

ONTOVERSE: Kollaborative Ontologieentwicklung mit interaktiver visueller Unterstützung

Zoulfa El Jerroudi¹, Stefan Weinbrenner¹, Dominic Mainz², Katrin Weller³

Abteilung Informatik & Angewandte Kognitionswissenschaft, Universität Duisburg-Essen¹

Arbeitsgruppe Bioinformatik, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf²

Arbeitsgruppe Informationswissenschaft, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf³

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird die Plattform Ontoverse (Ontology und Universe) zur kooperativen und interaktiven Erstellung von Ontologien in Form eines semantischen Wikis vorgestellt. Ontoverse verbindet neue technische und informationsmethodische Lösungen für ein vernetztes, interdisziplinäres Informations- und Wissensmanagement mit neuen vertrauenswürdigen Formen und Modellen der Zusammenarbeit innerhalb einer wissenschaftlichen Gemeinschaft. Dabei wird der Prozess der Entwicklung von Ontologien visuell unterstützt. Die Ontoverse-Plattform eröffnet der Wissenschaftlergemeinschaft die Möglichkeit, kooperativ an der Konstruktion von fachspezifischen Ontologien zu arbeiten. Dadurch können Forschungsergebnisse besser genutzt und ihr Transfer beschleunigt werden.

1 Einleitung

Für die Forschungsk Kooperationen und Wissensorganisation spielt die Entwicklung von Plattformen für die wissenschaftliche Zusammenarbeit eine wichtige Rolle, weil sie die Weiterentwicklung der wissenschaftsorientierten Entwicklungszusammenarbeit unterstützen. Diese Plattformen sollen nicht nur den gemeinsamen Zugriff auf operative Datenbestände ermöglichen, sondern müssen insbesondere auch kreative Tätigkeiten und den Wissensaustausch umfassen, die eine Schlüsselrolle für den Erfolg von Kooperationsprozessen einnehmen. Wissen soll nicht nur besser auffindbar gemacht werden, sondern auch unmittelbar in einen globalen Kontext eingegliedert werden. Dabei helfen semantische Annotationen und die strukturierte Umsetzung von Wissen in Form von Ontologien. Letztere dienen zudem dazu, Wissen einer Forschungsgemeinschaft in eine eindeutige Form zu bringen, und dabei möglichst einen aktuellen Konsens zum Wissenstand abzubilden. Die manuelle Erstellung fach-

gebietsspezifischer Ontologien gestaltet sich zeit- und kostenintensiv, da eine Anzahl von Experten des zu modellierenden Fachgebietes für diese Aufgabe intensiv zusammenarbeiten muss. Ferner sind nicht alle Beteiligten mit den Formalismen der Ontologierstellung vertraut. Insgesamt ergibt sich ein hoher Kommunikationsaufwand, da den formal geschulten Personen, die einer Expertengruppe Ontologierstellung nahe bringen können (in der Regel handelt es sich hierbei um Informatiker, Mathematiker oder Personen aus einem verwandten Gebiet), das jeweilige Fachgebiet der Ontologie fremd ist (Paulsen et al. 2007). Hinzu tritt ein weiteres prinzipielles Problem: Bei zunehmender Größe einer Ontologie lässt die Überschaubarkeit der Gesamterstellung nach.

Das in dem Verbundprojekt Ontoverse¹ entwickelte System (siehe Abbildung 1) soll weltweit tätigen Forschergruppen in *Kooperation* erlauben, ihren Beitrag bei dem Ontologieaufbau zu leisten. Dies gelingt durch die gemeinsame Bearbeitung der Ontologien über eine Internetplattform (Wiki-Prinzip). Durch integrierte Werkzeuge zur Vereinigung vormals isolierter Ontologien wird der schnelle Aufbau einer umfassenderen Ontologie verwirklicht.

Abbildung 1: ONTOVERSE-Plattform zur kollaborativen Ontologieentwicklung

Die durch Ontoverse zur Verfügung gestellte Web-basierte Plattform soll die Einbindung weltweit tätiger Forschergruppen zur gemeinsamen Ontologieentwicklung erlauben, um das

¹ Das ONTOVERSE-Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert (Projekt-Nr. 01C5975).

Ziel einer gemeinsamen Begriffsbildung zu erreichen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Life Sciences. Charakteristisch für diesen Wissensbereich sind schnell wachsende Nomenklaturen für Verfahren, Substanzen und Produkte (Bodenreider & Stevens 2005). Ein Service zur maschinell unterstützten Integration vormals isolierter Ontologien in das Ontoverse-Wiki ermöglicht den schnellen Aufbau einer umfassenderen Ontologie. Die Ontologien entstehen durch Informationsextraktion aus Fachpublikationen sowie durch direkte interaktive und kooperative Konstruktion seitens der beteiligten Wissenschaftler über das semantische Wiki. Die so erzeugte Wissensbasis wird genutzt, um flexible, assoziative Zugriffs- und Navigationsmöglichkeiten zu unterstützen. Darüber hinaus kann die Ontologie auch dazu dienen, Kompetenz- und Interessensprofile von Wissenschaftlern so zu beschreiben, dass damit zum Beispiel die Bildung von Teams für Spezialaufgaben oder andere personalisierte Vermittlungsaufgaben unterstützt werden. Um die verschiedenen Ontologie-Entwicklungsgruppen zu unterstützen, bietet die Ontoverse-Plattform neben Foren die Möglichkeit, direkt an der Ontologie Annotationen vorzunehmen, verschiedene Vorschläge für eine Ontologieerweiterung oder -änderung parallel vorzuhalten und Differenzen zwischen diesen Varianten herauszuarbeiten.

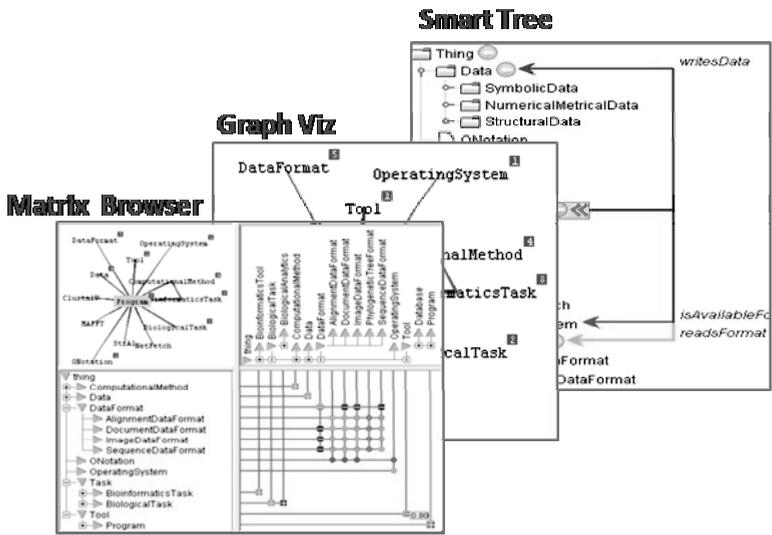


Abbildung 2: Alternative Sichten auf die Ontologie Bio2Me

Abbildung 2 zeigt alternative Sichten auf eine beispielhafte Bioinformatik-Ontologie (BIO2Me). Die GraphViz-Sicht beispielsweise eignet sich für einen Überblick über die Ontologie, der SmartTree gewährt hingegen detaillierte Einblicke in die Struktur der Ontologie und der Matrix-Browser (Ziegler et al. 2002) ist für den Vergleich zweier Ontologien geeignet. Die alternativen Sichten erleichtern es den Ontologie-Designern, die Konsequenzen ihrer Arbeit an der Ontologie zu erfassen. Hierdurch wird erstmals der Aufbau großer und weit verzweigter Ontologien unter Beteiligung vieler Mitwirkender praktisch umsetzbar.

2 Techniken zur Unterstützung der kollaborativen Ontologieentwicklung

Die kollaborative Ontologieentwicklung wird auf der ONTOVERSE-Plattform mit folgenden Komponenten unterstützt:

Das **semantische Wiki** ermöglicht interaktives und kooperatives Arbeiten innerhalb der Wissenschaftlergemeinschaft zur Konstruktion von fachspezifischen Ontologien. Dadurch wird im Besonderen die zeitnahe Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse, Redundanz-Management durch Konsensunterstützung und die Erweiterbarkeit auf multimediale Inhalte (z.B. molekulare 3D-Strukturdaten) und spezielle biologische Datenformate realisiert. Die Erstellung und Vernetzung der Ontologie erfolgt durch direkte interaktive und kooperative Konstruktion seitens der beteiligten Wissenschaftler über das semantische Wiki sowie durch **Informationsextraktion** aus Fachpublikationen. Für die Informationsextraktion wird eine große Textsammlung mit Hilfe des Extraktionswerkzeugs bezüglich der verschiedenen Ontologien klassifiziert; die extrahierten Konzepte werden zur Erweiterung der Ontologie vorgeschlagen. Das Verschmelzen und Integrieren der Ontologie ist nur teilweise automatisierbar. Hierzu bedarf es intellektueller Beiträge, welche durch interaktive und kooperative Werkzeuge, wie dem iMERGE-Editor (El Jerroudi & Ziegler 2007) unterstützt werden. Als weiterer integraler Bestandteil unterstützt Ontoverse die Kommunikation zwischen den Ontologie-Designern durch Bereitstellung von **Foren und Annotationssystemen**. Arbeitsgruppen arbeiten an derselben Ontologie und können sich während des Entwicklungsprozesses über die am besten geeignete Metadatenbeschreibung des betrachteten Wissens mittels der in Ontoverse integrierten Kommunikationskanäle austauschen.

Geeignete **Visualisierungstools** (siehe Abbildung 2) erleichtern es den Ontologie-Designern, die Konsequenzen, die sich aus ihrer Arbeit an der Ontologie ergeben, zu erfassen. Um neue leistungsfähige Dienste und Instrumente für Zusammenarbeit, innovative und effektive Kooperationskulturen sowie den Umgang mit verteilten, komplexen Informationen erschließen zu können, müssen Rechte von Einzelnen und Gruppen durchgehend auf der Kooperationsplattform gesichert und justiziabel sein. Einen Bestandteil des Ontoverse Wissensmanagementsystems bildet der Signatur-Server. Dieser weist jeder neu eingegebenen Wissensbeschreibung die digitale Signatur des entsprechenden Autors zu. Mit Hilfe dieser **Signatur** und einer **Zeitstempelfunktion** lassen sich dann die Rechte an den Metadaten und Primärbeiträgen klar zurechnen und in Bezug auf die Reputation des Autors managen. Zur Rechteverwaltung und vertraulichen Kommunikation wird ein **Trustcenter** eingerichtet. Dieses gibt vertrauenswürdige Zertifikate aus, die sowohl für die Authentisierung und Kommunikationssicherung als auch für die Signatur der einzustellenden Beiträge benötigt werden.

3 Plattform zur Unterstützung der synchronen und asynchronen Kommunikation

Um synchrone und asynchrone Kommunikation bei der kollaborativen Ontologieentwicklung zu unterstützen, muss die darunterliegende Plattform in der Lage sein, ontologische Informationen zu speichern und komfortable Möglichkeiten bereitstellen, sie zu bearbeiten. Darüber hinaus muss eine solche Plattform die Daten benutzerbasiert und auch versioniert verwalten. Daher ist eine solche Plattform nicht nur reiner, passiver Datenspeicher, sondern soll vor allem auch für die Kollaboration relevante Informationen aktiv zwischen beteiligten Systemen lenken können.

Die Ontoverse-Plattform nutzt dafür eine *Blackboard-Architektur*. Diese Architektur wurde erstmals von (Erman et al. 1980) in HEARSAY zur kaskadierten Verarbeitung von Sprache verwendet. Die Metapher des Blackboards sieht mehrere Spezialisten vor einer Tafel stehen, die gemeinsam ihr Wissen nutzen, um ein Problem zu lösen und dabei über das Artefakt der Tafel kommunizieren. Technisch wurde das Blackboard-System in ONTOVERSE durch eine *TupleSpaces-Architektur* realisiert. *TupleSpaces* zusammen mit der verwandten Koordinierungssprache Linda ist ein von (Gelernter 1985) entworfenes Koordinationsmodell in verteilten Systemen, was auf *Tupeln* – also geordnete Listen primitiver Daten – als Datenstrukturen basiert. Die Grundoperationen zwischen *TupleSpaces-Client* und –Server (der das zentrale Blackboard darstellt) sind also *schreiben*, *lesen* und *herausnehmen*.

Da Lese-Operationen auch blockierend sein können, kann man durch die *TupleSpaces* sehr gut lose gekoppelte Prozesse synchronisieren. Außerdem besteht die Möglichkeit, sog. *Callbacks* zu registrieren. Hierbei teilt ein Client dem Server mit, dass er sich für bestimmte Ereignisse auf dem Server subscribieren und so in Zukunft benachrichtigt werden möchte. Diese beiden Funktionalitäten (blockierendes Lesen, asynchrone Callbacks) werden in Ontoverse für die Awareness-Funktionen verwendet. Für die Implementierung der *TupleSpaces* wurde in Ontoverse *SQLSpaces* (Weinbrenner et al. 2007) verwendet. Die *SQLSpaces* haben nicht nur den Vorteil gegenüber anderen Implementierungen, dass die Daten ständig persistent im Speicher gehalten werden. Sie unterstützen auch verschiedene andere Eigenschaften wie Versionierung und Benutzerverwaltung.

Auf den *SQLSpaces* baut das Semantic Web Application Toolkit (SWAT) auf. Zu SWAT gehört die Gesamtheit der Komponenten, die zur Verwaltung der Ontologiedaten und zum Zugriff auf die verschiedenen Funktionen der Agenten zuständig ist. Um nun alle Funktionalitäten einem Frontend komfortabel zugreifbar zu machen, wurden sie im *SWATClient* vereinigt und gekapselt. An dieser Stelle kann nun auf Ontologien zugegriffen werden, können Ontologien im- und exportiert werden, Agenten konfiguriert und angefragt werden oder auch Subskriptionen auf Änderungen oder sonstige Neuigkeiten gesetzt werden. Eine schematische Darstellung der Interaktion zwischen der SWAT-Architektur und einem anfragenden Client findet sich in Abbildung 3. Auf der rechten Seite befindet sich der Ontoverse-Server, auf dem ein *SQLSpaces-Server* und darauf aufbauend SWAT läuft. Intern und für Benutzer transparent laufen innerhalb von SWAT verschiedene Agenten, die jeweils einzelne Funktionen des Frameworks kapseln und entsprechend direkt auf die Ontologie-Daten zugreifen.

Serverseitig greift außerdem noch ein Ruby-on-Rails-basierter Webserver auf die Daten zu, um das den Editor umgebende Ontoverse-Portal zu generieren. Ruft nun ein Client-PC dieses Portal auf, kann er zur Exploration und Editierung der Ontologie den grafischen Editor starten (als Applet umgesetzt), das wiederum direkt auf SWAT zugreift, um die Ontologie zu visualisieren und zu editieren.

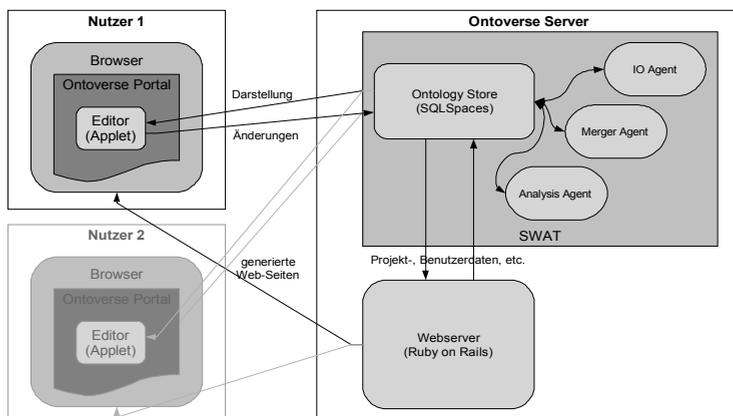


Abbildung 3: Gemeinsamer Zugriff auf die Ontoverse-Plattform

4 Ontoverse im Praxistest – Entwicklung einer Bioinformatik-Ontologie

Im Rahmen des Ontoverse-Projektes wurde eine anwendungsnahe Beispielontologie entwickelt, um die eigenen Erfahrungen um Prozesse des gemeinschaftlichen Ontologieaufbaus direkt in die Plattform-Gestaltung mit einbeziehen zu können und um gleichzeitig einen konkreten Einsatzfall aufzeigen zu können. Thema dieser Ontologie ist – in Anlehnung an die Ausrichtung auf die Life Sciences – die strukturierte Erfassung bioinformatischer Werkzeuge und Methoden: BioInformatics Ontology for Tools and Methods, *BIO2Me* (Mainz 2006). *BIO2Me* widmet sich der bislang völlig unstrukturierten und (selbst für Experten) unüberschaubaren Menge vorhandener Werkzeuge und Methoden der Bioinformatik und beginnt, diese in eine komplexe Klassifikation einzubauen. Ausgangspunkt sind die zahlreichen bioinformatischen Programme (z. B. zur Bearbeitung von experimentellen Daten, Sequenzstrukturanalysen, Strukturvorhersagen und -visualisierungen), die nun anhand charakteristischer Merkmale differenziert beschrieben werden sollen. Auf diese Weise soll mit der Ontologie als Wissensbasis eine Beispielanwendung in Form eines Informationssystems erstellt werden, das Nutzern erlaubt, am besten geeignete Tools anhand verschiedener Kriterien auszuwählen. Kern-Konzept der Ontologie sind demnach die Programme, die in erster Linie bezüglich ihrer Einsatzgebiete (application range) aus bioinformatischer Perspektive beschrieben werden. Sie werden näher spezifiziert durch Relationen wie *supported biological task*, *utilized computational method*, *processed data formats* usw. Den ersten Entwurf der

Ontologiestruktur zeigt Abbildung 4. Dieser wurde im weiteren Arbeitsverlauf iterativ erweitert.

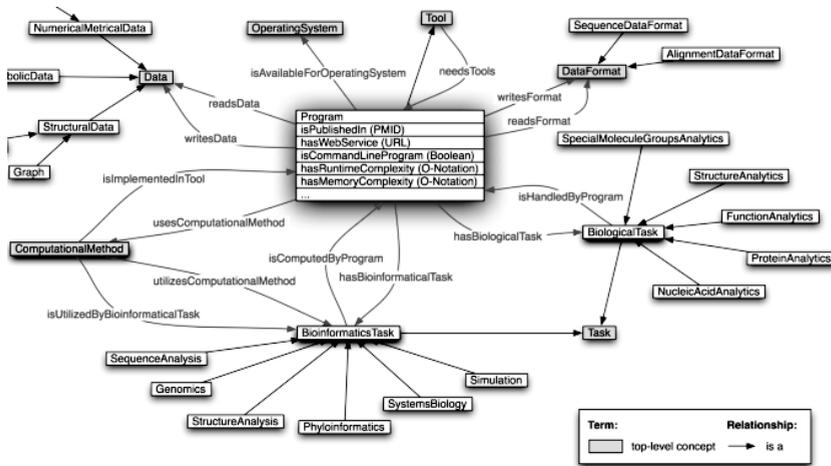


Abbildung 4: Erste Konzeptualisierung der Ontologie ausgehend von Konzept „Programm“

Anhand dieser bisherigen Arbeiten konnten wichtige Erfahrungen für den Ablauf kooperativer Ontologieerstellungsszenarien abgeleitet werden (Mainz et al. 2008). Daraus ergaben sich im Wesentlichen drei Problemkategorien für den kollaborativen Ontologieaufbau:

- a) Die wesentliche Herausforderung liegt in der Konzipierung der grundlegenden Ontologiestruktur, da hier nachträgliche Änderungen kaum oder nur schwer durchführbar sind. Daher ist eine kollaborative Planung des Ontologieaufbaus vor dem eigentlichen Editiervorgang von immenser Bedeutung und muss gesondert unterstützt werden.
- b) Während das Fundament der Ontologie gut von einer kleinen Gruppe von Experten angelegt werden kann, wird für die feinere Ausdifferenzierung einzelner Abzweigungen Spezialwissen aus einer breiter gefächerten Community benötigt. Am Beispiel der *BIO2Me* wurde besonders deutlich, dass Fachwissen aus dem gesamten Bereich der Bioinformatik und Biologie jeweils mit den speziellen Bezügen zum Themengebiet benötigt wurde, das von einer Kleingruppe allein nicht geleistet werden kann. Hier sind Wege nötig, wie die bereits vorhandene Strukturierung an externe Experten vermittelt werden kann, damit diese neue Verfeinerungen einbringen können.
- c) Noch deutlicher erweitert werden muss die Nutzer-Community, wenn es um die Anreicherung mit Instanzen und die langfristige Pflege der Ontologie geht. Hier geht es vor allem darum, dauerhaft kleinere Fakten-Änderungen (vor allem auf Instanzebene der Ontologie) vorzunehmen, wobei Veränderungen konstant mit verfolgt und einem Urheber zugewiesen werden müssen.

In Ontoverse wurden gezielt für diese Probleme Komponenten entwickelt: a) Der Wiki-Bereich kann für eine umfassende Wissenssammlung sowie die Planung und Strukturierung

einer neuen Ontologie genutzt werden; b) verschiedene Visualisierungsmodi sollen bei der Übermittlung vorhandener Strukturen an neue Community-Mitglieder helfen; c) langfristig werden Änderungen verfolgt, Versionen mitgespeichert und Autorenschaften gesichert.

5 Verwandte Arbeiten

Zur Erstellung und Erweiterung von Ontologien wurden bisher verschiedene, formalisierte Prozessabläufe vorgeschlagen. Die Verfahren nach (Gomez-Perez et al. 2004), (Corcho et al. 2003), (Holsapple & Joshi 2002) oder (Uschold & King 1995) widmen sich verstärkt der Zusammenarbeit von Experten eines Wissensgebietes der Ontologie, jedoch ohne Vorschläge zur kollaborativen Unterstützung der Experten zu liefern. Fernandez Lopez (2001) bietet einen Überblick über veröffentlichte Methoden zur Entwicklung von Ontologien und analysiert diese im Hinblick auf die Entwicklung eines Standards.

In (Gangemi et al. 1999) wird das Problem der Ontologieerstellung in erster Linie als Relevanz- und Eingrenzungsproblem beschrieben. Das Ziel der Vorgehensweise Gangemis besteht in einer Ontologie, die keine überflüssigen Teile beinhaltet und daher nur dort begriffliche Unterscheidungen trifft, wo es notwendig ist. Nach Gangemi et al. (1999) müssen die einzelnen Mechanismen, die zu einer Einführung von Begriffen in den bereits existierenden Ontologien geführt haben, einer Prüfung und Integration unterzogen werden. Die Fachgebietsexperten werden insofern beteiligt, als dass sie die Plausibilität der Modellierung überprüfen. Eine Kooperation im engeren Sinne findet nicht statt.

An der Ontologieerstellung nach Methontology (Gomez-Perez et al. 2004) sind sowohl Experten der Wissensrepräsentation als auch Fachexperten des Wissensgebietes der Ontologie beteiligt. Die Aufgabentrennung ist sehr deutlich, denn das Festhalten der Ergebnisse obliegt allein den Experten der Wissensrepräsentation. Die Methontology-Methode stellt stark auf eine strikte Formalisierung und den intensiven Einsatz mehrerer Ontologieexperten ab. Dieses Verfahren ist bei größeren Projekten zu langsam und zu teuer, da die Kritik der Fachgebietsexperten erst sehr spät wieder in die Interaktion miteinbezogen wird.

Die beispielhaft genannten Methodologien zur Ontologieerstellung berücksichtigen nicht den Aspekt einer gemeinsamen Erstellung von Ontologien im größeren Personenkreis, wie es im Ontoverse-Vorhaben im Umfeld des kooperativen und verteilten Arbeitens für eine Wiki-Plattform der Fall ist. Es sind jedoch erste Bestrebungen erkennbar, welche den gemeinschaftlichen Aufbau von Ontologien auf unterschiedliche Weise berücksichtigen wollen, darunter vor allem Wiki@nt (Bao & Honavar, 2004), OntoWiki (Hepp et al., 2005), Collaborative Protégé², Knoodle³ und Soboleo/Mature (Braun et al. 2007).

² Collaborative Protégé: <http://protege.stanford.edu/doc/collab-protege/>

³ Knoodle: <http://knoodl.com/ui/home.html>

6 Bewertung und Ausblick

Das Vorhaben Ontoverse leistet mit seiner Orientierung auf die Anwendungsdomäne Life Sciences einen Beitrag zum BMBF-Förderschwerpunkt *eScience und vernetztes Wissensmanagement*. Auf der Basis eines semantischen Wikis für wissenschaftliches, kooperatives Arbeiten entstehen Applikationen, die den Umgang mit Informationen in skalierbaren, virtuellen fachwissenschaftlichen Netzwerken effektiver, transparenter und sicherer gestalten. Ontoverse soll durch den innovativen erstmaligen Einsatz eines technischen Anreizsystems für ein vertrauenswürdiges Kooperationsmodell die Basis schaffen, sowohl geistiges Eigentum zu schützen als auch sicherzustellen, dass das eingegebene Wissen autorisiert ist.

Die Ontoverse-Plattform wurde im Rahmen von formativen Evaluationen von einer Studierenden-Gruppe aus der Bioinformatik in Düsseldorf evaluiert. Die Ergebnisse der Evaluierung wurden in einem Wiki dokumentiert. Es ergaben sich zahlreiche Verbesserungsvorschläge, die sich mehrheitlich auf die Menügestaltung und die Dialogführung bezogen. Diese Anmerkungen werden im Rahmen der Weiterentwicklung der Plattform berücksichtigt. Zusätzlich ist zum Ende des Projektes eine summative Evaluation in Form von Usability Tests geplant. Von besonderem Interesse für die Weiterentwicklung von Ontoverse sind Projekte zu Softwareagenten für Automatisierung von Recherchevorhaben. Im Verbund mit Web Services können Softwareagenten autonom komplexe Aufgaben erfüllen, die heute noch einen hohen Kosteneinsatz erfordern. Die während des Projektes entwickelten Softwaretechnologien im Bereich der Cyber-Security werden die Entwicklung sicherer Infrastrukturen für den Einsatz von Softwareagenten vorantreiben.

Um die Anwender zu motivieren, Beiträge in das Ontoverse-System einzustellen, werden zwei Strategien verfolgt. Die erste basiert darauf, dass Einzelwissenschaftler und Institutionen, die viele Beiträge hinzufügen, mehr Funktionen im System nutzen dürfen. Der zweite Anreiz hängt unmittelbar mit der Innovationsgeschwindigkeit zusammen: Die Ontoverse-Plattform ermöglicht es den Autoren, ihre Beiträge justiziabel als ihr geistiges Eigentum zu kennzeichnen. Ein Zeitstempel und die digitale Unterschrift sichern die Rechte an der Innovation schon vor einer oft langwierigen Zeitschriften- oder Konferenzpublikation. Mit Hilfe dieser Signatur und der Zeitstempelfunktion lassen sich dann die Rechte an den Beiträgen klar dem jeweiligen Autor zuordnen und in Bezug auf dessen Reputation anrechnen.

Literaturverzeichnis

- Bao, J. & Honavar, V. (2004). Collaborative Ontology Building with Wiki@nt: A Multi-agent Based Ontology Building Environment. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Evaluation of Ontology-based Tools (EON)*, Hiroshima 2004.
- Bodenreider, O. & Stevnes, R. (2006). Bio-Ontologies: Current Trends and Future Directions. *Briefings in Bioinformatics*, 7(3), S. 256-274.
- Braun, S., Schmidt, A., Walter, A. & Zacharias, V. (2007). The Ontology Maturing Approach to Collaborative and Work-Integrated Ontology Development: Evaluation Results and Future Directions *International Workshop on Emergent Semantics and Ontology Evolution, 6th International Semantic Web Conference (ISWC 2007)*, Busan, Korea, Nov. 11-15 2007.

- Corcho, O., Fernández, M. & Gómez-Pérez, A. (2003). Methodologies, tools and languages for building ontologies: where is their meeting point? In: *Data Knowledge Engineering* 46, Nr. 1, S. 41–64.
- El Jerroudi, Z. & Ziegler, J. (2007). Interaktives Vergleichen und Zusammenführen von Ontologien In: *i-com Zeitschrift für interaktive und kooperative Medien* 6, Nr. 3, S.44-49.
- Erman, L. D., Hayes-Roth, F., Lesser, V. R. & Reddy, D. R. (1980). The Hearsay-II Speech-understanding System: Integrating Knowledge to Resolve Uncertainty. *ACM Comput. Surv.*, 12(2), S.213-253.
- Fernández López, M. (2001). Overview of methodologies for building ontologies. In: *Proceedings of the IJCAI-99 Workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods (KRR5)*.
- Gangemi, A., Pisanelli, D. & Steve. G. (1999). An overview of the ONIONS project: Applying ontologies to the integration of medical terminologies. *Elseviers Journal on Data and Knowledge Engineering* 31, Nr. 2, S. 183-220.
- Gelernter, D. (1985). Generative Communication in Linda. *ACM Transactions on Programming Languages and Systems* 7(1), S. 80-112.
- Gómez-Pérez A., Fernández-López, M. & Corcho O. (2004). *Ontological Engineering*. Berlin: Springer, 2004.
- Holsapple, C. W. & Joshi, K. D. (2002). A collaborative approach to ontology design. In: *Communications of the ACM* 45, Nr. 2, S. 42–47.
- Hepp, M., Bachlehner, D. & Siorpaes, K. (2005). OntoWiki. Community-driven Ontology Engineering and Ontology Usage Based on Wikis. *Proceedings of the 2005 International Symposium on Wikis* New York: ACM Press, S.143-144.
- Mainz, I. (2006). *Entwicklung einer Prototypontologie für bioinformatische Werkzeuge*. Bachelorarbeit an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Oktober 2006.
- Mainz, I., Weller, K., Paulsen, I., Mainz, D., Kohl, J. & von Haeseler, A. (2008). Ontoverse. Collaborative Ontology Engineering for the Life Sciences. *Information Wissenschaft & Praxis*, (2), S. 91-99.
- Malzahn, N., Weinbrenner, S., Hüsken, P., Ziegler, J. & Hoppe, H. U. (2007). Collaborative Ontology Development: Distributed Architecture and Visualization. *Proceedings of the German eScience Conference 2007 (GES)*. Max Planck Digital Library.
- Paulsen, I., Mainz, D., Weller, K., Mainz, I., Kohl, J. & von Haeseler, A. (2007). Ontoverse. Collaborative Knowledge Management in the Life Science Network. *Proceedings of the German eScience Conference 2007 (GES)*, Max Planck Digital Library, ID 316588.0.
- Uschold, M. & King, M.(1995). Towards a Methodology for Building Ontologies. In: *Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*, held in conjunction with IJCAI-95.
- Weinbrenner, S., Giemza, A. & Hoppe, H.U. (2007). Engineering Heterogeneous Distributed Learning Environments Using Tuple Spaces as an Architectural Platform. *The 7th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies ICALT 2007* S. 434-436. Los Alamitos, CA.
- Ziegler, J., Kunz, C. & Botsch, V. (2002). Matrix Browser -Visualisierung und Exploration vernetzter Informationsräume. In: Herczeg, M. & Oberquelle H. (Hrsg.). *Mensch & Computer 2002: Vom interaktiven Werkzeug zu kooperativen Arbeits- und Lernwelten*. Hamburg: Teubner.