

# Reale Systeme im ‚Virtuellen Labor‘

## Real systems in ‘Virtual laboratories’

Prof. Dr.-Ing. **Helmut Hoyer**, Dr.-Ing. **Michael Gerke**,  
**Andreas Bischoff**, **Christof Röhrig**, **Ivan Ivanov** und **Ivan Masar**,  
FernUniversität in 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 Praktikumssteilnehmer erlaubt.

### Abstract (optional)

Internet technologies and arising electronic media have a great impact on education and information access even in universities. Especially in the domain of control systems education advanced simulation tools are available in the Internet, which support the comprehension of theory by means of interaction. Even practical implementation are made feasible through teleoperation of real systems in ‘virtual laboratories’.

This paper describes an approach for teleoperation of a container crane and an inverted pendulum. It is mainly focused on infrastructural aspects and system architectures. Besides that a multi-user scenario is introduced, which allows even synchronized cooperation of practising workgroups.

### 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 2 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: 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:

### a) 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.

### b) 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).

### c) 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].

d) 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.

Es bleibt zu erwähnen, dass zwischen dem Versuchsserver 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.

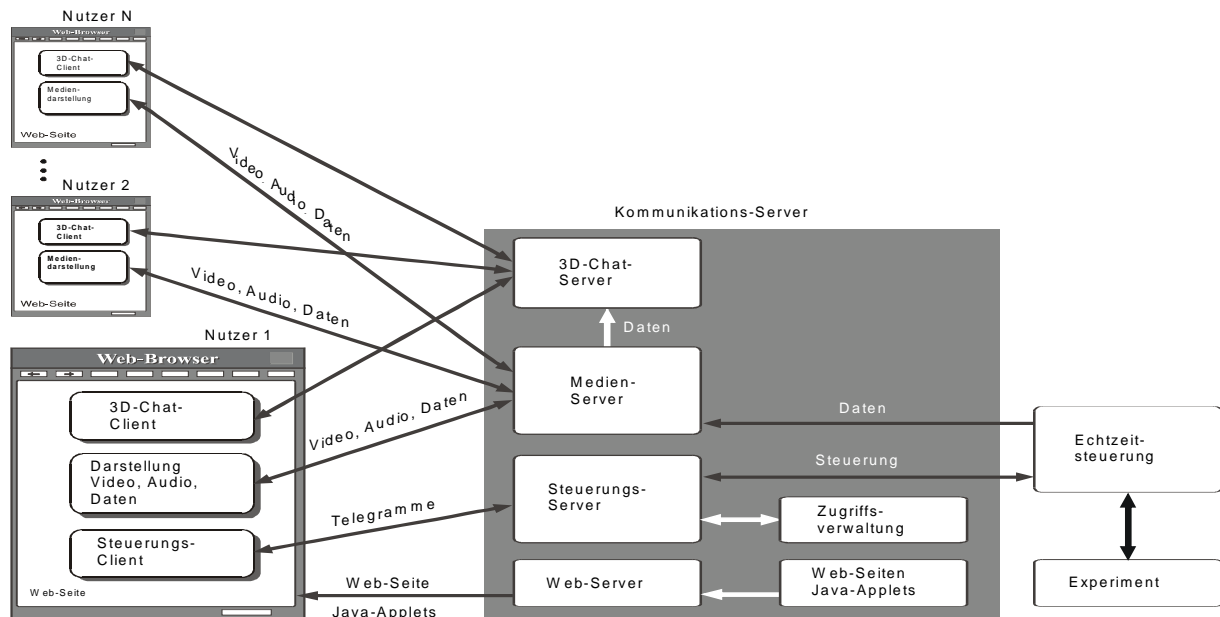


Bild 2: Systemarchitektur und Kommunikationsstruktur

#### 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 (‚Control Applet‘, in Bild 3) 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 ‚Control Applets‘.

Die Versuchsdurchführung wird dann audiovisuell erfasst und übermittelt; ein Live-Kamerabild ist über [3] erreichbar.

## Control applet



Bild 3: ‚Control Applet‘ zum Laborversuch „Brückenkran“

Während des jeweiligen Versuchszyklus erhält der Studierende die ‚gestreamten‘ (live gesendeten) Messwerte vom Server und kann diese on-line in einem Messwert-Applet anzeigen lassen. Hier sind Live-Darstellungen der Signalverläufe im Zeitbereich (Bild 4) und Analysen im Frequenzbereich (BODE, NYQUIST, Wurzelorte) möglich.

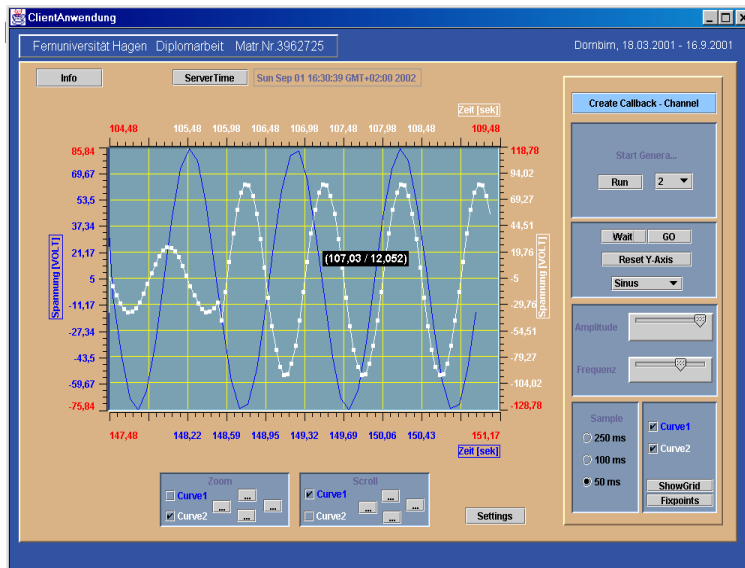


Bild 4: Live-Darstellung von Messwerten (on-line)

## 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 6); zudem erspart dies Übertragungsbandbreite.

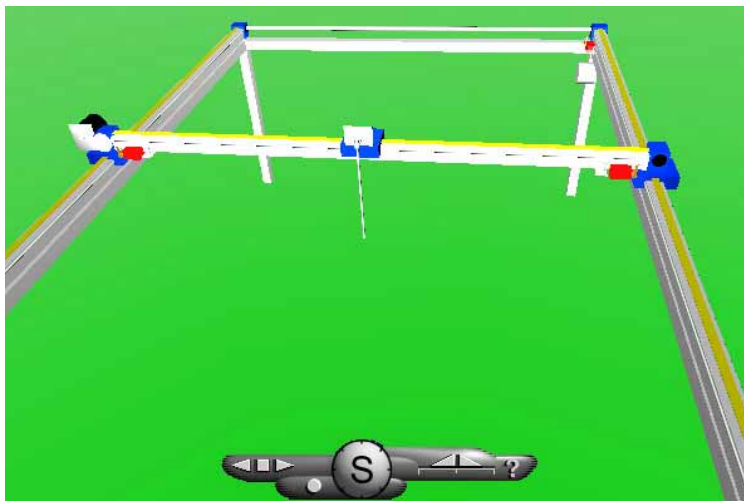


Bild 6: Darstellung des Versuchsaufbaus in ‚virtueller Realität‘ (virtuelle Präsenz)

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].

## 5. Ergebnisse und Ausblick

Die in diesem Beitrag skizzierten Teilaspekte ‚realer Systeme im virtuellen Labor‘ 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.

## **6. Danksagungen**

Die hier beschriebenen Arbeiten sind teilweise im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes ‚LearNet‘ entstanden; dieses Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 08NM101-D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

## **7. Quellenverzeichnis**

- [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