

# Generalisierter Informationszugriff zu verteilten Datenquellen im D-Grid

René Jäkel, Denis Hünich und Marcus Hilbrich

Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen, Technische Universität Dresden

Milad Jason Daivandy und Bernd Schuller

Jülich Supercomputing Centre, Forschungszentrum Jülich GmbH

Patrick Harms

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek, Georg-August-Universität Göttingen

## Kurzfassung

Durch verschiedene technische Standards und unterschiedliche projektspezifische Ansätze der D-Grid Communitys lassen sich auf der jetzigen Grundlage fachübergreifende und kollaborative Arbeiten nur schwer, bzw. nur mit hohem technischen und personellen Aufwand realisieren. Das Serviceprojekt WisNetGrid aus dem D-Grid Verbund realisiert einen generellen Ansatz zur Adressierung verschiedenster Datenquellen. Dieser Beitrag fasst im Folgenden den technischen Ansatz zur Integration unterschiedlicher Datenquellen zusammen und gibt einen kurzen Ausblick über weiterführende WisNetGrid-Dienste, die auf dem hier beschriebenen Datenmanagement beruhen.

## 1 Einleitung

Der Fokus im Grid-Computing liegt auf dem direkten Zugriff auf verteilte Ressourcen und unterscheidet dabei nicht, ob darunter direkte Rechenkapazität, die Nutzung von Software oder die Speicherung von Daten zu verstehen ist [1]. Der Zugriff auf diesen verteilten Ressourcen wird im Allgemeinen über sogenannte Middleware-Lösungen wie z.B. UNICORE, dCache oder das Globus Toolkit, realisiert. Die Wahl einer speziellen Middleware-Lösung wird in der Regel durch die jeweilige Nutzergruppe aufgrund der spezifischen Anforderungen vorgenommen. Darüber hinaus werden verschiedene Dienste, wie die Kontrolle von Rechenjobs oder die Nutzerauthorisierung, von der Middleware bereitgestellt.

Im D-Grid Verbund [2] gibt es eine Vielzahl von Projekten mit sehr verschiedener programmatischer Ausrichtung. Projekte aus der Grundlagenforschung haben dabei die längste Historie und werden weiterhin erfolgreich eingesetzt, sind aber thematisch auf ein bestimmtes Forschungsgebiet festgelegt. Oft werden hier spezielle Eigenentwicklungen eingesetzt, wie beispielsweise Anwendungsprogramme für modellspezifische Simulationsrechnungen oder Analyseprogramme auf riesigen Datenmengen. Eine Übertragung des technischen Ansatzes auf eine grundlegend andere Fragestellung ist oftmals nicht im Fokus dieser Projekte. Auch die Portierung auf später entwickelte generell einsetzbare technische Verfahren wird meist nicht durchgeführt, da verfügbare Ressourcen eher für den Weiterbetrieb aufgewendet werden.

Einen stärkeren Anwendungsbezug mit allgemeinerer Ausrichtung haben Projekte aus dem kommerziellen Sektor im D-Grid Verbund, die spezifische Lösungen aus dem Industrie- und Dienstleistungssektor mit Methoden aus dem Grid-Umfeld anbieten. Sowohl forschungsorientierte, als auch kommerzielle Projekte beschränken sich bisher

auf Angebote für einen fest definierten, potenziellen Nutzerkreis. Darüber hinaus gibt es einige Serviceprojekte der D-Grid Initiative, die aber vornehmlich auf Teilaspekte fokussiert bleiben. So werden Fragen der Autorisierung von Nutzern, der allgemeine Zugang zur Grid-Infrastruktur oder die Bereitstellung spezieller Mehrwertdienste (wie beispielsweise SLA's<sup>1</sup>) für eine breitere Anwenderschicht behandelt.

Das Projekt WisNetGrid<sup>2</sup> [3] verfolgt einen anderen Ansatz. Im Vordergrund steht die Adressierung verschiedenster, breit genutzter Speichersysteme als Grundlage zum Aufbau einer Informationsinfrastruktur zur Nutzung von Diensten zur Wissensgenerierung oder zur semantischen Workflowmodellierung. Bei der Datenanbindung werden sowohl breit genutzte Middleware-Lösungen berücksichtigt, aber auch allgemeine Speicherverfahren, wie Datenbanksysteme oder frei im Internet verfügbare Quellen. Dies soll es etablierten Nutzergruppen u.a. im D-Grid erleichtern ihre öffentlichen Datenbestände einer breiteren Nutzung zugänglich zu machen. Darüber hinaus wird dadurch ein Beitrag zur integrativen Arbeit vorhandener Nutzergruppen im D-Grid, bzw. der erleichterte Einstieg von neuen Gruppen zur Nutzung etablierter Werkzeuge im Gridumfeld, geschaffen.

Der folgende Abschnitt (Kapitel 2) stellt Ansätze zur Adressierung verschiedener Datenquellen für unterschiedliche Nutzergruppen vor und diskutiert diese im Kontext zu dem hier vorgestellten Informationszugriff (Kapitel 3). In Kapitel 4 werden WisNetGrid-Dienste, die auf dem hier vorgestellten Informationszugriff beruhen, kurz vorgestellt. Kapitel 5 illustriert an Hand eines kurzen grundlegenden Szenarios die Nutzbarkeit des Systems und Kapitel 6 gibt neben einer Zusammenfassung einen kurzen

<sup>1</sup>SLA - *Service Level Agreements*

<sup>2</sup>gefördert im Rahmen des D-Grid durch das BMBF

Überblick auf aktuelle Aktivitäten in der Zusammenarbeit mit aktiven Nutzergruppen.

## 2 Verwandte Arbeiten

Es gibt eine große Zahl an Projekten und Initiativen im Grid-Computing auf nationaler, als auch internationaler Ebene. Als einige der größten Initiativen sind das *Open Science Grid* oder die Gridförderung im Rahmen der Europäischen Union (EGEE<sup>3</sup>) zu nennen. Auf nationaler Ebene gibt es parallel ebenfalls Bestrebungen zur Etablierung einer festen Forschungsinfrastruktur und neben dem D-Grid seinen hier exemplarisch das NorduGrid oder der britische *National Grid Service* genannt.

In den letzten Jahren gibt es zunehmend Bemühungen neben der überwiegenden Nutzung in der Forschung auch eine Infrastruktur zur Beteiligung von kommerziellen Partnern zu etablieren. Im Rahmen des D-Grid gibt es eine Reihe aktiver Projekte mit kommerzieller Beteiligung [2].

Innerhalb des D-Grid wird im Rahmen der DGI-2 Initiative [4] die Bereitstellung von Ressourcen an Nutzer des Grid koordiniert. Dabei werden Richtlinien sowohl für die Bereitstellung neuer Ressourcen, als auch für deren nachhaltigen Betrieb aufgestellt. Weiterhin werden Nutzergruppen in Virtuellen Organisationen (VO) zusammengefasst, um dadurch einer definierten Nutzergruppe von Seiten der Betreiber Rechenressourcen zur Verfügung zu stellen. Auf dieser Grundlage werden Mechanismen angeboten die es erlauben, verschiedenen VOs die gemeinsame Nutzung ihrer Ressourcen zu ermöglichen, und stellen somit einen ersten Ansatz zur kollaborativen Arbeit dar. Dieser bleibt aber beschränkt auf die vorhandenen Strukturen der jeweiligen Nutzergruppen. Eine Analyse dreier Middlewares, die u.a. in D-Grid Projekten Verwendung finden, und eine Analyse der technische Unterschiede beim Einsatz durch unterschiedliche Nutzergruppen ist in [5] zu finden.

Ein weiterer Ansatz zur Vereinheitlichung verschiedener technischer Middleware-Lösungen wird im Rahmen des europäischen Projekts EMI [6] realisiert. Hierbei werden einige weit verbreitete Middlewares innerhalb eines einheitlichen Standards zusammengeführt. Dies soll die in den letzten Jahren erfolge teilweise Parallelentwicklung der verschiedenen Middlewares in den Bereichen der Datenverwaltung und der Serviceanbindung wieder auf einen gemeinsamen Standard zusammenführen.

All diese Ansätze zur Gridnutzung beruhen auf der Verwendung einer im Projekt genutzten oder weiterentwickelten speziellen Middleware, bzw. versucht im Rahmen des jeweiligen Projektansatzes einige ausgewählte Lösungen zu vereinheitlichen (wie im EMI-Ansatz). WisNetGrid bietet hingegen einen Ansatz zur Anbindung von Datenquellen über spezielle Adapter mit überschaubarem Aufwand. Dieser generische Ansatz erlaubt die Einbindung sehr verschiedener technischer Ansätze und soll im folgenden Abschnitt näher dargestellt werden.

<sup>3</sup>Enabling Grids vor E-science, zur Schaffung einer europäischen Grid-basierten Forschungsinfrastruktur

## 3 Generalisierter Informationszugriff

### 3.1 Nutzerinteraktion

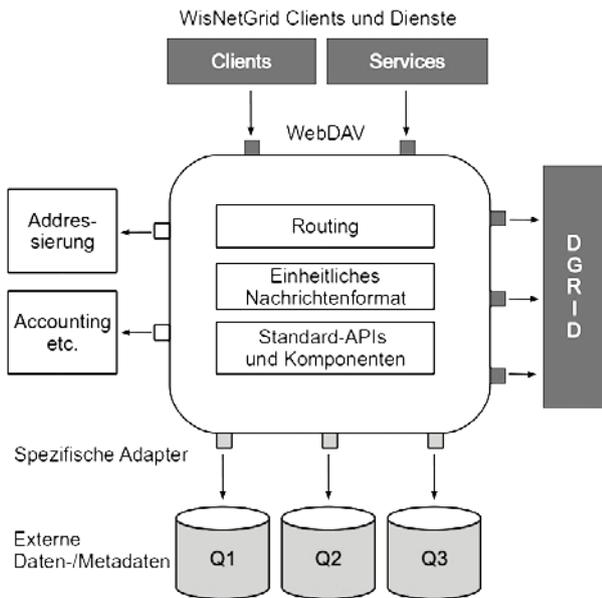
WisNetGrid bietet u.a. ein Portal zur Nutzerinteraktion an, welches als Startpunkt zur Verwaltung der Nutzerdaten und zur Verwendung verschiedener WisNetGrid-Dienste dient. Hierbei sind unter Nutzerdaten auch die Zugangsdaten der Nutzer zu den verschiedenen Datenquellen zu verstehen, zu denen über den Zentralserver Verbindungen bereitgestellt werden sollen. Wie im letzten Abschnitt angedeutet, kann nur zu solchen Datenquellen eine Verbindung hergestellt werden, auf deren Seite auch ein Adapter realisiert ist. Dieser ist notwendig, um die Nutzeranfrage automatisch weiterleiten und an die Infrastruktur anzupassen zu können, wobei die Kommunikation zwischen den authentifizierten Partnern verschlüsselt erfolgt. Das Portal verfügt über einen Ressourcen-Browser, der dem Nutzer alle zugänglichen Quellen auflistet. Darüber hinaus lässt sich einfach in den Quellen analog zu Dateisystemen navigieren und es lassen sich Informationen zu den gespeicherten Dateien entnehmen.

Die Adressierung der Quellen erfolgt über eindeutige URI's im WisNetGrid-Namensraum mittels einer allgemeinen WebDAV-Schnittstelle [9]. Damit sich der Benutzer nicht bei jeder Datenquelle manuell anmelden muss, wird ein Single-Sign-on Prinzip (SSO) angewendet, um nach erfolgter Nutzerauthentisierung Zugang zu allen dem Nutzer offen stehenden Quellen zu erlauben. Der Datenzugriff kann dadurch, je nach genutztem WisNetGrid-Dienst, für die Dauer der Nutzersitzung unterbrechungsfrei auf den angebundenen Datenquellen erfolgen.

Es ist auch möglich, die Datenquellen direkt über die WebDAV-Schnittstelle zu erreichen ohne das Portal, bzw. den Ressourcen-Browser, zu benutzen. Der Nutzer kann direkt in einem von ihm bevorzugten WebDAV-fähigen Klienten auf den Datenquellen navigieren oder den Datenzugriff mittels dieser standardisierten Schnittstelle in eigenen Projekten integrieren.

### 3.2 Integration verschiedener Speichersysteme

Verschiedene organisatorische und technische Herangehensweisen der Nutzergruppen im D-Grid resultieren in einer Vielzahl von genutzten Daten- und Metadatenverwaltungssystemen. Dies können Datenbanken, Dateisysteme, frei über das Internet zugängliche Quellen oder typische Grid-Middlewares sein. Bei letzterem sind hierbei unter anderem die Middlewares mit angebundener Speichermöglichkeit UNICORE [7] und iRODS [8] zu nennen. Weiterhin gibt es unterschiedliche Ansätze und Zielstellungen in der Ablage und Verwaltung projektspezifischer Daten. Der Zugriff auf die Daten von mehreren Nutzergruppen kann somit sehr mühselig sein, da die Datenquellen unterschiedliche Autorisierungsmechanismen aufweisen können (z.B. Zertifikate oder Benutzername/Passwort) oder die Daten/Metadaten verschieden



**Bild 1.** Bus-Struktur als zentrale Schnittstelle verschiedener WisNetGrid-Komponenten des Informationszugriffs

organisiert sind (z.B. als Dateien oder Datenbankeinträge).

Um einen allgemeinen Dienst, z.B. die Formulierung einer Suchanfrage auf den Daten, anbieten zu können, ist es notwendig einen einheitlichen Zugriff zu gewährleisten, um nicht mehrere spezifische Dienste auf verschiedenen Quellen entwickeln bzw. pflegen zu müssen. Diese Dienste sind auch bei der Einbindung neuer Datenquellen ohne Probleme weiter nutzbar.

Der Informationszugriff von WisNetGrid realisiert die Anbindung von Datenquellen des D-Grid. Diese werden über einen auf sie angepassten Adapter in die WisNetGrid-Umgebung eingebunden (siehe Bild 1).

Die Daten/Metadaten der eingebundenen Datenquellen werden über den Informationszugriff mittels URIs dargestellt und angesprochen. Der Informationszugriff vermittelt, über den dafür bereitgestellten Adapter, zwischen der Datenquelle und der angefragten URI und stellt diverse Funktionalitäten bereit (z.B. das Lesen, Erzeugen oder Löschen von Daten/Metadaten). Damit der Nutzer nicht nur mit WisNetGrid-Diensten auf die angebotenen Daten zugreifen kann, sind die Funktionalitäten an das WebDAV-Protokoll gebunden. Damit lassen sich die Daten über einen Browser lesen und über WebDAV-fähige Klienten manipulieren.

Weiterhin übernimmt der Informationszugriff die Autorisierung der Nutzer an den einzelnen Datenquellen. Dazu werden die Daten des Nutzers an dem SSO-System (siehe 3.3) angefragt und die Autorisierung mittels der erhaltenen Daten an der Datenquelle vorgenommen.

Der so realisierte Informationszugriff vermittelt zwischen den Datenquellen und der WisNetGrid-Umgebung und stellt über das WebDAV-Protokoll Methoden zum Lesen und Modifizieren von Daten/Metadaten bereit. Der Informationszugriff ist im Zusammenhang mit dem SSO-System (siehe 3.3) als Middleware zu sehen.

### 3.3 Session-Management

Das Single Sign-on (SSO) Konzept ermöglicht es einem Nutzer, sich nur einmal authentisieren zu müssen, um auf alle Datenquellen und Dienste zuzugreifen. Weiterhin lassen sich pro Benutzer über extern zugängliche Schnittstellen Autorisierungstoken für die Datenquellen, sog. Credentials, hinterlegen. Ist ein Nutzer authentisiert, wird ihm eine eindeutige Sitzung zugewiesen, in deren Gültigkeitsdauer er auf alle ihm offenstehenden Datenquellen zugreifen darf. Die Realisierung erfolgt mittels vier Komponenten, wie in Bild 2 dargestellt):

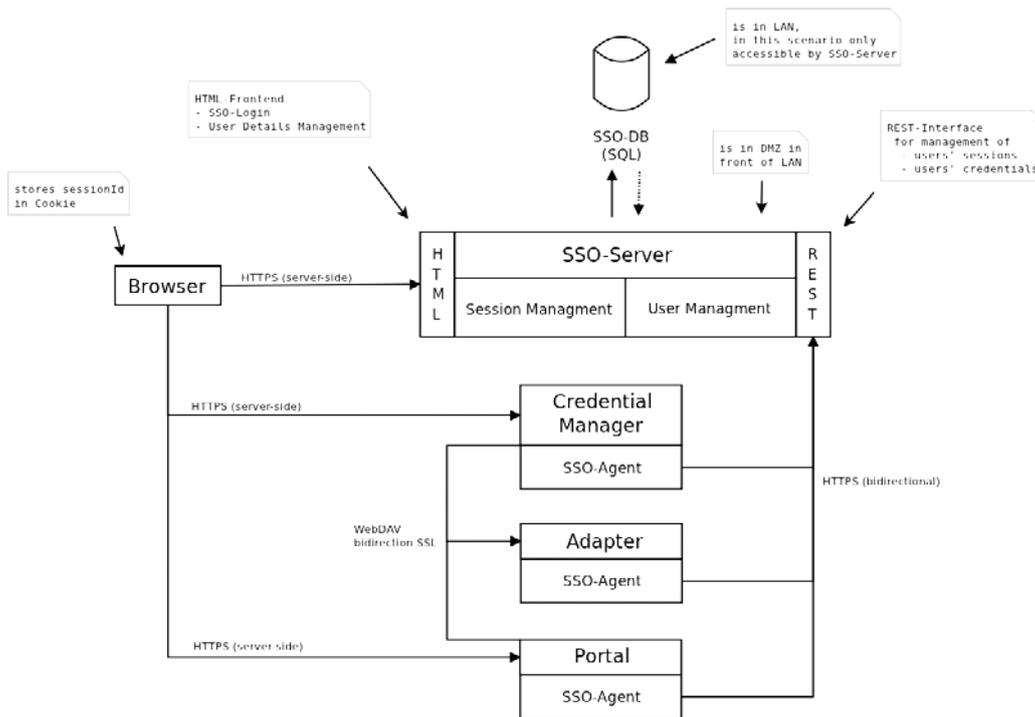
- SSO-Server: Der Server dient der Benutzerauthentisierung und stellt über ein REST-Interface (vgl. [11]) anderen Teilen des WisNetGrid-Systems Interaktionsmöglichkeiten (Verwaltung von Authentisierungszustand und Credentials) bereit. Ferner können sich Benutzer über ein HTML-Interface nach einmaliger Registrierung authentisieren und ihre Nutzerdaten (Benutzername, Passwort, Benutzerdetails) verwalten.
- SSO-Datenbank: Erlaubt die Persistierung von Nutzerdaten, Credentials und Sitzungen.
- Credential Manager: Stellt eine HTML-Benutzerschnittstelle zur Verwaltung von Credentials zur Verfügung und wird vom authentisierten Benutzer verwendet, um für die verfügbaren Datenquellen Credentials zu hinterlegen.
- SSO-Agent: Stellt eine Bibliothek bereit, die von anderen Komponenten des WisNetGrid-Systems (zentraler Server, Portal, Credential Manager) zwecks Anbindung an, bzw. zur Interaktion mit dem SSO-Server verwendet wird.

## 4 Nutzung weiterer WisNetGrid-Dienste

Die Anbindung unterschiedlicher Speichersysteme erlaubt die Nutzung von verteilten Datenbeständen in einem globalen Namensraum. Dadurch erhält der Nutzer die Möglichkeit verschiedene durch WisNetGrid bereitgestellte Dienste auf für ihn zugängliche Daten anzuwenden. Die wichtigsten Dienste von WisNetGrid, die auf dem vorgestellten Informationszugriff basieren, seien an dieser Stelle der Vollständigkeit halber aufgeführt. Weiterführende Informationen sind unter [3] zu finden.

In WisNetGrid werden verschiedene Verfahren zur Informationssuche in verteilten Ressourcen entwickelt. Neben einer einfachen Schlüsselwortsuche kann die Suchanfrage unter Einbeziehung vorhandener Metadaten verfeinert werden. Weiterhin ist es möglich in Wissensinhalten auf Basis von Ontologien zu suchen. Die Verwaltung und Generierung von Wissensinhalten ist eine weitere wichtige Komponente von WisNetGrid. Auf den Communitydaten kann direkt vom zugangsberechtigten Nutzer nach neuen Wissensinhalten gesucht und diese mit bereits bestehenden abgeglichen werden.

Eine weitere wichtige WisNetGrid-Komponente ist das Dienstverzeichnis. In diesem können alle relevanten D-



**Bild 2.** Veranschaulichung des Single Sign-on Konzepts und die Interaktion der einzelnen Komponenten

Grid Dienste von den beteiligten Communitys veröffentlicht werden. Das Dienstverzeichnis nutzt eine semantische Beschreibungssprache für Dienste und erlaubt darauf aufbauend eine Suche nach für den Nutzer relevanten Diensten. Weiterhin wird darauf aufbauend eine Komponente zur Workflow-Modellierung [10] entwickelt. Alle WisNetGrid Nutzerdienste beruhen auf dem Informationszugriff auf heterogene und verteilte Daten im Grid-Umfeld, welcher einen grundlegenden Baustein zur Umsetzung der Projektziele darstellt.

## 5 Nutzungsszenario

Auf Basis des in Kapitel 3 vorgestellten Informationszugriff sind unterschiedliche Szenarien zur Nutzung des WisNetGrid-Systems denkbar. Ein grundlegendes Szenario zur Nutzung verteilter Datenquellen soll im Folgenden diskutiert werden.

Ein WisNetGrid-Nutzer kann sich über das Portal für den Zugriff auf verteilte Ressourcen registrieren. Dabei werden die benötigten Credentials verschlüsselt im System abgelegt und automatisch im Auftrag des Nutzers an die gewünschte Ressource weitergeleitet. Auf diese Art und Weise ist es möglich verschiedene Zugangsmechanismen gleichartig zu behandeln, sei es die Weitergabe eines Zertifikats oder die Anmeldung mittels Benutzername und Passwort. Durch die Anbindung der Datenquellen mittels angepasster Adapter erfolgt die Nutzerauthentifizierung automatisch und bleibt wenn nötig während der gesamten Sitzung bestehen und wird durch das Session-Management sichergestellt.

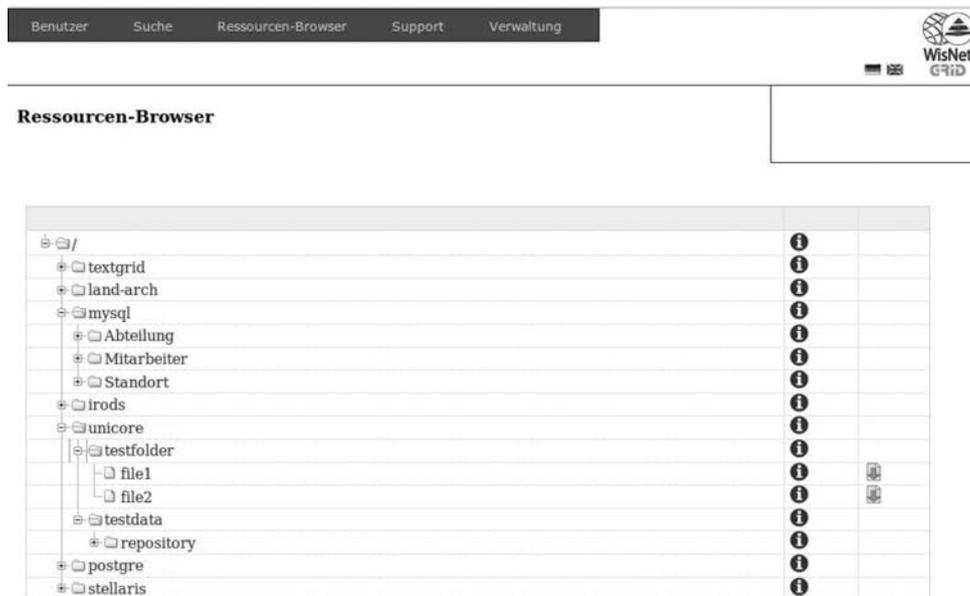
Der Nutzer kann über die WebDAV-Schnittstelle in den angebotenen Ressourcen navigieren und sich Informationen zu den einzelnen Ressourcen und den darin ent-

haltenen Datensätzen anzeigen lassen. Abbildung 3 zeigt den im Portal integrierten Ressourcenbrowser. Weiterhin erlaubt diese Art des Zugriffs, neben dem Stöbern in den Datenquellen, auch das Herunterladen von Dateien.

Die Ressourcenanzeige kann auch verwendet werden, um einen Satz von Dokumenten für WisNetGrid-Dienste der Wissens Ebene auszuwählen (siehe Abschnitt 4 und [3]). Diese werden dann beispielsweise durch die Wissensextraktion verarbeitet und nach Nutzervorgaben neue Wisseninhalte gewonnen, die dann in die durch WisNetGrid-Werkzeuge verwaltete Wissensbasis hinzugefügt werden.

Das Portal bietet neben der Navigation auch die Suche in den zugänglichen Datenquellen an. Neben einer einfachen Schlüsselwortsuche lässt sich die Suchanfrage durch die Spezifizierung von Metadaten zu den Datensätzen verfeinern. Dadurch lassen sich auch weitere Ressourcen mit relevanten Datensätzen durch den Nutzer finden. Hierbei kommt der Vorteil der Datenanbindung für den Nutzer zum Tragen, da automatisch die Suche in allen dem Benutzer zugänglichen Datenquellen erfolgt, unabhängig in welchem Speichersystem die Ablage der Daten erfolgte, also unabhängig von der verwendeten Middleware, der Datenbank oder der Speicherung im Filesystem.

Die Selektion der Daten kann auch anderen Diensten im Grid zur Verfügung gestellt werden. In WisNetGrid wird ein Dienstverzeichnis entwickelt, das auch die Registrierung von Grid-Diensten erlaubt. Zur Charakterisierung der Dienste wird eine semantische Dienstbeschreibungssprache verwendet [12], die über die Angabe von Dienstmetadaten auch die Spezifikation der Input- und Outputkanäle erlaubt. Dadurch wird für den Nutzer transparent welche Dienste für eine Aufgabe relevant sind, sondern welche Kommunikation der dem Dienst zugeordnete Pro-



**Bild 3.** Die Anzeige des Ressourcenbrowsers innerhalb des Portals auf alle angeschlossenen Ressourcen, für die der Benutzer Zugriffsrechte besitzt.

zess besitzt [10]. So wird beispielsweise auch ersichtlich, welche Datentransformation unter Umständen auf Basis der vorhanden Nutzerdaten noch notwendig ist, um einen gewünschten weiterführenden Dienst nutzen zu können.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird der Informationszugriff auf verteilte Datenquellen und dessen Umsetzung in der WisNetGrid-Infrastruktur dargestellt. Dieser Ansatz beinhaltet auch die Möglichkeit der Anbindung verschiedener Middlewares und kann die Kooperation zwischen Grid-Organisationen verstärken. Verwenden VOs unterschiedliche Middlewares und Speichertechnologien, sei es aus historischen Gegebenheiten oder technischer Notwendigkeit, ist eine Kooperation innerhalb der bestehenden Strukturen nur durch deren Veränderung oder Erweiterung möglich. Ist zur gemeinsamen Nutzung der Daten eine Konvertierung notwendig, um sie einem weiteren Projektpartner zur Verfügung zu stellen, sind diese ggf. von späteren Veränderungen ausgeschlossen. Oft ist eine Umstellung innerhalb eines Projektes auf ein anderes Speichersystem teils technisch, oder aufgrund des erheblichen personellen und finanziellen Aufwandes nicht zu leisten. Der Einsatz von WisNetGrid ermöglicht Nutzergruppen aus dem Grid-Umfeld ihre bewährte Speicher-Strategie beizubehalten und trotzdem ihre Daten zu vernetzen. Dies wird mittels einer vereinheitlichten Sicht auf die Daten ermöglicht, wie in Kapitel 3 eingeführt. Die Primärdaten werden weiterhin von der entsprechenden Nutzergemeinschaften verwaltet und gepflegt, wobei Änderungen oder Erweiterungen direkt in der vereinheitlichten Sicht von WisNetGrid verfügbar werden.

Durch den Anschluss an WisNetGrid ist es auch möglich die Sichtbarkeit bereits gewonnener Daten (Beispiels-

weise aus erfolgreich beendeten Projekten) zu erhöhen. Dadurch kann die weitere Nutzung von Forschungsergebnissen erleichtert werden, bzw als Bereicherung für andere Nutzergruppen dienen.

Ein weiterer Vorteil dieses Ansatzes, der auch nicht klassische Grid-Ressourcen berücksichtigt, ist es Wissen in Form von Daten, oder Dienste die nicht Bestandteil des Grid sind, mit vorhandener Grid-Infrastruktur zu verzahnen. Dies ermöglicht die Nutzung freier Daten, oder Ansätze des *Semantic Web* auch für die Gridnutzung zu erschließen. So wird auch die Nachhaltigkeit der bestehenden Grid-Infrastruktur gestärkt.

Aktuell laufen Zusammenarbeiten mit mehreren D-Grid Communities und anderen Nutzergruppen, die nicht dem D-Grid Umfeld zuzuordnen sind, zum Einsatz von WisNetGrid-Diensten in unterschiedlichen Projekten. Darunter sind exemplarisch die D-Grid Communitys InterLogGrid [13] und ValueGrids [14] zum Einsatz des allgemeinen Dienstverzeichnisses und TextGrid [15] zum Einsatz von bereitgestellten Methoden der Wissensextraktion und Verwaltung zu nennen. Darüber hinaus besteht auch Interesse an WisNetGrid-Diensten von Nutzergruppen aus den Geisteswissenschaften oder mit informationstechnischem Hintergrund. Dabei kann WisNetGrid auch einen Beitrag zum Heranführen von neuen Nutzergruppen an Methoden des Grid-Computing leisten.

## Literatur

- [1] I. Foster, C. Kesselman; "The Grid: Blueprint for a new computing infrastructure", 2004, 2.Auflage, Morgan Kaufmann, Technischer Report
- [2] D-Grid-Initiative: <http://www.d-grid.de/>
- [3] WisNetGrid: Wissensnetzwerke im Grid; [www.wisnetgrid.org](http://www.wisnetgrid.org)

- [4] D-Grid Integrationsprojekt: <http://dgi-2.d-grid.de/index.php>
- [5] S. Plantikow, K. Peter, M. Hogqvist, C. Grimme, A. Paspaspyrou; "Generalizing the data management of three community grids", *Future Generation Computer Systems*, 25 Vol. 3, 2009, 281 - 289
- [6] European Middleware Initiative: <http://www.eu-emi.eu/middleware>
- [7] T. Schlauch, A. Eifer, T. Soddemann, A. Schreiber: A Data Management System for UNICORE 6, *Proceedings of 5th UNICORE Summit 2009 in conjunction with EuroPar 2009*, Delft, The Netherlands, pages 353-362
- [8] Rajasekar, A., Moore, R., Hou, C.Y., Lee, C.A., Marciano, R., de Torcy, A., Wan, M., Schroeder, W., Chen, S.Y., Gilbert, L., Tooby, P., Zhu, B.: *iRODS Primer: integrated Rule-Oriented Data System*, Morgan & Claypool (2010) isbn: 1608453332
- [9] WebDAV-Spezifikationen (RFC4918); HTTP Extensions for Web Distributed Authoring and Versioning (WebDAV); <http://webdav.org/specs/rfc4918.html>
- [10] S. Agarwal, M. Junghans, R. Jäkel; *Semantic Modeling of Services and Workflows for German Grid Projects*; Beitrag zum "Grid Workflow Workshop 2011", Köln 2011
- [11] REST-Architekturstil; Representational State Transfer (REST); Dissertation, [http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest\\_arch\\_style.htm](http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest_arch_style.htm)
- [12] WisNetGrid, "Semantische Dienstbeschreibungssprache für Web-Dienste", Juni 2010, [www.wisnetgrid.org](http://www.wisnetgrid.org)
- [13] InterLogGrid: Intermodale Logistik und IT-Services, <http://www.interloggrid.org/tiki-index.php>
- [14] ValueGrids, <http://www.valuegrids.de/>
- [15] TextGrid: Vernetzte Forschungsumgebung in den eHumanities, <http://www.textgrid.de/>