

# Theatrum Machinarum Generale – Schauplatz der digitalen Wissensorganisation, Archivierung und Erschließung

Jonas Schulte<sup>1</sup>, Thorsten Hampel<sup>1</sup>, Marco Gießmann<sup>1</sup>,  
Ferdinand Ferber<sup>2</sup> und Konrad Stark<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Heinz-Nixdorf-Institut (HNI), Universität Paderborn, Germany

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Technische Mechanik (LTM), Universität Paderborn, Germany

<sup>3</sup> Betriebliche Informationssysteme, Universität Wien, Austria

<sup>1</sup> schulte@uni-paderborn.de, hampel@uni-paderborn.de, giessman@uni-paderborn.de,

<sup>2</sup> Ferdinand.Ferber@ltm.upb.de, <sup>3</sup> konrad.stark@univie.ac.at

**Abstract:** Digitale Bibliotheken bilden ein Integrationsmedium zwischen aktueller Spitzenforschung in High-Tech-Laboren und hochschulweiten E-Learning-Infrastrukturen vor. Damit digitale Bibliotheken dieser Aufgabe gerecht werden können, müssen die technischen Realisierungen aktueller Architekturen von Forschungslaboren, die häufig nur über proprietäre Schnittstellen verfügen, von Grund auf neu konzipiert werden. Die Autoren stellen dazu am Beispiel eines Thermoschock-Prüfstandes der Technischen Mechanik eine serviceorientierte Architektur vor, die den Anforderungen einer flexiblen Integration genügt und mit Hilfe des Wasabi-Frameworks in eine bestehende Infrastruktur mit digitaler Bibliothek integriert wird.

## 1 Einleitung

Der deutsche Instrumentenbauer und Gelehrte Jacob Leupold lehrt in seinem Werk „Theatrum machinarum generale: Schauplatz des Grundes der mechanischen Wissenschaften, das ist: deutliche Anleitung zur Mechanik oder Bewegungskunst“ Anfang des 18. Jahrhunderts die Grundlagen einer umfassenden Dokumentation und Verfügbarmachung aller Bereiche der damals bekannten Wissenschaft.

E-Learning hat einen festen Platz in Schule, Hochschule und Industrie eingenommen. Seit Beginn der 90er Jahre sind eine ganze Reihe von innovativen Lehr-Lernkonzepten, Werkzeugen und Lernumgebungen entstanden. Besonders digitale Bibliotheken nehmen im Umgang mit Wissensvielfalt und Wissensarchivierung eine Schlüsselstellung ein [RPH<sup>+</sup>95, NTP97, HTHJ06]. Eine besondere Qualität eines funktionierenden E-Learning in Aus- und Weiterbildung, Forschung und Industrie liegt in der Verankerung in die tägliche Praxis aus Beruf und privatem Alltag. Diese Qualität der Verankerung ist durch eine Vielzahl von Faktoren bedingt, die sich stark gegenseitig beeinflussen. Hierzu zählen alle „altbekannten“ Akzeptanzfragen des E-Learning über die technische Fundierung, d.h. das Funktionieren der Werkzeuge und Umgebungen bis zur Frage der Kooperation der Lehrenden und Lernenden untereinander. Die nächste große Herausforderung „Motors E-Learning“ liegt jedoch in der Verschmelzung aller Bereiche der Organisation, Strukturie-

rung, Kommunikation und kooperativen Erschließung von Wissen. Diese zentrale Stellung von E-Learning-Mechanismen ist Voraussetzung für eine funktionierende Wissensarbeit in allen Bereichen unserer Gesellschaft. Natürlicherweise ist die Antriebsmotor-Funktion des E-Learning eng mit der digitalen Bibliothek verknüpft [HMR<sup>+</sup>04].

Der folgende Beitrag möchte die zentrale Funktion der kooperativen Wissensarbeit mit einer Schlüsselfunktion der digitalen Bibliothek im Bereich der Spitzenforschung des Maschinenbaus verdeutlichen. Als Teil eines komplexen Thermoschock-Prüfstandes geht es im genannten Anwendungsbereich aus ganz konkreten Anforderungen der Projektarbeit heraus darum, Aus- und Weiterbildung, Forschung und Industrie im Sinne eines Machinarum Generale miteinander zu vernetzen.

Forscher führen komplexe Experimente zu Materialfestigkeiten und Spannungsanalysen durch, die die notwendige Basis für weite Bereiche der Hightech-Industrie, den Fahrzeugbau, die Luft- und Raumfahrt bilden. Ergebnisse dienen als fester Bestandteil für Projektgruppen, Praktika und Seminare während des Studiums. Industrieunternehmen partizipieren aktiv an der Durchführung verschiedener Forschungen, definieren Anforderungen und sind in gleicher Weise über Praktika und Qualifikationsarbeiten zentraler Bestandteil der Ausbildung.

Bislang konnten alle genannten Bereiche als weitgehend isoliert voneinander gekennzeichnet werden. Forschungen werden an den jeweiligen Forschungsapparaturen (einem Prüfstand mit modernsten Automatisierungssystemen/Robotertechnologie, 3D-Meßwerterfassungssystemen, verschiedenen Steuerungssystemen) durchgeführt. Vielfältige Werkzeuge und Simulationen (u.a. Bildverarbeitung, Finite-Elementmethoden) dienen der Auswertung und Modellierung der Versuche. Lern-, Forschungs- und Arbeitsgruppen nutzen bereits kooperative Lernumgebungen und Möglichkeiten des Web 2.0, um Versuche, Analysen, Hintergründe aus der Mechanik und Mathematik zu erlernen.

In einem nächsten Schritt gilt es nun die vielfältigen Bereiche der Verarbeitung und Strukturierung von Informationen aller zu einem kooperativen Wissensarbeitsplatz und kooperativen Lernräumen zu vernetzen. Hierzu ist aus informationstechnologischer Sicht ein grundlegendes Umdenken und Redesign der notwendigen Architekturen notwendig. Nicht eine Lerninfrastruktur oder eine Lernumgebung bildet alle Wissensprozesse ab, vielmehr geht es im Sinne des E-Science darum, verschiedene vorhandene Werkzeuge mit innovativen Bestandteilen der Wissensorganisation in Gruppen zu vernetzen.

Für die Vernetzung der vorhandenen Werkzeuge wird das Wasabi-Framework [SHBH07, SHBH08] verwendet, welches eine Integration durch einen konsequenten serviceorientierten Ansatz erreicht. Einzelne Bestandteile des Wissensprozesses werden als flexible Services modelliert. Das bezieht sich sogar auf die Bestandteile der Versuchs- und Forschungsapparaturen, in der Weise, dass beispielsweise Erfassungsdienste für Messwerte zukünftig Bestandteile einer Wissens- und Servicearchitektur werden. Gleichzeitig bildet die digitale Bibliothek das zentrale Integrationsmoment einer derartigen Servicearchitektur.

Die hierzu notwendigen Architekturelemente einer serviceorientierten Integration verschiedener Forschungs- und Lerndienste bilden den Schwerpunkt des vorliegenden Paderborner Ansatzes. Ein erster Schritt ist hier die Definition notwendiger Schnittstellen

vorhandener Services. Vorarbeiten der Autoren im Bereich der Definition und Umsetzung von dringend erforderlichen Service-Schnittstellen von digitalen Bibliotheken (DFG-Forschungsprojekt mistel [PLR<sup>+</sup>05]) bilden das Rahmenwerk.

Auch das Projekt *eLearn@BTU* der Uni Cottbus, welches die Verbesserung von Lehren und Lernen als Ziel hat, beinhaltet als ein Kernthema die Integration und Erweiterung der zentralen Lernplattform [DHK<sup>+</sup>06].

Im Folgenden wird zunächst in Abschnitt 2 die aktuelle Hochschulinfrastruktur vorgestellt. Der Einfluss moderner Infrastrukturen auf digitale Bibliotheken und deren Rolle als zentrales Repository zur Archivierung von Wissen wird behandelt. Weiterhin wird gezeigt, warum das Thermoschock-Labor des LTM in der derzeitigen Ausprägung und technischen Realisierung eine Insellösung in der hochschulweiten Infrastruktur darstellt.

Im Anschluss daran wird in Abschnitt 3 ein neues Servicekonzept für Forschung und Lehre vorgestellt. Nach einer Anforderungsdefinition wird eine serviceorientierte Architektur für das Thermoschocklabor vorgestellt, die mit Hilfe des Wasabi-Frameworks eine Integration des Labors in eine hochschulweite Lerninfrastruktur zulässt. Ein Szenario zeigt anschließend die neuen Möglichkeiten, die sich durch den vorgestellten Verbund der Einzelsysteme ergeben.

## 2 Systeme in Forschung und Lehre

Eine Reihe der auf dem Markt existierenden digitalen Bibliotheken verfügen bereits über Webservice-Schnittstellen und eignen sich somit für die Vernetzung und Integration neuer Komponenten, die ebenfalls diesen Standard unterstützen. Eine Integration der Art realer Forschungslabore in eine hochschulweite Infrastruktur und speziell die dauerhafte Archivierung von Versuchsergebnissen wurden derzeit nur spärlich verfolgt. Das Problem bei der Integration von Forschungslaboren ist das Nichtvorhandensein standardisierter Schnittstellen und Protokolle, die in modernen serviceorientierten Architekturen ihren Einsatz finden könnten.

Die Vielfalt von Medien wird maßgeblich durch Labore der Spitzenforschung beeinflusst und vorangetrieben. Jedoch besteht die Problematik, dieses Wissen effizient und flexibel im Kontext der Lehre zu verwenden. Daher besteht das Bestreben experimentell gewonnenes Wissen in Bibliotheken einer breiten Anwendermasse zur Verfügung zu stellen. Durch die Archivierung und Strukturierung von Versuchsergebnissen in digitalen Bibliotheken steht dieses Wissen nun nicht mehr nur einer kleinen Gruppe zur Verfügung, sondern öffnet sich für eine große Anzahl von Einsatzgebieten.

Zunächst wird in Abschnitt 2.1 die Rolle der digitalen Bibliotheken genauer erläutert und anschließend in Abschnitt 2.2 die aktuelle Situation in einem Thermoschock-Labor vorgestellt. Abschnitt 2.3 führt im Anschluss daran die Nachteile der derzeitigen Situation in dem Labor auf und Abschnitt 2.4 beschreibt abschließend eine prototypische Umsetzung, in der das Labor an ein CSCW-System gekoppelt wird.

## 2.1 Digitale Bibliothekssysteme im Wandel

Von ehemals reinen Papierbibliotheken öffnen sich moderne Bibliothekssysteme, um eine optimierte und zeitgemäße Informationsrecherche zu gewährleisten. Heutzutage muss man Bibliotheken als einen dienstorientierten Anbieter verstehen, der in einer E-Learning-Infrastruktur die zentrale Einheit für Wissensarchivierung und -bereitstellung bildet. Die Öffnung von Bibliothekssystemen musste insbesondere in der Anfangszeit zahlreiche Hürden meistern. Technische Weiterentwicklungen wie beispielsweise eine vom DFN-Verein betriebene Authentifizierungs- und Autorisierungs-Infrastruktur (AAI)<sup>1</sup> unterstützen die Eingliederung digitaler Bibliotheken in heterogene Infrastrukturen.

In [BSH07] zeigen die Autoren, auf welche Weise Repositories, speziell auch digitale Bibliotheken, an CSCW-Systeme flexibel angekoppelt werden können. In der entwickelten Implementierung haben die Autoren neben Google auch den digitalen Dokumenten- und Publikationsserver DuEPublico<sup>2</sup> exemplarisch in eine bestehende E-Learning-Infrastruktur als Wissensquelle eingebunden. Dabei wird deutlich, dass die Bibliothek die Schnittstelle zwischen fundiertem Fachwissen und den CSCW-Systemen auf Anwenderseite bilden kann. Bei den Integrationsüberlegungen galt es eine lose Kopplung zwischen CSCW-System und externen Repositories zu erzielen, um eine einfache Austauschbarkeit sowie Hinzunahme weiterer externer Repositories zu garantieren.

Digitale Bibliotheken leisten neben der Wissensarchivierung weitere Vorteile wie:

- die Strukturierung von Dokumenten in so genannten Klassifikationen besser zugänglich zu machen,
- das digitale Publizieren von Informationen, und
- ein Rechtemanagement, um Daten vor nicht autorisiertem Zugriff zu schützen.

## 2.2 Das Thermoschocklabor des LTM

Der Thermoschock-Prüfstand des Lehrstuhls für Technische Mechanik (LTM) der Universität Paderborn ist ein Labor, in dem Metalle auf Empfindlichkeit gegenüber Thermoschockbelastungen hin geprüft werden. Zur Durchführung eines solchen Tests stehen hochmoderne Geräte zur Verfügung, zu denen u.a. eine Induktionsheizung, verschiedene Kühlungen, ein Stereo-Kamera-System zur Digitalisierung von Oberflächendeformationen und ein Wirbelstromsensor zur Lokalisierung von Rissen in der Probenoberfläche gehören. Im Folgenden wird die derzeitige zentralistische Architektur des Labors beschrieben.

Im Mittelpunkt der Architektur steht als zentrales Element der sogenannte Leitreechner. Er stellt auf der einen Seite die Benutzungsschnittstelle für zur Steuerung von Versuchen in Form einer Web-Applikation zur Verfügung, über die die derzeit 15 Geräte und die Prozesse des Labors gesteuert werden können. Auf der andern Seite ist er das zentrale

---

<sup>1</sup><http://www.dfn.de/dienstleistungen/dfnaai/>

<sup>2</sup>Digitale Bibliothek – <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/>

Bindeglied, das die Prozessabläufe des Prüfstandes kontrolliert und welches die gesamte Kommunikation vorhandener Geräte und Komponenten abwickelt.

Die Art der Verbindungen zwischen Leitrechner und angeschlossenen Komponenten sind dabei größtenteils herstellerspezifisch. Auf dem Leitrechner wird für jede Komponente ein Modul betrieben, das die Verbindungen herstellt und Befehle oftmals in Form von Bitketten überträgt, und ggf. auch die Berechnung entsprechender Prüfsummen vornimmt.

### 2.3 Nachteile der aktuellen Laborinfrastruktur

Die Leitrechner-Architektur erfüllt ihre derzeitigen Aufgaben einwandfrei. Allerdings birgt dieser zentralistische und relativ starre Aufbau des Gesamtsystems einige Nachteile, die insbesondere deutlich werden, wenn das Labor in eine bestehende Infrastruktur integriert werden soll. Diese Nachteile sind im Folgenden aufgelistet:

- **Schlechte Integrierbarkeit durch herstellerspezifische Verbindungen:** Bei der derzeitigen Umsetzung findet die Kommunikation mit jeder der Komponenten auf eine andere Weise statt. Jedes der eingesetzten Geräte verfügt über herstellerspezifische Befehlssätze, die größtenteils aus Bitketten bestehen, welche zudem über proprietäre Protokolle übertragen werden müssen. Neben der Tatsache, dass Änderungen und Erweiterungen innerhalb des Labors dadurch mit großem Aufwand verbunden sind, wird insbesondere auch eine Integration des Labors als Ganzes in eine bestehende hochschulweite E-Learning-Infrastruktur stark erschwert.
- **Aufwendige Wiederverwendung und Erweiterbarkeit:** Es ist durchaus denkbar, dass man das Labor „teilen“ möchte, um aus den einzelnen Komponenten zwei unabhängige kleinere Labore zusammensetzen zu können, die dann parallel Wissen erzeugen und dieses in einem zentralen digitalen Repository abgelegt könnten. Eine enge Verzahnung der zentralistischen Architektur, und die Abhängigkeit vom Leitrechner machen solch ein Vorgehen jedoch nahezu unmöglich.
- **Keine offenen Funktionsbeschreibungen und Schnittstellendefinitionen:** Da die zentralistische Leitrechner-Architektur ihre Schnittstellen und vorhandenen Funktionen nicht an einer zentralen Stelle veröffentlicht, ist es nicht möglich, diese ohne manuelle Programmierarbeit anzusprechen und zu nutzen. Dies erhöht den Aufwand bei Veränderungen innerhalb des Labors und insbesondere auch für eine Integration des Labors in eine hochschulweite Infrastruktur.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die derzeitige Umsetzung zum einen den flexiblen Einsatz von Laborkomponenten nicht zulässt, und zum anderen vor allem, dass bedingt durch fehlende Standards bei Protokollen und Schnittstellen es erheblich erschwert wird, das im Labor gewonnene Wissen automatisiert in einer E-Learning-Infrastruktur verfügbar zu machen, um Lehre und Forschung näher zusammen zu bringen.

## 2.4 Hardware in virtuellen Wissensräumen

Um die in Abschnitt 2.3 beschriebenen Nachteile zu mindern, ist in einer ersten Stufe die Steuerung einzelner Laborkomponenten aus virtuellen Wissensräumen heraus realisiert worden. Virtuelle Wissensräume sind als Ablage- und Strukturierungsort für Dokumente unterschiedlichster Art zu verstehen. Es können sowohl Gruppenarbeitsräume als auch Benutzerräume erstellt werden. Dokumente können durch Links in Beziehung gebracht werden, damit eine Strukturierung bzw. Abhängigkeit der Dokumente untereinander erzeugt werden kann. Eine größer werdende Wissensbasis kann nur durch das Engagement der beteiligten Benutzer durch das Hinzufügen, Entfernen und Ergänzen von Informationen entstehen. Ein besonderes Kennzeichen von virtuellen Wissensräumen ist, dass sie in unterschiedlichen Formen dargestellt werden können: beispielsweise in Form von Dokumenten, WIKIs oder Bildern.

Wissen, welches mit Hilfe von aufwendigen Apparaturen in Laboren der Spitzenforschung entsteht ist von klassischen E-Learning-Infrastrukturen losgelöst. Die Entstehung solchen Wissens findet meist experimentell statt und ist gerade in der Spitzenforschung nur durch einen hohen Einsatz von Zeit und Geld möglich. Die dabei entstehenden Ergebnisse hingegen werden oftmals im lokalen Dateisystem abgelegt, verbleiben somit in den Händen beteiligter Wissenschaftler und werden nur unzureichend einer großen Masse von Lehrenden und Lernenden und Partnern in der Industrie zugänglich gemacht.

An der Universität Paderborn wurde im vergangenen Jahr ein Projekt ins Leben gerufen, welches es sich zum Ziel gemacht hat, Hardware in virtuelle Wissensräume zu integrieren [HFG<sup>+</sup>07]. Es ist dabei exemplarisch gelungen, Versuche mit der Zug-Prüfmaschine des Thermoschock-Labors an einem Thermoschock-Prüfstand aus einem virtuellen Raum heraus zu steuern, wobei die Ergebnisse der Versuche im Anschluss in den virtuellen Wissensraum abgelegt wurden. Auf diese Weise ist es gelungen, den Bruch zwischen den zwei Welten, dem CSCW-System, in dem Wissen bereitgestellt wird auf der einen Seite und einem Labor, in dem Wissen durch Spitzenforschung gewonnen wird auf der anderen Seite, zu schließen.

## 3 Servicekonzept für Forschung und Lehre

Nachfolgend werden erste Erfahrungen vorgestellt, wie an der Paderborner Universität die Hardware des Thermoschock-Prüfstandes in ein CSCW-System integriert werden kann. In diesem Kapitel gehen wir einen Schritt weiter und stellen eine serviceorientierte Architektur für das Labor vor. Diese Umsetzung hat den großen Vorteil, nicht nur auf die Nutzung eines CSCW-Systems beschränkt zu sein, sondern basiert auf standardisierten Schnittstellen und Protokollen. Dadurch wird eine vergleichsweise einfache Integration in beliebige Systeme, speziell auch in eine hochschulweite Infrastruktur ermöglicht, welche eine digitale Bibliothek bereits enthält. Ziel dabei ist es, Labore und dort gewonnene Erkenntnisse in gleicher Weise im E-Learning verfügbar zu machen, wie es mit vielen anderen Medien, beispielsweise Unterlagen zu Vorlesungen, bereits seit langem der Fall ist.

Zunächst werden in Abschnitt 3.1 Anforderungen an eine Umgebung gestellt, die Forschung in einem Labor und deren Archivierung sowie Bereitstellung dort gewonnenen Wissens in einer digitalen Bibliothek miteinander verbindet. Abschnitt 3.2 stellt eine serviceorientierte Architektur vor, die die zuvor gestellten Anforderungen seitens des Labors erfüllt. Abschnitt 3.3 befasst sich mit der durch die neue Architektur möglich werdende Integration des Labors in eine hochschulweite Infrastruktur mit Hilfe von *Wasabi* als Integrations-Framework. Abschließend wird in 3.4 ein Szenario beschrieben, das durch die neu entwickelte Architektur und deren Integration ermöglicht wird.

### 3.1 Anforderungen an zukünftige High-Tech Labore

Die Anforderungen an ein Labor, in dem teure Spitzenforschung betrieben wird, sind mit wachsenden informationstechnischen Möglichkeiten ebenfalls gestiegen. Das bloße Durchführen von Experimenten reicht mittlerweile nicht mehr aus. Vielmehr möchte man das gewonnene Wissen dauerhaft erhalten und es dabei anderen Interessierten leicht zugänglich machen. Um dies leisten zu können, werden die folgend aufgelisteten Anforderungen an das Thermoschock-Labor gestellt:

- **Zentrale Archivierung von Ergebnissen:** Die Ergebnisse eines Thermoschockversuches sollen für eine spätere Verwendung elektronisch an zentraler Stelle archiviert werden, wodurch sich eine mehrfache Durchführung des gleichen Experiments erübrigt. Weiterhin sollen die Ergebnisse einer größeren Zahl an Interessenten wie Wissenschaftlern, Studenten und Partnern aus der Industrie einfacher zugänglich gemacht werden.
- **Kooperation im Wissensraum:** Das Labor der Zukunft sollte den dort forschenden Wissenschaftlern Plattformen zur kooperativen Zusammenarbeit anbieten. Wikis können Wissen in unterschiedlichen Formen darstellen, und bieten somit eine geeignete Technologie dar, um die Kommunikation und Organisation von komplexen Informationen zu fördern. Dazu gehört beispielsweise das kooperative Arbeiten an und mit Versuchsergebnissen.
- **Rechtmanagement:** Bei der Archivierung der Ergebnisse soll es möglich sein, eine Gruppe von Berechtigten zu bestimmen, die an den Ergebnisse aktiv mitarbeiten. Damit soll die Möglichkeit eingeräumt werden, auch Ergebnisse im elektronischen Archiv abzulegen, die noch nicht für die Allgemeinheit bestimmt sind.
- **Kategorisieren von Versuchsergebnissen:** Zum einfacheren Auffinden vorhandener Versuchsergebnisse soll die Möglichkeit bestehen, diese zu kategorisieren. Tagging-Mechanismen stellen ein probates Mittel zur Wissensstrukturierung und Wissensfindung dar.
- **Applikationsunabhängigkeit:** Die Benutzung des Prüfstandes soll von unterschiedlichsten Anwendungen aus, die auf Webservices zugreifen können, möglich sein. Auf diese Weise soll die Benutzung für Wissenschaftler von Partner-

Universitäten gleichermaßen ermöglicht werden, wie sie es für Paderborner Kollegen ist, um die kooperative Zusammenarbeit zu fördern.

### **3.2 Architekturkonzept und Serviceintegration für High-Tech Labore**

Um das Thermoschock-Labor in die hochschulweite Infrastruktur zu integrieren, müssen zunächst die bisher sehr starre Architektur des Labors entkoppelt, einzelne Hardware-Komponenten mit standardisierten Schnittstellen versehen und deren Funktionen sinnvoll kombiniert über Services nach Aussen angeboten werden.

Das Entkoppeln und Ausstatten mit standardisierten Schnittstellen, indem zunächst einzelne Hardware-Komponenten durch Webservices gekapselt werden. Ein kapselnder Webservice stellt dabei die Funktionen der gekapselten Komponente nach Aussen über das standardisierte *Simple Object Access Protocol* (SOAP) zur Verfügung. Dank der Selbstbeschreibungsfähigkeit von Webservices können diese Funktionen auf einfache Weise in funktionsaufrufende Instanzen eingebunden werden. Ein Webservice nimmt dort Funktionsaufrufe über SOAP entgegen, wandelt diese in herstellerspezifische Befehlsketten um und schickt sie über das entsprechende, von der Komponente verstandene Protokoll, an die Komponente. Ergebnisse werden auf dem umgekehrten Weg, vom herstellerspezifischen Format zurück in SOAP-Nachrichten überführt, und so an die aufrufende Instanz in einem architekturweiten, bzw. -übergreifenden Standardformat als Ergebnis zurückgeliefert.

Nachdem die bisher eng miteinander verzahnten Komponenten entkoppelt und mit standardisierten und selbstbeschreibenden Schnittstellen ausgestattet sind, werden weitere, prozesssteuernde Services benötigt. Ein prozesssteuernder Service stellt einen Prüfprozess des Labors dar. Ausserhalb des Labors ist er von externen Anwendungen aus über SOAP ansprechbar und nimmt Aufträge für Materialprüfungen in Form von Funktionsaufrufen entgegen. Aus angegebenen Parametern erstellt er Prozessketten für die Materialprüfung und nutzt dabei die Funktionen der Hardware-kapselnden Services, um dies durchzuführen. Ergebnisse werden ebenfalls per SOAP an die aufrufende Instanz übermittelt.

Durch die serviceorientierte Architektur wird das gesamte Thermoschock-Labor mit standardisierten Schnittstellen ausgestattet. Neben dem höheren Grad an Flexibilität gegenüber der vorigen Architektur, wird vor allem der Grundstein für eine Integration in bestehende Infrastrukturen gelegt. Auf eine solche Integration wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

### **3.3 Wasabi-Framework als Integrationsplattform**

Die im vorigen Abschnitt vorgestellte Architektur eignet sich dank der Webservice-Schnittstellen für eine Integration in bestehende Infrastrukturen. Im Folgenden wird beschrieben, wie das in [SHBH07] vorgestellte Integrations-Framework *Wasabi* genutzt wird, um das Thermoschocklabor in eine hochschulweite Infrastruktur zu integrieren. Abbildung 1 zeigt das Wasabi-Framework. Dort ist unter (1) der Wasabi-Serverkern zu fin-

den, mit dessen interner Klassenhierarchie sich das Konzept der virtuellen Wissensräume abbilden lässt und weshalb es für den Aufbau von digitalen Lern- und Arbeitsumgebungen geeignet ist. Weiter bietet Wasabi die Möglichkeit, externe Systeme, die über Webservice-Schnittstellen verfügen, dynamisch als Wasabi-Module in das Framework zu integrieren. Dies ist in der Abbildung unter (2) verdeutlicht. Dabei stellt eine sog. *Remote-API* die Funktionen Wasabis und die der integrierten Module, externen Anwendungen zur Verfügung. Des Weiteren bietet Wasabi über eine Persistenzschicht die Möglichkeit, beliebige digitale Repositories für das Ablegen und Publizieren von Daten einzubinden.

Das Thermoschock-Labor als das Modul „Laboratory“ in Wasabi integriert, wie ebenfalls in Abbildung 1 zu sehen ist. Auf diese Weise ist es möglich, das Labor mit Anwendungen zu steuern, die über die Remote-API auf die Funktionen des Labors zugreifen können. Zusätzlich zu den Steuerungsfunktionen des Labors, beinhaltet das Modul „Laboratory“ eine Erweiterung der Wasabi-Klassenhierarchie, die das Konzept der virtuellen Wissensräume abbildet. Dies ermöglicht, dass ein Benutzer eines CSCW-Systems den virtuellen Raum „Thermoschocklabor“ betreten und dort Experimente durchführen kann.

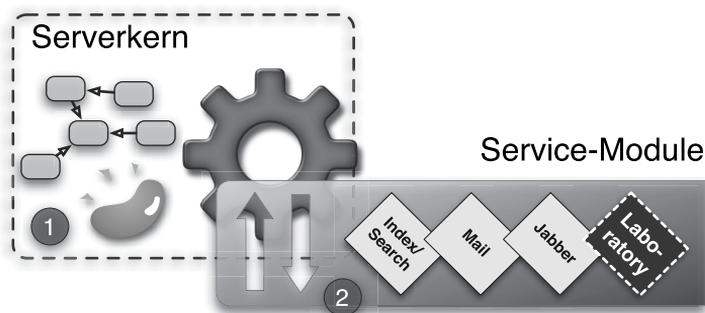


Abbildung 1: Servicemodul für das Wasabi-Framework

An die Persistenzschicht von Wasabi ist exemplarisch als zentrales Wissensarchiv die digitale Bibliothek DuEPublico gekoppelt. Zum Archivieren eines Versuchsergebnisses wird ein entsprechendes Wasabi-Objekt, das das Ergebnis enthält, an den sog. *DocumentManager* übergeben. Dieser leitet es an einen *Mapper* weiter, der das Ergebnis mit Hilfe der Attribute des Wasabi-Objekts in ein Repository-spezifisches Format, in unserem Fall DuEPublico, überführt und archiviert.

Für die Verwaltung von Benutzerrechten und die Authentifizierung von Benutzern wird die Möglichkeit Wasabis genutzt, auf bestehende LDAP-Verzeichnisse zuzugreifen.

### 3.4 Szenario

Ein Wissenschaftler einer beliebigen Partner-Universität, z.B. der TU-Berlin möchte Informationen über die Materialeigenschaften des Baustahls S355J2+N unter bestimmten Thermoschockbedingungen erfahren. Zunächst schaut er in der digitalen Bibliothek, in

der die Ergebnisse der Thermoschockversuche aller Partner-Universitäten gespeichert sind nach, ob er dort die gesuchten Informationen findet. Die digitale Bibliothek bildet ein Teil der Persistenzschicht des Wasabi-Frameworks. Das CSCW-System des Wissenschaftlers greift daher auf die digitale Bibliothek zu, indem es die von der Remote-API Wasabis angebotenen Funktionen nutzt.

Ein entsprechender Versuch wurde jedoch noch nicht durchgeführt, weshalb sich der Wissenschaftler entschließt, den Versuch selbst durchzuführen. Da der Wissenschaftler die entsprechende Berechtigung hat, betritt er den virtuellen Raum *Thermoschock-Labor* und sieht, dass das Labor derzeit in Benutzung ist. Er erstellt dort einen neuen Prüfprozess, indem er einen vorgeschlagenen Ablauf mit den entsprechenden Parametern versieht und reserviert sich durch Bestätigen des Prozesses die entsprechende Laborzeit.

Ein Mitarbeiter des Thermoschock-Labors bekommt die Nachricht, dass ein neuer Prüfprozess aus Berlin in der Warteschlange steht. Nachdem der vorige Prüfprozess abgeschlossen ist, entfernt er die alte Probe aus der Halterung des Prüfstandes und spannt die Berliner Probe ein. Anschließend verlässt er den Gefahrenbereich, schließt die Tür der Schutzkammer und gibt den Berliner Prüfprozess frei.

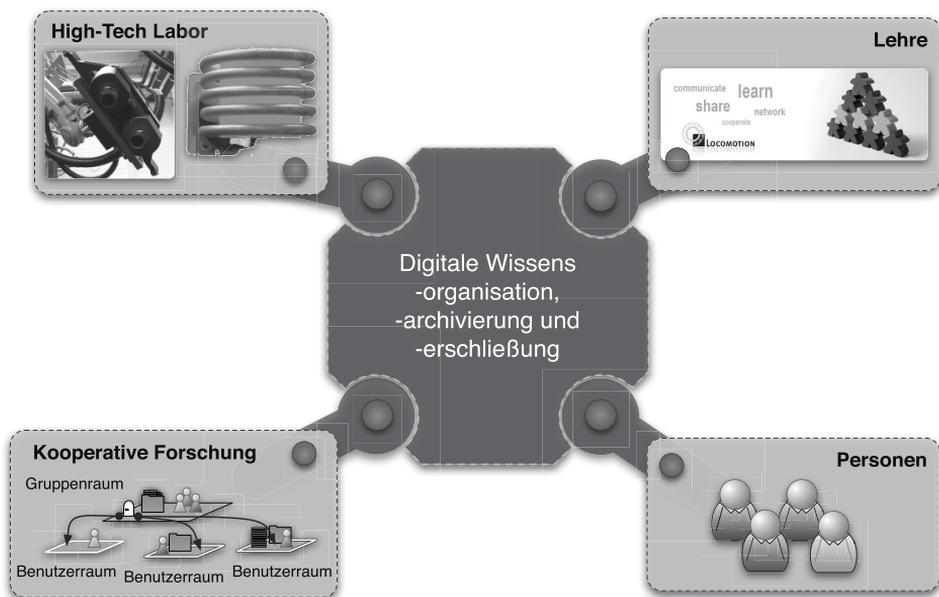


Abbildung 2: Integration von Modulen

Der Berliner Wissenschaftler bekommt elektronisch die Nachricht, dass sein Versuch gerade abgearbeitet wird. Über die im Paderborner Labor installierte Webcam kann er ihn jederzeit beobachten. Zunächst erstellt das Stereokamerasystem mit Hilfe des Roboters ein digitales Abbild der metallenen Probe, um im Anschluss in einem Vorher-Nachher-Vergleich die Oberflächendeformation bestimmen zu können. Anschließend wird ebenfalls für einen Vorher-Nachher-Vergleich eine Wirbelstromprüfung zur Lokalisierung von

Rissen in der Probenoberfläche durchgeführt. Nach ca. zwei Stunden ist die Probe 100 mal auf  $600^{\circ}\text{C}$  erhitzt und wieder auf Raumtemperatur abgekühlt worden. Nun wird die Probenoberfläche erneut auf Deformation und Rissbildung untersucht und die Differenz mit den Voruntersuchungen für den Vorher-Nachher-Vergleich bestimmt.

Die Ergebnisse des Versuchs werden jetzt automatisch in der digitalen Bibliothek unter der zuvor angegebenen Kategorie veröffentlicht. Abbildung 2 zeigt die digitale Bibliothek als zentrales Repository und Wissensarchiv im zentralen Verbund einer hochschulweiten E-Learning-Infrastruktur.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Rolle des E-Learnings wandelt sich von einem in den letzten Jahren weitgehend isolierten und mit den komplexen Prozessen in Industrie und Forschung zum Teil nur wenig verbundenen Angebot, zu einem integralen Bestandteil der Strukturierung und einer umfassenden Wissensorganisation. Der Bereich der Erforschung komplexer Materialeigenschaften am Beispiel des Thermoschock-Prüfstandes der Technischen Mechanik beweist, dass ohne leistungsfähige Mechanismen der Strukturierung von Wissen, im Detail der Organisation der vielfältigen digitalen Medien (Dokumente, Versuchsergebnisse, Diskussionsbeiträge etc.), eine kooperative Zusammenarbeit aller beteiligten Personen nur schwer möglich ist. Mechanismen der kooperativen Wissensstrukturierung und des E-Learnings bieten hier die dringend notwendigen Schnittstellen zwischen den verschiedenen Werkzeugen und schaffen einen Wissensraum, der allen beteiligten Personen, Forschenden und Lernenden gleichermaßen die zentrale Persistenzebene eines langfristigen Prozesses der Konstruktion von Wissen bietet.

Neu an der Idee, kooperative Lehr-Lernplattformen als Integrationsinstrument einzusetzen, ist der hier verfolgte Ansatz, konsequent im Sinne einer serviceorientierten Architektur vorzugehen. Sämtliche Bestandteile von den technischen Bestandteilen des Versuchsaufbaus (Zugbelastungsmaschine, Roboter, Bildverarbeitung, Heizung etc.) werden als eigenständige Dienste definiert. Ziel ist hierbei, zusätzlich flexible und leicht rekonfigurierbare Versuchsapparaturen erzeugen zu können. Die Realisierung einer serviceorientierten Integration digitaler Medien und der Hardware aus dem Labor des Maschinenbaus ist hierbei in der Praxis nicht leicht umzusetzen. Die Größe des Projekts, ca. 15 unabhängige Dienste von einer ganzen Reihe verschiedener Hersteller, macht zunächst das Schaffen geeigneter universeller Webservice-Schnittstellen der einzelnen Dienste notwendig. Dies geschieht nicht rein auf technischer Ebene der Abbildung der notwendigen Automatisierungs- und Steuerungsfunktionen, sondern erstmals speziell im Hinblick auf Wissensorganisation und kooperatives E-Learning.

In der Form sehen wir die nächsten wichtigen Schritte in der konsequenten Vernetzung existierender Dienste und Strukturen in Form von Best-Practise-Ansätzen. Die wichtige Idee, Szenarien der Wissensorganisation in der genannten Systemintegration in das Zentrum der Betrachtung zu stellen, und nicht lediglich die reine Ebene der Automatisierung und Steuerung ist für Hersteller der genannten Komponenten neu und ungewohnt.

Mit den sich in der Praxis stärker ausprägenden Zielen des neuen Web (Web 2.0) als ein durch die Nutzer getriebenes Web mit dezentral organisierten und eng vernetzten Diensten (Mashups) entsteht jedoch gleichzeitig eine stetige Akzeptanz für die verfolgten Ziele der Serviceintegration im E-Learning.

**Danksagung:** Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Projektes „Systemkonvergenz in Bildung, Forschung und Wissenschaft - Die Digitale Bibliothek als Schlüsseltechnologie für kooperative Wissensorganisation“.

## Literatur

- [BSH07] Thomas Bopp, Jonas Schulte und Thorsten Hampel. Enabling CSCW systems to automatically bind external knowledge bases. In *ICEIS - 9th International Conference on Enterprise Information Systems*, Seiten 323–329, 2007.
- [DHK<sup>+</sup>06] Andreas Degkwitz, Claudia Hauswirth, Matthias J. Kaiser, Mira-Alexandra Luzens-Meier und Bernd Tschiedel. Computergestütztes Lehren und Lernen in Cottbus - das Projekt eLearn@BTU. Bericht, BTU Cottbus, 2006.
- [HFG<sup>+</sup>07] Thorsten Hampel, Ferdinand Ferber, Franz-Barthold Gockel, Thorsten Pawlak und Rolf Mahnken. Homogeneous administration of experiments in material science for configuration, monitoring and analysis. In *13th International Conference on Experimental Mechanics*, Seiten 1–7, Alexandroupolis, Griechenland, 7 2007. Springer Verlag.
- [HMR<sup>+</sup>04] Gareth Hughes, Hugo Mills, David De Roure, Jeremy G. Frey, Luc Moreau, mc schraefel, Graham Smith und Ed Zaluska. The Semantic Smart Laboratory: A system for supporting the chemical eScientist. *Org. Biomol. Chem.*, 2:1–10, 2004. DOI: 10.1039/b410075a.
- [HTHJ06] Hey, Tony, Hey und Jessie. e-Science and its implications for the library community. *Library Hi Tech*, 24(4):515–528, 2006.
- [NTP97] D. Nichols, M. Twindale und C. Paice. Recommendation and Usage in the Digital Library. Bericht, Computing Department, Lancaster University, UK, 1997.
- [PLR<sup>+</sup>05] Christian Prpitsch, Frank Lützenkirchen, Harald Richter, Thomas Bopp und Thorsten Hampel. Systemkonvergenz von digitalen Bibliotheken, Planungssystemen und CSCW-Systemen. In *DeLFI*, Jgg. 66 of *LNI*, Seiten 533–537. GI, 2005.
- [RPH<sup>+</sup>95] Ramana Rao, Jan O. Pedersen, Marti A. Hearst, Jock D. Mackinlay, Stuart K. Card, Larry Masinter, Per-Kristian Halvorsen und George C. Robertson. Rich interaction in the digital library. *Commun. ACM*, 38(4):29–39, 1995.
- [SHBH07] Jonas Schulte, Thorsten Hampel, Thomas Bopp und Robert Hinn. Wasabi Framework – An Open Service Infrastructure for Collaborative Work. In *SKG '07: Proceedings of the Third International Conference on Semantics, Knowledge and Grid*, Seiten 242–247, Xi'an, China, October 2007. IEEE Computer Society.
- [SHBH08] Jonas Schulte, Thorsten Hampel, Thomas Bopp und Robert Hinn. Wasabi beans – SOA for Collaborative Learning and Working Systems. In *DEST '08: Proceedings of the Second IEEE International Conference on Digital Ecosystem and Technologies*, Phitsanulok, Thailand, February 2008. IEEE Computer Society.