

Telematik in der Lehre, eine Brückenkran-Regelung und ein inverses Pendel als Online Experiment

Prof. Dr.-Ing. Helmut Hoyer, Dr.-Ing. Michael Gerke, Ivan Ivanov, Ivan Masar, Christof Röhrig, Andreas Bischoff

Lehrgebiet Prozesssteuerung und Regelungstechnik,
FernUniversität Hagen

Kurzfassung

Internet-Technologien und neue Medien verändern die Ausbildung und den Erwerb von Information auch im Hochschul-Bereich nachhaltig. Speziell im Bereich der Automatisierungs- und Regelungstechnik sind hochwertige Animationen und Simulationen im Netz verfügbar, die durch Interaktion das Verständnis von Sachverhalten erleichtern. Die praktische Umsetzung von Lerninhalten wird durch Teleoperation von realen Systemen in ‚virtuellen Laborexperimenten‘ über das Internet ermöglicht.

Der Beitrag beschreibt einen Ansatz zur Teleoperation eines Brückenkranes und eines Inversen Pendels und die dazu benötigte Infrastruktur und Systemarchitektur. Zudem wird hier ein Mehrbenutzer-Szenario vorgestellt, welches die zeitgleiche Kollaboration mehrerer Praktikumsteilnehmer erlaubt.

1. Einleitung

Internet-Technologien und neue Lehrmedien verändern den traditionellen Erwerb von Wissen und Information nachhaltig. Dies macht zukunftsorientierte Konzepte in Hochschulen erforderlich, um neue Lern- und Qualifikationspotenziale herauszubilden. Speziell für die regelungstechnische Ausbildung findet man inzwischen neben umfangreichen elektronischen Dokumenten unterstützende Computersimulationen und ‚Virtual Reality‘-Visualisierungen, inzwischen auch virtuelle Praktika, also Internet-gestützte Zugriffsmöglichkeiten auf die realen technischen Systeme im Labor. Solche Laborexperimente stehen durch Teleoperation rund um die Uhr zur Verfügung und können auch hochschulübergreifend genutzt werden. Am Lehrgebiet Prozesssteuerung und Regelungstechnik werden fernbedienbare automatisierungstechnische Laborexperimente entwickelt und in der Lehre eingesetzt:

- ein omnidirektionales Fahrzeug [1], dessen Geschwindigkeitsregelung nach erfolgter Modellbildung zu entwerfen und zu testen ist
- eine Modelleisenbahn mit zwei Zügen, deren Fahrten mit einer SPS-Ablaufsteuerung abzusichern sind [2];
- eine Brückenkran-Regelung (Zustandsregler) und ein inverses Pendel (Fuzzy-Regler, Zustandsregler, kaskadierter Regler) [3].

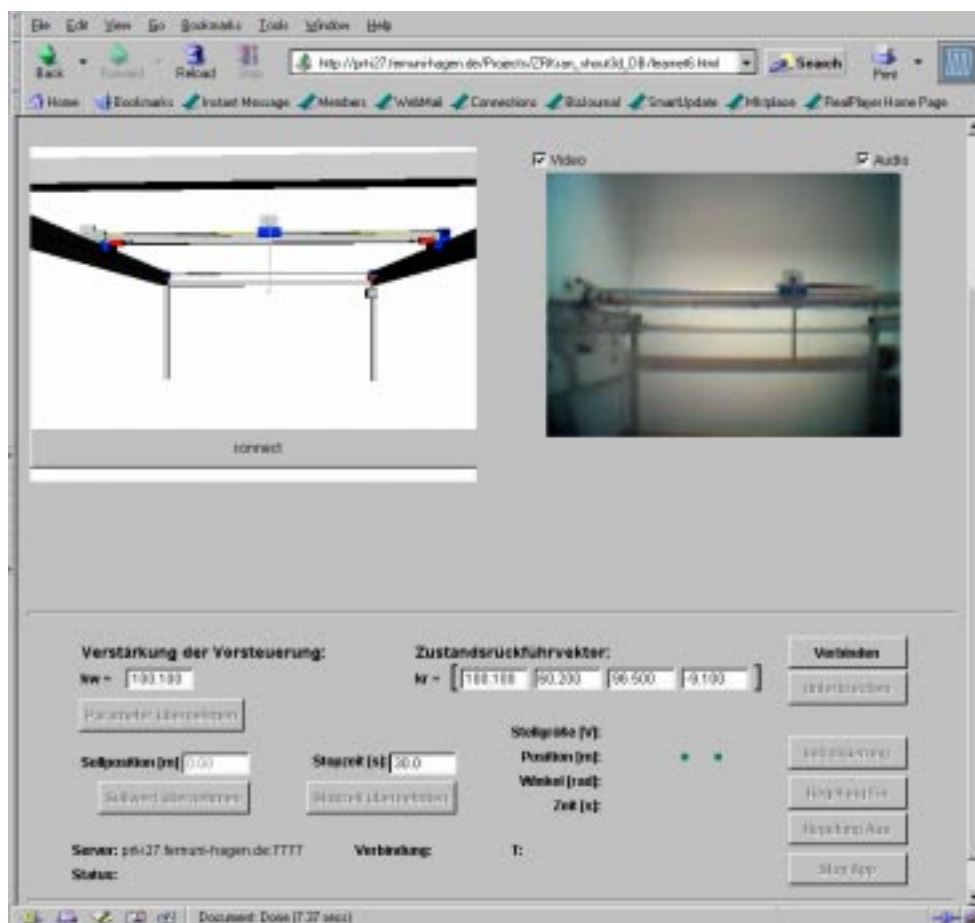


Bild 1: Online-Versuch Brückenkran und Inverses Pendel

Durch Teleoperation derartiger Experimente werden die räumlichen und zeitlichen Einschränkungen von lokal an Hochschulen aufgebauten Laboratorien überwunden; der Lernende bestimmt selbst den Ort und den Zeitpunkt seines Zugriffs auf das Laborpraktikum; zudem kann er Schritt haltend zu seinem individuellen Lernrhythmus theoretische Erkenntnisse zeitnahe (und nicht reglementiert durch starre Praxisblöcke) an realen Systemen erproben. Damit wird der Fernlehre und der netzbasierten technischen

Hochschulausbildung ein wesentlicher Baustein hinzugefügt, der die im Internet zur Verfügung gestellten Lehrtexte und Animationen bzw. interaktiven Simulationen um eine Schlüsselfunktion bereichert: das netzbasierte Experimentieren.

Erst das nach eigenen Vorgaben durchgeführte und beobachtete Experiment mit all seinen Phänomenen und nicht-modellierbaren Unwägbarkeiten fordert den Ingenieur bzw. Naturwissenschaftler zu einer ganzheitlichen Betrachtungsweise auch komplexer Systeme heraus, welche nur in beschränktem Maße gegenüber vereinfachenden und reduzierenden Annahmen resistent sind.

Die Systemanforderungen werden im Kapitel 2 dem Prinzip nach skizziert und dann im Kapitel 3 diskutiert. Hierbei werden die verwendeten Werkzeuge und Technologien ausführlich erläutert. Kapitel 4 beschreibt dann ein regelungstechnisches ‚virtuelles Labor‘, und im Kapitel 5 wird auf die Problematik der Gruppenarbeit im Internet eingegangen.

2. Systemanforderungen

Der Anforderungskatalog an ein virtuelles Labor mit einem durch Teleoperation geführten Experiment ist vielfältig:

- **Zugriffssteuerung und Sicherheit**
Um den Zugriff auf die jeweilige Experimentieranlage zu ordnen, sind automatisierte Zeitreservierungen und Zugangskontrollen erforderlich. Zudem muss die Anlage durch Datenvalidierung vor Beschädigung geschützt werden.
- **Fernsteuerung und Versuchsbeobachtung**
Für die Teleoperation des Experimentes ist dem Anwender eine komfortable Infrastruktur zur Verfügung zu stellen; diese minimiert gleichzeitig die unabsichtliche Übergabe von mangelhaften Versuchsparametern. Eine on-line Beobachtung in jeglicher Form von Telepräsenz (Video, Audio, ‚Virtual Reality‘) vermittelt den subjektiv wichtigen Eindruck von der ausgelösten Live-Aktion. Die tatsächliche Versuchsauswertung erfolgt dann im Nachgang zum Experiment durch Analyse der übermittelten Messdaten (Fernmessung).
- **Virtuelle Gruppenarbeit**
Bei der Internet-basierten Teleoperation von Experimenten sind zur Bildung von Arbeitsgruppen synchrone Kommunikationstechniken erforderlich, die eine zeitgleiche

Beobachtung von Versuchsvorbereitung und Durchführung mit wechselseitiger Kommunikation ermöglichen. Virtuelle Kooperationsumgebungen erlauben allen Beteiligten eine komfortable bidirektionale Einbindung in die Laborgeschehnisse in Echtzeit. Allerdings sind spezielle Rollenverteilungen erforderlich [4].

- **Technische Randbedingungen**

Die Akzeptanz eines virtuellen Labors hängt ganz wesentlich von der für die Durchführung erforderlichen Infrastruktur ab. Daher ist die erforderliche Übertragungsbandbreite so zu bemessen, dass im Standard-ISDN und im digitalen Telefonnetz eine erfolgreiche Teleoperation möglich ist. Zudem sind an die Hardware und Software der Computersysteme auf Anwenderseite möglichst geringe Anforderungen zu stellen. Es sollte im Idealfall lediglich ein aktueller Web-Browser benötigt werden. Insbesondere sollte auf umfangreiche Downloads und Installationen noch im Vorfeld der Versuchsdurchführung möglichst verzichtet werden.

3. Aufbau eines virtuellen Labors

An der FernUniversität in Hagen existieren bereits mehrere fernsteuerbare Laborversuche; weitere regelungstechnische Versuche sind derzeit in der Entwicklung, welche verschiedene Reglerentwürfe an einem Brückenkran und an einem Inversen Pendel verdeutlichen. Die Kommunikationsverbindung zwischen dem Anwender und dem Experiment wird über einen Server im Labor abgewickelt; sie basiert auf Internet-Protokollen. Die Kontaktaufnahme erfolgt über den WWW-Browser des Anwenders mittels HTTP. Die so erzeugte Web-Seite stellt auf Anwenderseite Java-Applets zur Versuchssteuerung sowie zum Audio- und Video-Empfang bereit. Der Server ist als Java-Anwendung implementiert. Er kommuniziert mit einem Datenbank-Managementsystem (DBMS) über ein Applikationsinterface; in der Datenbank selber werden zeitliche Zugriffsrechte und Nutzer-Kennungen geprüft sowie Aktionen der Teilnehmer aufgezeichnet. Da die Kommunikation zwischen Anwender und Versuchsserver im Wesentlichen auf einer in Java programmierten Client/Server-Architektur beruht, sind die Studierenden nicht auf eine bestimmte Hardware oder ein Betriebssystem festgelegt. Ihr Web-Browser muss lediglich ein Java Runtime Environment besitzen. Sein lokales Interface zum Versuch ist allein der Browser, der jeweils mehrere Java-Applets als Client-Software vom Server herunterlädt. Dies erspart dem Anwender aufwändige Installationen und ermöglicht dem Versuchsbetreuer ein sofortiges Update der Versuchsumgebung, falls neue Funktionalitäten implementiert wurden. Ebenso können in seinem Browser auch vom Server zur Verfügung gestellte ‚Virtual Reality‘-Modelle

visualisiert werden. Je nach verfügbarer Bandbreite kann der experimentierende Student auch einen live Video- und Audio-Streams anfordern, um ein zusätzliches Gefühl der Telepräsenz im Labor zu erhalten. Auf der Client-Seite ist dazu JAVA Media Framework (JMF, Sun Microsystems) erforderlich, während ein MediaStreaming-Server [3] den Datenstrom je nach Nutzeranforderung (z.B. Bandbreite) aus dem Labor versendet. Kommerziell verfügbare Streaming-Verfahren wie beispielsweise die Kombination Real-Player/Real-Server [7] verzögern den Video- und Audiostream in der Regel um bis zu 5 Sekunden und sind daher für diesen Einsatzzweck ungeeignet. Verfahren, die kontinuierlich JPEG-komprimierte Einzelbilder senden, scheiden aufgrund der benötigten Übertragungsbandbreite ebenfalls aus.

Es bleibt zu erwähnen, dass zwischen dem Versuchserver und dem Praktikumsaufbau ein weiterer Rechner zwischengeschaltet ist, der spezielle Systemanforderungen (z.B. Echtzeitfähigkeit) einhält. Dieser Rechner ist für den Anwender nicht erreichbar.

Die zugrunde liegende Systemarchitektur und Kommunikationsstruktur ist in Bild 2 grafisch wiedergegeben.

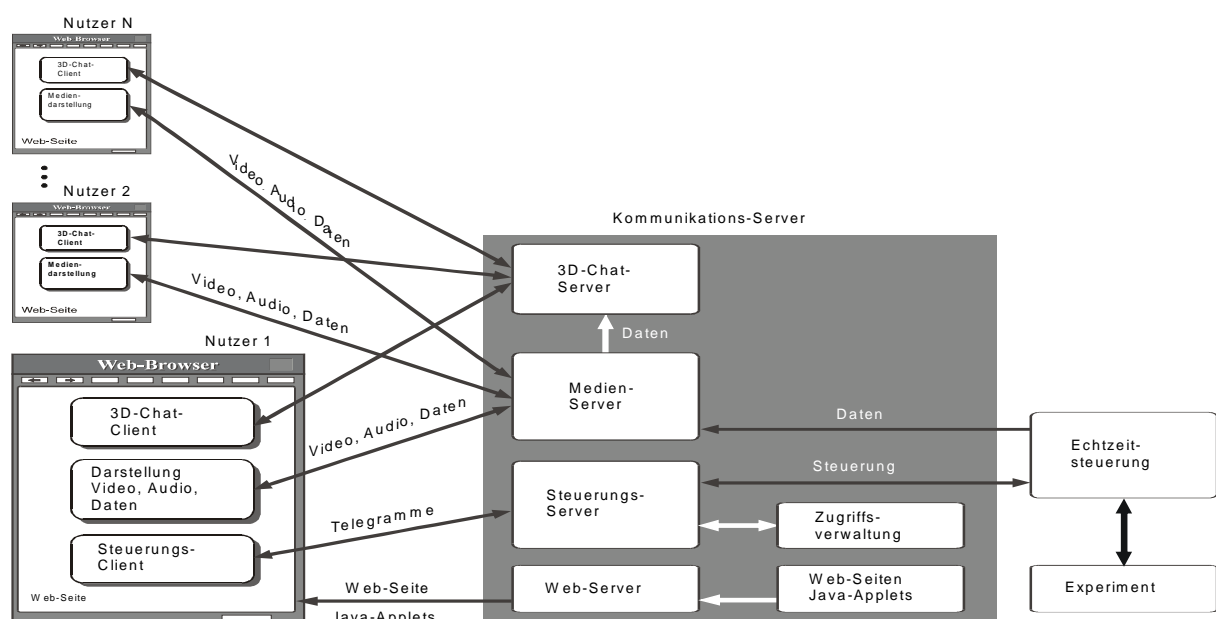


Bild 2: Systemarchitektur und Kommunikationsstruktur

4. Ein regelungstechnischer ‚virtueller‘ Laborversuch

Nach Ablauf von erforderlichen Vorbereitungen auf den Praktikumsversuch und Bestätigung durch den Versuchsbetreuer erhält der Studierende Zugriff auf das Reservierungssystem

und den realen Versuchsaufbau. Damit ist es ihm möglich, die Kommunikation mit dem eigentlichen Versuchsserver in einem vereinbarten Zeitrahmen aufzunehmen und Applikationen zu starten. In einem Steuerungsapplet (siehe Bild 1) können dann wesentliche Einstellungen für den Versuch vorgenommen werden. Hier werden Start- und Stoppzeiten sowie Reglerparameter eingegeben und damit die Positionsregelung gestartet. Zudem sind Signalwerte anwählbar, und der Status der Applikation wird mitgeteilt. Die Anwahl erfolgt über Schaltflächen im unteren Bereich des Steuerungsapplets .

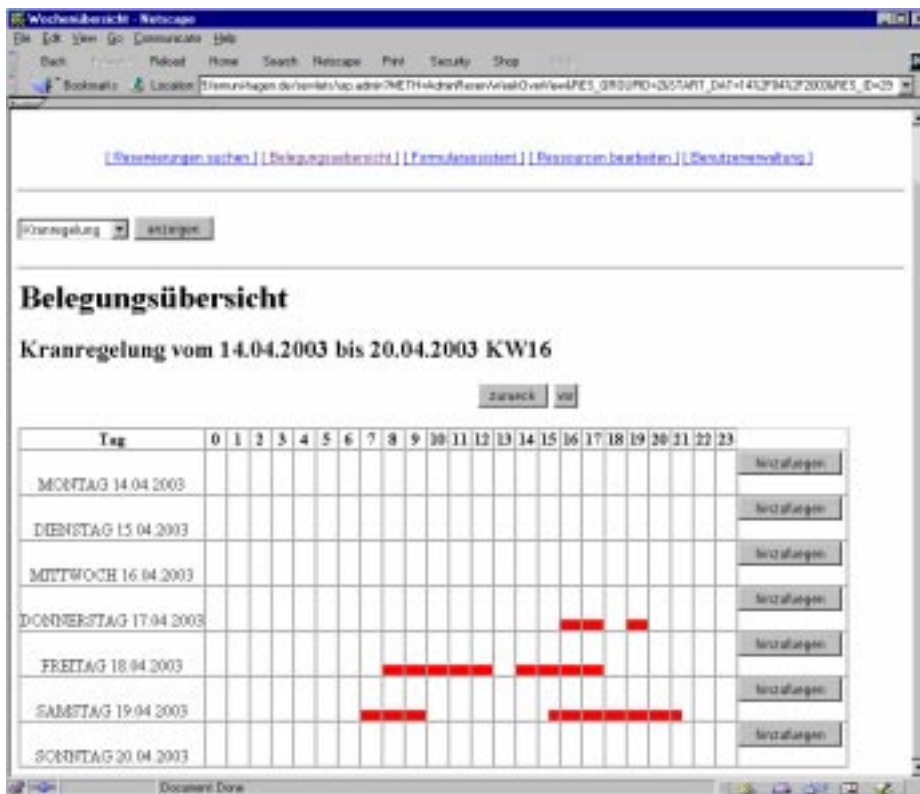


Bild 3: Buchung von Versuchszeit über ein Webinterface

Die Versuchsdurchführung wird dann audiovisuell erfasst und übermittelt; ein Live-Kamerabild ist über [3] erreichbar. Während des jeweiligen Versuchszyklus erhält der Studierende die ‚gestreamten‘ (live gesendeten) Messwerte vom Server und kann diese online in einem Messwert-Applet anzeigen lassen. Hier sind Live-Darstellungen der Signalverläufe im Zeitbereich und Analysen im Frequenzbereich (BODE, NYQUIST, Wurzelorte) möglich.

5. Gruppenarbeit im Internet

Auf die Option der Gruppenarbeit zur didaktischen Vermittlung von Problemlösungsstrategien im Team muss auch bei Internet-Experimenten nicht verzichtet werden. Ein möglicher Ansatz hierzu ist die Verwendung von ‚virtueller Realität‘ zum Aufbau einer kollaborativen Arbeitsumgebung. Dazu wird im Browser des Anwenders zusätzlich eine VRML-Darstellung (Virtual Reality Modelling Language) der Laborszenerie aufgebaut; über das ‚External Authoring Interface‘ (EAI) können alle modellierten Objekte manipuliert werden. So kann vom Versuchsserver jede Veränderung am Experiment mitgeteilt und unmittelbar im vorhandenen VRML-Modell berücksichtigt werden. Die aktuellen Geschehnisse im Labor werden in dieser Darstellungsform deutlich besser visualisiert als im Videostream (Bild 4); zudem erspart dieses Übertragungsbandbreite. Die Darstellung des VRML-Modelles kann alternativ durch ein VRML-Browser-plugin oder einen Java-basierten VRML-Renderer erfolgen. Java-basierte VRML-Renderer bieten aufgrund ihrer Plattformunabhängigkeit und weitgehende Unabhängigkeit von Webbrowser Implementierungen eine höherer Flexibilität gegenüber Browser-Plugins im Binärformat.

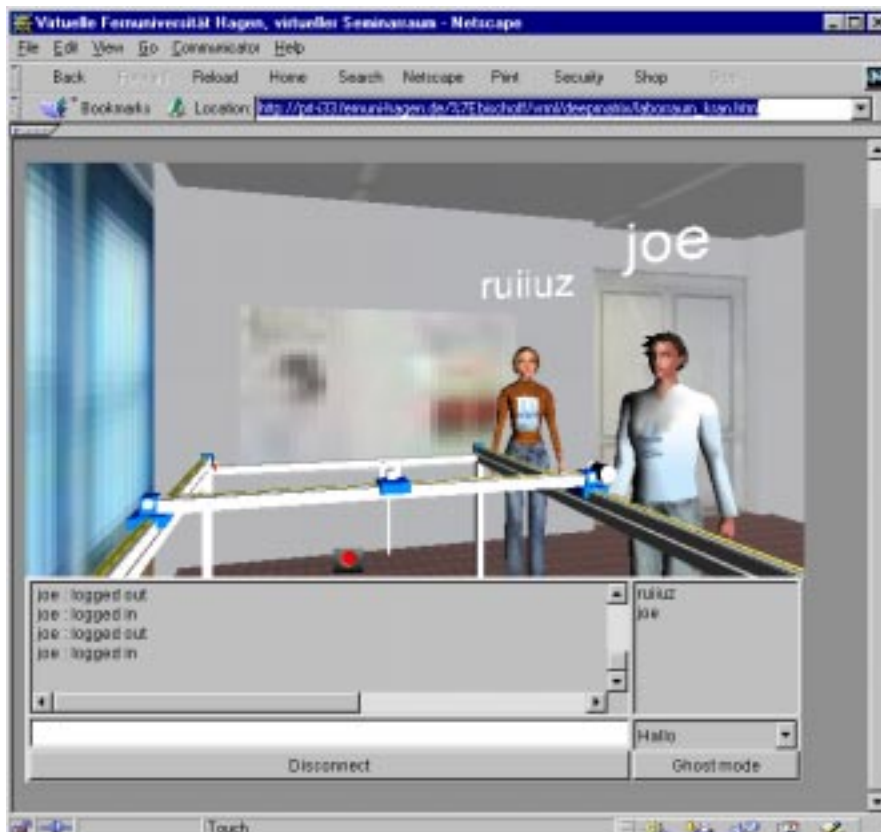


Bild 4: Darstellung des Versuchsaufbaus in ‚virtueller Realität‘ (virtuelle Präsenz)

Für die Gruppenarbeit interessant ist ein weiterer Aspekt des VR-Szenarios. So kann eine Gruppe von gleichzeitig über das Internet präsenten Anwendern in dieser ‚virtuellen Laborwelt‘ Gestalt annehmen. Dazu wählt jeder Anwender einen VR-Körper (Avatar) und kann diesen über das EAI in der Laborwelt bewegen und mit anderen kommunizieren. Technische Details dazu finden sich in [5].

Ein alternativer Ansatz ist die Kombination eines Labor-Videostreams mit integrierten Avataren, eine sogenannte ‚Augmented Reality‘ [6].

6. Ergebnisse und Ausblick

Die in diesem Beitrag skizzierten Teilaspekte von Telematikanwendungen in der Lehre werden für verschiedene Versuchsanordnungen entwickelt und evaluiert. Dabei ist zu beobachten, dass sich die Akzeptanz Internet-basierter Praktika durch die gering gehaltenen Software-Anforderungen auf Client-Seite und wachsende verfügbare Übertragungsraten (ISDN, DSL) bei den (Fern-)Studierenden stetig erhöht. Alle entwickelten Techniken und Methoden sind auch auf industrielle Anwendungsbereiche projizierbar. Denkbar sind auch Szenarien des „e-Learning“ (z.B. firmeninterne Weiterbildung), Schulungen von Bedienpersonal (z.B. durch Anlagenhersteller) mit darin integrierten „realen“ Praxisblöcken als „e-Learning“ und „e-Industrial Service“, aber auch die Integration dieser Entwicklungen in Systeme zur Fernwartung von technischen Anlagen an entfernten Kundenstandorten. Limitierungen des Internetzuganges der Benutzer durch Firewalls, welche sich in der Vergangenheit störend auf den Versuchsbetrieb auswirkten oder ihn ganz verhinderten, konnten durch eine VPN-Infrastruktur (virtuelle private Netzwerke) erfolgreich überwunden werden.

7. Literatur

- [1] Hoyer H., Jochheim A. und Röhrig C.: Teleoperation von Laborexperimenten, at Automatisierungstechnik 48 (2000), Oldenbourg-Verlag
- [2] SPS-Weiterbildungsangebot der FernUniversität in Hagen, gemeinsam mit der SIEMENS AG, Bereich Automatisierungstechnik, <http://prt.fernuni-hagen.de/sps/spsrail/>

- [3] BMBF-Projekt "LearNet", <http://www.learnnet.de> ,
Bundesförderprogramm "Neue Medien in der Bildung",
Förderkennzeichen: 08NM101

- [4] Oliviera J.C., Shirmohammadi S. und Georganas N.D.: Distributed
Virtual Environment Standards: A Performance Evaluation, In:
Proceedings of the IEEE/ACM International Workshop on Distributed
Interactive Simulation and Real Time Applications, Greenbelt,
USA, 1999

- [5] Bischoff A. und Röhrig C.: A Multiuser Environment for Remote
Experimentation in Control Education, IFAC Workshop on Internet
Based Control Education, Madrid, Spanien, 2001

- [6] Rastogi A., Milgram P. und Grodski J.J.: Augmented Telerobotic
Control: A visual interface for unstructured environments, In:
Knowledge Based Systems and Robotics Conference, Montreal, Kanada,
1995

- [7] <http://www.real.com> , Realnetworks 2003