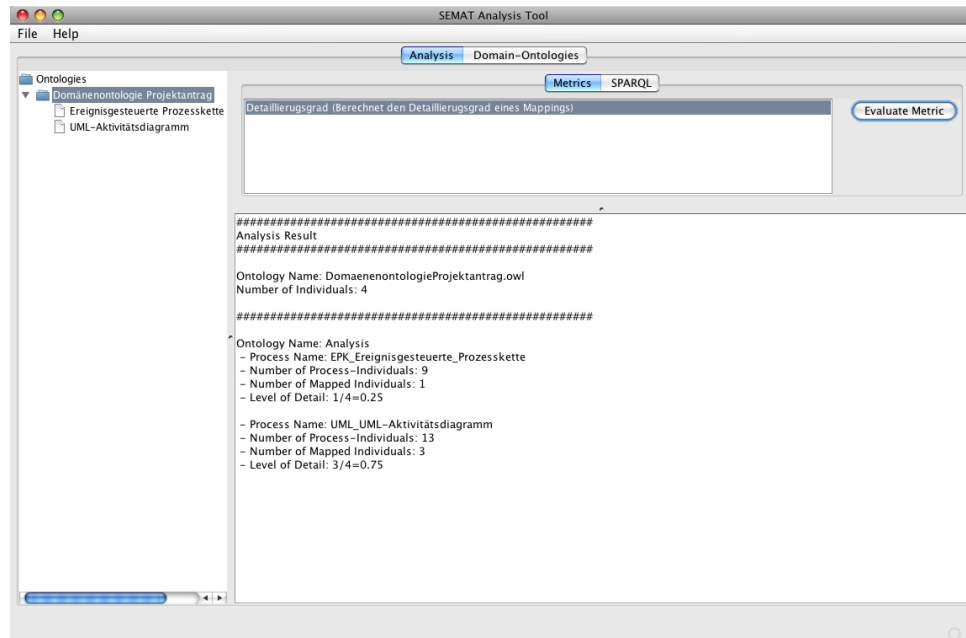


Abbildung 9: SEMAT Analysewerkzeug zur Ermittlung der Metrik "Detaillierungsgrad"

Im Rahmen der SEMAT-Entwicklung wurde ein Katalog von einfachen und fortgeschrittenen Metriken entwickelt, die sowohl den qualitativen als auch einen quantitativen Vergleich von Prozessmodellen erlauben. Zu den ersteren zählen bspw. Kennzahlen zum Detaillierungsgrad und zur „fachlichen Breite“ von Modellen, zu den ersteren bspw. Metriken zu Prozesskosten. Die Konstruktion der Metriken basiert im Wesentlichen auf etablierten Verfahren zur Vermessung von Graphen bzw. Objektmodellen (vgl. [GPC05]) oder auf etablierten betriebswirtschaftlichen Verfahren wie bspw. der Prozesskostenrechnung.

## 5 Nutzeneffekte im Bereich des Prozess-Benchmarking

Das in diesem Beitrag vorgestellte Verfahren kann dazu eingesetzt werden, die Durchführung von groß angelegten *Prozess-Benchmarking-Initiativen* zu halbautomatisieren und damit effizienter zu gestalten. Während bei einem klassischen *Prozess-Benchmarking* die Analyse und der Leistungsvergleich unterschiedlicher Prozesse durch Fachexperten zu erfolgen hat, können unter Nutzung des skizzierten Prototyps diese Aufgaben (halb-)automatisiert durch Software durchgeführt werden. Als Vorbedingung ist zu fordern, dass die Modelle anhand von semi-formalen Beschreibungssprachen (z.B. EPK oder UML-Aktivitätsdiagramm) dokumentiert sind. Das notwendige Mapping zu Konzepten der Domänenontologie kann entweder manuell oder unter Nutzung von



Mapping-Verfahren (z.B. auf Basis eines Thesaurus) erfolgen (vgl. [NM02]). Danach können die Modelle in Ontologien überführt und schließlich der Analyse unterzogen werden. Sofern entsprechende Metriken vorliegen, kann dann ein vollautomatisierter Vergleich der Modelle realisiert werden, der an Aussagekraft gewinnen kann, wenn zusätzlich Leistungsdaten wie Durchlaufzeiten, Fehlerquoten oder Kosten (oder andere Leistungskennzahlen) vorliegen.

Mit dem vorgestellten Verfahren kann somit ein deutlicher Zeit- und Kostenvorteil realisiert werden. Allerdings darf dabei nicht außer Acht gelassen werden, dass der Aufbau eines entsprechenden Informationssystems, die Konstruktion (und fortlaufende Wartung) einer Domänenontologie sowie die Annotation der Modelle ebenfalls mit entsprechendem Aufwand verbunden sind. Daher kann von einer Wirtschaftlichkeit des Konzeptes nur dann ausgegangen werden, wenn der relativ aufwändigen Vorbereitung eine *vielfache* Nutzung der Modelle im Rahmen von Benchmarking-Vorhaben gegenübersteht. Eine solche vielfache Nutzung wird nur dann zu erzielen sein, wenn bspw. ein zentrales Benchmarking Clearing Center die dauerhafte Realisierung des Konzeptes übernimmt.

## **6 Fazit sowie Ausblick auf weitere Forschung**

Die derzeitige prototypische Umsetzung des Verfahrens von [ATB06] zeigt die technische Realisierbarkeit. Eine Überführung von in Microsoft Visio 2007 modellierten Prozessmodellen in den Modellierungssprachen UML und EPK sowie deren Leistungsdaten in eine so genannte Analyseontologie wurde dargestellt. Darauf aufbauend sind unter Zuhilfenahme einer ihr zugeordneten Domänenontologie automatisierte Schlussfolgerungen möglich. Diese Schlussfolgerungen können entweder benutzerdefiniert durch SPARQL-Abfragen oder durch Metriken erfolgen. Nach unserem Kenntnisstand handelt es sich um die erste Implementierung eines Werkzeugs dieser Art.

Der derzeitige Stand des Prototypen unterstützt die wesentlichen Anforderungen des Verfahrens wie in Abschnitt 4 dargestellt in ausreichender Weise. Allerdings gibt es noch Einschränkungen im Bereich der Benutzungsfreundlichkeit sowie der Konfigurierbarkeit des Systems. Beide Problembereiche sollen in folgenden Versionen des Werkzeugs behoben werden. Insbesondere ist eine Unterstützung auch anderer Informationsmodellarten (z.B. Datenmodelle) geplant. Hinzukommen soll weiterhin eine übersichtliche Auswertung von Modellen mit Hilfe von Berichten über verschiedene Metriken. Hierzu soll auch der Metrikkatalog erweitert werden. Auch soll es möglich werden beliebige Arten von Leistungsdaten zu definieren und die Modelle mit entsprechenden Daten anzureichern. Die in diesem Beitrag vorgestellte Überführung der Metamodelle der EPK sowie des UML-Aktivitätsdiagramms in eine Ontologie, wurde in ähnlicher Weise von [RG02] durch Nutzung der Bunge-Wand-Weber (BWW-)Ontologie vorgestellt. Dies fand im Rahmen dieses Beitrags keine Berücksichtigung und soll daher im Rahmen der weiteren Forschungsarbeiten evaluiert und diskutiert werden.

Neben der technischen Weiterentwicklung des Systems soll eine umfassende Evaluierung des Ansatzes und des Werkzeugs in konkreten Projekten erfolgen. In einem

ersten Schritt soll einem Action Research-Ansatz folgend das Werkzeug in Benchmarking-Projekten eingesetzt und zyklisch verbessert werden. Dann soll eine praktische Evaluierung ohne Interaktion der Autoren durch fachliche Anwender durchgeführt werden. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens soll mit Hilfe von Simulationsmodellen ermittelt werden.

Im Laufe der Entwicklung des Prototypen wurden Schwachstellen im Verfahren von [ATB06] erkannt und beseitigt. Die wichtigsten Änderungen haben sich bei der Nutzung von Ontologien ergeben. So war ursprünglich eine ausschließliche Nutzung einer Ontologie zur semantischen Beschreibung der Modelle vorgesehen. Im Laufe der Forschung hat sich jedoch gezeigt, dass eine Überführung des Referenz-Metamodells in eine Ontologie sowie eine ausschließliche Analyse auf der Analyseontologie zweckmäßig ist. So können die Möglichkeiten, welche durch Schlussfolgerungen gegeben sind, in einem größeren Ausmaß genutzt werden.

Als Anwendungsbereiche, in denen das vorgestellte Verfahren genutzt werden kann, sind neben dem Benchmarking zum Beispiel auch ein „*Information Model Mining*“ und eine (halb-)automatische Referenzmodellkonstruktion denkbar [ATB06, S. 28]. Unter „*Information Model Mining*“ verstehen [ATB06, S. 28] in Anlehnung an den Begriff des *Data Mining* ein Verfahren, mit denen aus einer Menge von Informationsmodellen automatisch neue Erkenntnisse gewonnen werden können. Bei der (halb-)automatischen Referenzmodellkonstruktion kann eine Informationsmodell-Datenbank eine sehr weitreichende Hilfe sein, indem auf Basis der mittels Datenbank dokumentierten, empirischen Fälle automatisch Vorschläge für Referenzmodellstrukturen generiert werden.

## Literaturverzeichnis

- [ATB06] Ahlemann, F.; Teuteberg, F.; Brune, G.: Ontologiebasierte Attributierung von Informationsmodellen: Grundlagen und Anwendungsgebiete. ISPRI-Arbeitsbericht Nr. 01/2006, 2006.
- [AV03] Antoniou, G.; van Harmelen, F.: Web Ontology Language: OWL. In (Staab, S.; Studer, R. (Hrsg.)): Handbook on Ontologies. Springer, Berlin, 2003; S. 67-92.
- [Ba03] Baader F.; Calvanese D.; McGuinness D.; Patel-Schneider P.; Nardi D.: The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications. Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- [BKR05] Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M.: Prozessmanagement. Ein Leitfadens zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. Springer, Berlin u.a., 2005.
- [Ce07] Celino, I.; de Medeiros, A. K. A.; Zeissler, G.; Oppitz, M.; Facca, F. M.; Zoeller, S.: Semantic Business Process Analysis. In (Hepp, M.; Hinkelmann, K.; Karagiannis, D.; Klein, R.; Stojanovic, N. (Hrsg.)): Proceedings of the Workshop on Semantic Business Process and Product Lifecycle Management (SBPM 2007), 3rd European Semantic Web Conference (ESWC 2007), CEUR Workshop Proceedings, 251, 2007; S. 44-47.
- [EKO07] Ehrig, M.; Koschmider, A.; Oberweis, A.: Measuring Similarity between Semantic Business Process Models. In (Roddick, J. F.; Hinze, A. (Hrsg.)): Proceedings of the Fourth Asia-Pacific Conference on Conceptual Modelling (APCCM 2007), Australian Computer Science Communications, 2007; S. 71-80.

- [FL07] Fettke, P.; Loos, P.: Ontological Evaluation of Scheer's Reference Model for Production Planning and Control Systems. *International Journal of Interoperability in Business Information Systems*, 2007, vol. 2, 1; S. 9-28.
- [GPC05] Genero, M.; Piattini, M.; Calero, C.: A Survey of Metrics for UML Class Diagrams. *Journal of Object Technology*, 2005, 4; 59-92
- [Gr93] Gruber, T. R.: A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 1993, vol. 5, 2; S. 199-220.
- [He04] Hevner, A. R.; March, S. T.; Park, J.; Ram, S.: Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 2004, vol. 28, 1; S. 75-105.
- [He05] Hepp, M.; Leymann, F.; Domingue, J.; Wahler, A.; Fensel, D.: Semantic Business Process Management: A Vision Towards Using Semantic Web Services for Business Process Management. *ICEBE '05: Proceedings of the IEEE International Conference on e-Business Engineering*, IEEE Computer Society, 2005; S. 535-540.
- [Hö07] Höfferer, P.: Achieving Business Process Model Interoperability Using Metamodels and Ontologies. In *Proceedings of the Fifteenth European Conference on Information Systems*, 2007; S. 1620-1631.
- [Ho05] Horrocks, I.: Applications of Description Logics: State of the Art and Research Challenges. *Proc. of the 13 th Int. Conf. on Conceptual Structures (ICCS '05)*, 2005; S. 78-90.
- [Ka06a] Kappel, G.; Kapsammer, E.; Kargl, H.; Kramler, G.; Reiter, T.; Retschitzegger, W.; Schwinger, W.; Wimmer, M.: On Models and Ontologies – A Semantic Infrastructure Supporting Model Integration. *Modellierung*, Innsbruck, 2006; S. 11-27.
- [Ka06b] Kappel, G.; Kapsammer, E.; Kargl, H.; Kramler, G.; Reiter, T.; Retschitzegger, W.; Schwinger, W.; Wimmer, M.: Lifting metamodels to ontologies – A Step to the Semantic Integration of Modeling Languages. *ACM/IEEE 9th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS '06)*. In (Nierstrasz, O. et al. (Hrsg.)): *LNCS 4199*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006; S. 528-542.
- [KH06] Karagiannis, D.; Höfferer, P.: Metamodels in action: An overview. In (Filipe, J.; Shishkov, B.; Helfert M. (Hrsg.)): *ICSOF 2006, First International Conference on Software and Data Technologies*, Setúbal, Portugal, September 11-14, 2006. INSTICC Press, 2006.
- [LÖ99] Legner, C.; Österle, H.: Prozessbenchmarking – Ein methodischer Ansatz zur Prozessentwicklung mit Standardsoftware. In (Scheer, A.; Nuettgens, M. (Hrsg.)): *4. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik*. Physica, Heidelberg, 1999; S. 331-352.
- [MK07] Murzek, M.; Kramler, G.: The Model Morphing Approach – Horizontal Transformations between Business Process Models. *Proceedings of the 6th International Conference on Perspectives in Business Information Research – BIR 2007*, Department of Computer Sciences, University of Tampere, Tampere, Finland, 2007; S. 88-103.
- [Jena] Jena – A Semantic Web Framework for Java, <http://jena.sourceforge.net/> (Zugriff am 26.05.2008)
- [NM02] Noy, N. F.; Musen, M. A.: Evaluating Ontology-Mapping Tools: Requirements and Experience. *Proceedings of OntoWeb-SIG3 Workshop at the 13th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management*, Siguenza, Spain, 2002; S. 1-14.
- [OWL] Web Ontology Language. <http://www.w3.org/TR/owl-features/> (Zugriff am 26.05.2008)
- [Pellet] Pellet OWL Reasoner. <http://pellet.owldl.com/> (Zugriff am 26.05.2008)
- [RG02] Rosemann, M.; Green, P.: Developing a meta model for the Bunge-Wand-Weber ontological constructs. *Information Systems*, vol. 27, 2, 2002; S. 75-91.

- [Sc02] Scheer, A.-W.: ARIS – Vom Geschäftsprozeß zum Anwendungssystem. Springer, Berlin, Aufl. 4, 2002.
- [St98] Strahringer, S.: Ein sprachbasierter Metamodellbegriff und seine Verallgemeinerung durch das Konzept des Metaisierungsprinzips. In (Pohl, K.; Schürr, A.; Vossen, G. (Hrsg.)): Modellierung '98, Proceedings des GI-Workshops in Münster, 11.-13. März, 1998.
- [SMW07] Strommer, M.; Murzek, M.; Wimmer, M.: Applying Model Transformation By-Example on Business Process Modeling Languages Advances. In (Hainaut, J. et al. (Hrsg.)): Advances in Conceptual Modeling - Foundations and Applications, LNCS 4802. Springer, Berlin u.a., 2007; S. 116-125.
- [TF07] Thomas, O.; Fellmann, M.: Semantic Business Process Management: Ontology-Based Process Modeling Using Event-Driven Process Chains. International Journal of Interoperability in Business Information Systems, 2007, vol. 2, 1; S. 29-44.
- [VZS05] Vanderhaeghen, D.; Zang, S.; Scheer, A.-W.: Interorganisationales Geschäftsprozessmanagement durch Modelltransformation. In (Scheer, A.-W. (Hrsg.)): Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Nr. 182, Saarbrücken, Universität des Saarlandes, 2005.
- [W3C] SPARQL Query Language for RDF. <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/> (Zugriff am 26.05.2008).