

Experimentieren aus der Ferne

Ferngesteuertes Labor im Internet (Remotely Controlled Laboratory – RCL)

S. Altherr, M. Vetter, B. Eckert und H. J. Jodl

Fachbereich Physik, Technische Universität Kaiserslautern

Kurzfassung

Der Einsatz von Computern und Multimedien sowie Internet und neuen Kommunikationstechniken erlaubt neue Formen des Lehrens und Lernens wie Fernstudium, blended learning, Nutzung virtueller Bibliotheken u. a. m. Das hier vorgestellte RCL-Projekt soll dazu einen weiteren Beitrag liefern. Die Idee besteht darin, dass ein Benutzer mit PC am Ort A via Internet einen realen Versuch am Ort B bedienen kann. Zur Zeit sind etwa 10 RCLs realisiert (z. B. Elektronenbeugungsröhre, Beugung und Interferenz von Licht). Weitere 10 sind im Aufbau oder befinden sich in einer Testphase (z. B. Radioaktivität, Messung der Lichtgeschwindigkeit). Essentielle Merkmale von RCLs sind die intuitive Nutzung und Interaktivität (Bedienen technischer Parameter), die Möglichkeit, unterschiedliche Perspektiven der Beobachtung des laufenden Versuchs über Webcams anzuwählen sowie eine möglichst schnelle Übertragung der vom Benutzer gemessenen Daten. Ein maßvoller Einsatz von sinnvoll ausgewählten realen Versuchen als RCL erlaubt neue Typen von Hausaufgaben und Übungen, ferner Projektarbeit sowie Durchführung von Demonstrationsversuchen durch Lernende, was sonst Lehrenden vorbehalten war.

1. Einführung

Das reale Experiment hat eine zentrale Rolle in der Physikausbildung an Schule und Hochschule. Darüber hinaus hat der sinnvolle Einsatz von Rechnern (seit etwa 1970) und von Multimedien (seit etwa 1990) die Bedeutung der Experimente nur bereichert: Animation von komplexen Vorgängen (z. B. Regelprozesse im Kernkraftwerk, Phänomene der Astrophysik), interaktive Simulationen zur Vertiefung (z. B. Phasenraumdarstellung chaotischer Prozesse) [1], interaktive Bildschirmexperimente zum Selbststudium (z. B. elektrische Schwingkreise) [2] sowie Messvideos als Variante bei Hausaufgaben (z. B. thermische Längenausdehnung mit Michelson-Interferometer) [3].

Die Frage ist, wie kann das Internet weiterhin sinnvoll eingebunden werden: bekannt sind beispielsweise Videoübertragungen von Vorlesungen an andere Lernorte [4], virtuelle Bibliotheken, Nutzung von Datenbanken und Bildungsservern [5]. Hinzu kommt, dass der Anteil an Fernstudien zunehmen wird; dies bereitet gerade in experimentell orientierten Fächern (Physik, Chemie, Biologie) Probleme, will man nicht nur Vorlesungsmitschriften elektronisch verschicken [6].

Abb. 1

Die Idee der RCLs besteht darin, einen an einem bestimmten Ort aufgebauten realen Versuch von einem Benutzer mit PC an einem entfernten Ort über das Internet fern zu bedienen (Abb. 1). Dieses Prinzip ist seit vielen Jahren in Forschung und Technik bekannt, wenn man beispielsweise an die Steuerung komplexer Fabrikationsstraßen oder an Weltraumteleskope und Weltraumsonden denkt. Wichtig bei der Umsetzung der RCLs ist, dass der Benutzer mit einer Webcam den realen Versuch beobachten, mit einer anderen Webcam gegebenenfalls die Änderung technischer Parameter mitverfolgen und online „seine“ Messdaten aufnehmen kann.

Die Bedienung des Versuchs sollte für den Benutzer möglichst authentisch und transparent sein, d. h. der Versuch sollte wie ein herkömmlicher Realversuch im Unterricht oder Praktikum „überkommen“. Um diese Vorgehensweise bei den RCLs zu vermitteln, haben wir deshalb mit einem Labyrinth-Roboter zunächst einen spielerischen Zugang geschaffen (Abb. 2).

Abb. 2

Weitere Anforderungen an RCLs sind, dass Zugriffe leicht möglich und die Bedienung intuitiv sein sollten. Messergebnisse/Beobachtungen sollten möglichst schnell verfügbar sein. Darüber hinaus sollte der Benutzer alle benötigten Informationen (sei es Hintergrundwissen/Theorie, seien es technische Angaben zu Geräten etc.) direkt aus dem in der Webseite integrierten Begleittext zum Versuch erhalten und nicht auf weitere, nachzuschlagende Quellen angewiesen sein.

Der Bedarf an RCLs ist durchaus gegeben. Allerdings muss man kritisch mitverfolgen, ob der Benutzer das jeweilige RCL nur im Spielmodus, im Lernmodus oder sogar im Forschungsmodus bedient; dazu später mehr. Bisher haben wir drei Zielgruppen entsprechend berücksichtigt. Erstens: Zum Selbststudium - für Hausaufgaben und Übungen via Internet - soll Schulen und Universitäten der Zugang zu einem Netzwerk von RCLs ermöglicht werden. Zweitens: Für interessierte Laien oder für Ausstellungsbesucher sollen RCLs eine weitere Vertiefung mit einem Thema erlauben (z. B. Computertomographie). Drittens: Besonders für Studenten aus Ländern der sog. Dritten Welt könnte das Netzwerk an RCLs den Mangel entsprechender Praktikumslabore im Rahmen der Ausbildung beheben. In diesem Sinne kann ein weltweites Netzwerk von RCLs einen positiven Beitrag zur Globalisierung liefern.

Da also diese Technik – reale Versuche über das Internet zu bedienen – nicht neu ist, sollte es weltweit bereits Ansätze zu RCLs geben, seit dem Computer verfügbar sind (~ 1970) und seit dem das Internet etabliert ist (~ 1990).

2. Weltweiter Bestand

In einer gründlichen Recherche weltweit im Mai 2004 haben wir rund 70 RCLs gefunden, wobei nur etwa 50 frei zugänglich waren, bei einigen ist ein Benutzeraccount notwendig, einige Angebote sind kostenpflichtig oder nur für einen geschlossenen Benutzerkreis zugänglich (übrigens lehnen wir Gebühren ab). Nur etwa 10 dieser RCLs funktionierten weitgehend problemlos; der Rest enthielt tote Links, der Versuch war „out of order“, er war kein echtes RCL in unserem Sinn, oder das Bedienungsprogramm reagierte nicht. Die meisten der Versuche bezogen sich entweder auf Steuer-/Regeltechnik oder auf Spielen (z. B. Bauklötze mittels Roboterarm bewegen [7]). In Abbildung 3 haben wir drei Beispiele, die unserer Ansicht nach zu den Besten zählen, herausgegriffen. Insgesamt ein enttäuschendes Ergebnis bedenkt man das Potential, das in einer Kombination von Internet – physikalischen Versuchen – Technik steckt.

Abb. 3

Die meisten Entwickler unterschätzen den Aufwand und die benötigten finanziellen Mittel zum Aufbau und insbesondere zum Betrieb eines RCL. Wegen fehlender Standards (Experiment-Rechner-Interface, Website-Steuersoftware-Interface etc.) kommt es zu vielen individuellen Lösungen und damit zu unnötigen Hindernissen für Anbieter und Benutzer [8]. Darüber hinaus stehen im Moment technische Probleme (z. B. verschiedene Interfacesysteme, Programmiersprachen und Browserstandards, Auslesen mehrerer Webcams, Datenübertragung)

im Vordergrund und lassen kaum Zeit für notwendige didaktische Anstrengungen – z. B. wie kann, wie sollte ein RCL in unterschiedliche Lehr-/Lernsituationen eingebunden werden.

Wer sich den derzeitigen Stand an RCLs selbst genauer ansehen will, sei auf folgende Webseiten hingewiesen, die eine einigermaßen vollständige Zusammenstellung der weltweit verfügbaren RCLs bieten:

- http://www.learninglab.de/i_labs/docs/Uebers_Fernlabore/uebersicht_fernlabore.html
- <http://www.mech.uwa.edu.au/jpt/tele/remote-labs.html>

3. Unsere Entwicklung (2002-2005)

Als Prototyp – zum Testen, als Machbarkeitsstudie, um Fehler machen und Erfahrungen sammeln zu können – haben wir in Kaiserslautern (2002) als erstes einen Versuch zur Beugung von Elektronen an einer Graphitfolie (Elektronenbeugungsröhre und CASSY-S der Firma Leybold [9, 10]) als RCL gestaltet. Mit Hilfe dieses zentralen Versuchs des Physikunterrichtes kann man die Netzebenenabstände von Graphit bestimmen, indem man das Beugungsbild beschleunigter und an der Graphitfolie gestreuter Elektronen variiert und ausmisst (Abb. 4).

Abb. 4

Der Benutzer kann die Beschleunigungsspannung ändern, die Beugungsringe im Bild der Webcam vermessen (Skala zum Einblenden) und als Foto ablegen sowie die eigenen Messdaten auswerten. Das Menü der Webseite zeigt unter dem Punkt „Versuchsaufbau“ ein Foto vom Versuchsaufbau, in dem die Einzelkomponenten des Aufbaus erklärt werden; ein weiterer Menüpunkt enthält das Hintergrundwissen sowie Herstellerangaben zur Elektronenröhre; der Menüpunkt „Auswertung“ schildert eine exemplarische Analyse mit Diskussion der Messfehler sowie eine Reihe von Vergleichsfotos früherer Messungen, so dass der Benutzer erkennt, wie das Messergebnis auszusehen hätte. Fragen zum Versuch runden die Diskussion ab. Wie bei der Durchführung des realen Versuchs, etwa als Demonstrationsversuch im Unterricht, können für den Benutzer Dinge „schief gehen“ (Fluoreszenz der Röhre wird schwächer: Altern der Röhre, einblendbare Skala und Zentralbild passen nicht zusammen: Dejustage des Aufbaus, Spannung nicht weiter zu erhöhen, da am maximalen Wert: Schutz der Röhre). Der Versuch läuft seit 3 Jahren, abgesehen von einem Austausch der Röhre, problemlos (siehe Abschnitt 5: Erste Erfahrungen).

Für eine Ausstellung im Deutschen Museum (Herbst 2002 – Herbst 2003 zum Thema „Klima“) wurden folgende RCLs aufgebaut, in Betrieb genommen und etwa 1 Jahr lang im Dauerbetrieb getestet (rund 20.000 Benutzer – siehe weiter unten):

- | | |
|---------------------------------|-------------------|
| - Roboter im Labyrinth (Abb. 2) | - IR-Kamera |
| - optische Pinzette (Abb. 5) | - Brennstoffzelle |

Wir wollen hier kurz die optische Pinzette als RCL vorstellen; dieser RCL-Versuch steht repräsentativ für unser Anliegen, dass interessierte Laien mit diesem Versuch „Miniforschung“ betreiben können, hier zum Thema „Telemanipulation mit Licht“. Winzige Glaskügelchen (Durchmesser typisch Mikrometer) werden in einer Suspension auf einen Objektträger aufgebracht und mit einem Immersions-Lichtmikroskop beobachtet (Brownsche Bewegung der Kügelchen deutlich erkennbar). Wird zusätzlich ein Laser eingeschaltet, so kann ein ausgewähltes Kügelchen durch den Laserfokus gegriffen werden, relativ zum Objektträger bewegt und an einer vorher geplanten Position abgelegt werden, indem der Benutzer den Laser wieder ausschaltet (Abb. 5).

Abb. 5

Dieser Versuch ist eine äußerst ehrgeizige RCL-Variante, da ein aktuelles Forschungsinstrument aus Biophysik und Gentechnik verwendet wird. Die Erfahrung zeigt, dass weder Probleme bei den Apparaten noch bei den RCL-Komponenten auftraten, sondern bei der Probenpräparation und –haltbarkeit (passende Lösung, Adhäsion der Kügelchen etc.).

Für den Physikunterricht haben wir im Jahr 2004 drei weitere Versuche realisiert, die in Bälde freigeschaltet werden können.

- Beugung und Interferenz mit Licht (Testphase, Zugriff bereits möglich, vgl. Abb. 6),
- optische Analogie zur Computertomografie [11] (vgl. Abb. 7),
- Heißer Draht als Prototyp für Schülerprojekte mit Fischer-Technik (vgl. Abb. 7).

Der Versuch „Beugung und Interferenz“ ist ebenfalls ein zentraler Versuch der Wellenoptik (Demonstration der Phänomene, Modell Licht als Welle im Vergleich Experiment zu Simulation, anspruchsvolle mathematische Herleitung der Endformeln). Üblicherweise bereitet der Versuch als Demonstrationsexperiment eine Reihe von Problemen: Verfügbarkeit des Lasers und Sicherheitsaspekt, Auswahl passender Beugungsobjekte, Justage des optischen Strahlengangs, Einsatz im Unterricht meist qualitativ, quantitative Auswertung und systematische Variation der technischen Parameter zu zeitaufwendig.

Abb. 6

Eine Möglichkeit des Einsatzes könnte so aussehen, dass der Lehrer im Unterricht die Theorie vorbereitet sowie den Versuch qualitativ vorführt. Als Hausaufgabe sollen Gruppen von Schülern den Versuch als RCL durchführen; jede Gruppe hat ein Objekt (Parameter: Spaltbreite, Spaltabstand etc.) auszumessen und auszuwerten sowie Verständnisfragen im Diskussionsteil zu bearbeiten. Als „Hausaufgabenbesprechung“ stellen die Gruppen ihr Ergebnis im Unterricht vor.

Im Laufe 2005/2006 werden wir weitere Versuche für den Physikunterricht aufbauen, testen und zur Nutzung freigeben (siehe Abschnitt 6: Weitere Planung).

4. Didaktisches Begleitmaterial

Unterschiedliche Zielgruppen (interessierte Laien, Schüler, Studenten, Lehrer) verlangen unterschiedliches Material. Für interessierte Laien haben wir die Website zu RCLs strukturiert nach „Spielen – Lernen – Forschen“ [12], für den Unterricht haben wir das übliche Schema „Einstieg – Theorie – Experiment – Auswertung – Diskussion“ gewählt [13]. Zusätzlich hat natürlich jedes als RCL zu bearbeitende Thema seine Besonderheiten.

Wir meinen aber, dass folgende Elemente unverzichtbar sind: Bereitstellung des physikalischen Hintergrunds (man kann nicht erwarten, dass der Benutzer die RCL-Bedienung unterbricht, um sich z. B. in einer Bibliothek näher zu informieren), hinreichende Beschreibung der verwendeten Apparate/Geräte (z. B. Links zu Datenblättern von Herstellern); Messbeispiele indirekt, so dass der Benutzer **sein** Messergebnis einordnen kann (z. B. Archiv von Abbildungen oder Webcam-Fotos früherer Messungen); exemplarische Auswertung mit Diskussion von Messergebnissen und Messfehlern (z. B. Vergleich mit Literaturwerten, Fehlerquellen) sowie Verständnisfragen.

In der Endfassung unserer RCLs zielen wir darauf ab, dass Schüler/Studenten eine handlungsorientierte RCL-Variante benutzen können, dass der Lehrer einen vorbereiteten Lehrpfad, in den das RCL eingebunden ist, liest oder bearbeitet sowie, dass eine eher technisch ausgerichtete Variante des RCL mit Programmierhinweisen für Fortbildungskurse (z. B. im Hinblick auf Schülerprojekte) vorliegt.

5. Erste Erfahrungen

Wir erhalten Rückmeldungen auf ganz unterschiedliche Weise und vor allem von drei Zielgruppen: durch Fernstudenten (FiPS), durch Teilnehmer von Lehrerfortbildungskursen, durch individuelle Kontaktaufnahme von Benutzern bei Ausstellungen. Darüber hinaus haben wir bei einigen RCLs ein Tracking/Monitoring installiert; d. h. wir können von einem Benutzer alle in diesem Zusammenhang interessanten Daten erfassen, indem wir die IP-Nummer identifizieren: Benutzer, Institut, Land, welche Parameter wie variiert werden (Spielen oder zielgerichtetes Arbeiten), Zeitdauer u. a. m. Allerdings respektieren wir natürlich Regeln des Datenschutzes. Wir wollen aber in Zukunft dieses Tracking/Monitoring ausbauen und verbessern, um zu erkennen, wie gut/ausführlich werden die Basistexte gelesen (z. B. durch Verfolgung von „Sprüngen“ zwischen einzelnen Seiten), wann und warum bricht ein Benutzer ab u. a. m. Die Zahl der Zugriffe auf RCLs im Deutschen Museum und in Kaiserslautern sind für einen gewissen Zeitraum erfasst worden (Tab. 1). Demnach werden die RCL-Versuche 1-5mal pro Tag weltweit aufgerufen, im Vergleich dazu führt ein Lehrer einen Versuch einmal pro Jahr real im Unterricht vor.

Tabelle 1

Der finanzielle Mehraufwand (über den realen Versuch hinaus) umfasst Hardware (Interface, PC, Webcams) sowie Programmierkosten (typisch 1-2 Personenmonate pro Versuch in der Anfangsphase, d. h. bis Programmmodule übertragbar sind). Wegen fehlender Standards und wegen notwendiger Neuentwicklung (z. B. Ansprechen mehrerer Webcams bei einem Versuch) können, je nach Versuch, auch höhere Entwicklungskosten anfallen. Wir nutzen unsere RCLs in Kaiserslautern sowie auch die in der Ausstellung am Deutschen Museum parallel sowohl für die Benutzer vor Ort (z. B. Optische Pinzette im Praktikum für Biophysik-Studenten) als auch via Internet. Wollen auf ein RCL mehrere Nutzer gleichzeitig zugreifen, so wird der Zugriff in eine Warteschlange gestellt und dies dem wartenden Online-Benutzer angemessen mitgeteilt.

Die Wartung des realen Versuches ist wie üblich anzusehen. Allerdings ist die Betreuung der Experiment-Rechner und der Webserver sehr viel aufwendiger. Da die RCLs für maximale Interaktivität ausgelegt sind, sind diese Rechner regelmäßig Angriffen von außen (Hacker, Viren, Trojaner, ...) ausgesetzt. Dieses Problem haben wir zur Zeit durch Installation einer Firewall gelöst. Aber die technische Entwicklung auf beiden Seiten geht weiter, für Gebrauch wie für Missbrauch.

6. Weitere Planung

In unmittelbarer Zukunft (2005-2006) planen wir in Zusammenarbeit mit der Intel® GmbH und mit Unterstützung der Eberhard von Kuenheim-Stiftung (BMW AG) sowie mit dem Arbeitgeberverband Gesamtmetall für deren Lehr-/Lernplattform [14] etwa 10 weitere RCLs zu realisieren. Deshalb haben wir aus den rund 300 Schulexperimenten für die Sekundarstufe II nach folgenden Kriterien eine Vorauswahl von ca. 30 Versuchen getroffen:

- Wie zentral/bedeutungsvoll ist der Versuch für den Physikunterricht?
- Welche Stellung hat der Versuch im Lehrplan (nicht nur thematisch)?
- Welche Lern-/Verständnisschwierigkeiten hat der Schüler/Student?

- Wie leicht/schwer ist der reale Versuch durchzuführen?
- Welche Interaktionsmöglichkeiten als RCL sind sinnvoll anzubieten?
- Wie ist eine schnelle Datenweiterverarbeitung möglich?
- Wie robust ist der reale Versuch inklusive PC-Steuerung (Wartungsaufwand)?
- Ist der technische Aufwand gerechtfertigt?
- Welche Medien können begleitend eingesetzt werden?

Folgende Versuche sind derzeit in Arbeit:

- Kennlinien von elektronischen Bauelementen,
- Auf- und Entladen von Kondensatoren,
- elektrische Schwingkreise,
- Windkanal,
- Radioaktivität,
- Fadenstrahlrohr (e/m-Bestimmung),
- Lichtgeschwindigkeitsmessung (Laufzeitmethode),
- Fotoeffekt (h -Bestimmung).

Es würde hier zu weit führen, die genannten RCLs detaillierter zu beschreiben.

Nachdem diese Versuche von uns aufgebaut, getestet und im Dauerbetrieb als RCL geprüft wurden, sollen diese an „Intel-Gymnasien“ [14] übergeben und der betreuende Lehrer eingewiesen werden. So soll ein Netzwerk von RCLs an Schulen entstehen. Die Schüler sollen die RCLs nicht nur im Rahmen von Demonstrationsexperimenten oder Hausaufgaben im Physikunterricht nutzen, sondern sie sollen auch in die Lage versetzt werden, ihr eigenes RCL-Projekt zu gestalten. In Abbildung 7 haben wir zwei Beispiele angeführt, wie wir uns diese Variante unter Zuhilfenahme von Fischertechnik-Bausätzen [15] vorstellen.

Abb. 7

RCL-Versuche in Kooperation mit Universitäten europäischer Länder sowie aus der sog. Dritten Welt sind relativ weit gediehen und befinden sich derzeit im Aufbau. Neben dem Deutschen Museum, die die Abteilung „Zentrum für Neue Technologien“ im Jahr 2007 eröffnen wird, ist die Zusammenarbeit mit anderen naturwissenschaftlichen Museen angedacht. Im Rahmen dieses Projekts ist ein Prototyp des Rastertunnelmikroskops als RCL fast fertig.

Langfristig soll ein weltweites Netzwerk von solchen RCL-Clustern entstehen, die unterschiedliche RCLs anbieten. Die Vorteile liegen auf der Hand: nicht ein Institut allein muss sich um die Wartung aller realen Versuche kümmern, man lernt gegenseitig aus Erfahrungen, synergetische Effekte bei der Lösung technischer Probleme lassen sich nutzen, es wird verschiedene kulturelle Zugangsweisen geben, ein RCL zu installieren und in Lernumgebungen einzubinden und zu erproben.

7. Schlussbemerkungen

- Mit dem RCL-Projekt wollen wir versuchen, moderne Kommunikationstechniken und das Internet noch weiter für die Lehre zu nutzen.
- Wir möchten Fernstudiengänge interessanter und attraktiver gestalten: weg von der Papierform, hin zu webbasierten Studiengängen, gerade in experimentell orientierten Fächern.
- Der Stellenwert von Realexperimenten soll gegenüber Simulationen und Animationen betont werden.

- Durch den Spielmodus sollen junge Menschen im Internet an Technik und Bildung heran geführt werden.

8. Danksagung

Abschließend wollen wir den Sponsoren des Projekts danken, die das Potential der RCLs stets richtig eingeschätzt haben: der Eberhard von Kuenheim-Stiftung der BMW AG, vertreten durch Dr. Glaser und Frau Huber, dem Arbeitgeberverband Gesamtmetall (Think Ing), vertreten durch Herrn Gollub, dem Deutschen Museum (Dr. Hauser) und seit kurzem der Intel® GmbH – Education Group, vertreten durch Frau Dr. Roth und Herrn Ensle. In der Anfangsphase war die Mitarbeit von Netzmedien GbR, vertreten durch die Herren Dr. Roth und Maus, äußerst wichtig. Ferner hat Herr König im Rahmen seiner Examensarbeit im RCL-Projekt mitgewirkt.

9. Literatur

- [1] Stellvertretend für die vielen Entwicklungen zum Einsatz von Simulationen und Animationen in der Physiklehre seien hier die Physlets® von W. Christian und Kollegen genannt: *W. Christian, M. Belloni: Physlet® Physics – Interactive Illustrations, Explorations, and Problems for Introductory Physics*, Pearson Education, Upper Saddle River NJ 2004; <http://webphysics.davidson.edu/applets/applets.html>
- [2] *J. Kirstein, R. Rass: Interaktive Bildschirmexperimente - eine neue Möglichkeit zum individuellen Lernen mit Multimedia*, MNU **50** (1997) 1, S. 27-28; <http://www.ifpl.tu-berlin.de/>
- [3] (a) *A. Wagner, S. Altherr, B. Eckert, H. J. Jodl: Messvideos in der Physikausbildung*, in: DPG-Frühjahrstagung Didaktik der Physik - Augsburg 2003, *V. Nordmeier* (Hrsg.), Lehmanns Media, Berlin 2003 (CD-ROM); (b) *A. Wagner, S. Altherr, B. Eckert, H. J. Jodl: Multimedia in physics education: a video for the quantitative analysis of the Reynolds number*, *European Journal of Physics* **24** (2003), S. 297; (c) <http://pen.physik.uni-kl.de/videos.html>
- [4] Eine Diskussion über didaktischen Sinn oder Unsinn derartiger Internet-Übertragungen wollen wir an dieser Stelle nicht führen.
- [5] Man vergleiche beispielsweise die Zusammenstellung in: *S. Altherr, A. Wagner, B. Eckert, H. J. Jodl: Datenbanken und Evaluationskriterien für Multimedien in der Physik*, *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* Nr. 3, **52** (2003), S. 34.
- [6] Exemplarisch: Früheinstieg ins Physikstudium (FiPS): <http://www.fernstudium-physik.de/>; Vernetztes Studium Chemie: <http://www.vs-c.de/beispiele/index.html>
- [7] *K. Taylor, B. Dalton*, University of Western Australia: <http://telerobot.mech.uwa.edu.au/>
- [8] *S. Altherr, B. Eckert, H. J. Jodl: Remote Controlled Laboratories – Experimentieren aus der Ferne*, in: DPG-Frühjahrstagung Didaktik der Physik - Düsseldorf 2004, *V. Nordmeier, A. Oberländer* (Hrsg.), Lehmanns Media, Berlin 2004 (CD-ROM).
- [9] Leybold Didactic GmbH, <http://www.leybold-didactic.de/>
- [10] RCL Elektronenbeugung: <http://131.246.237.97/rclab/web/index.shtml>
- [11] In einem ersten Schritt realisieren wir eine Variante, die auf dem Prinzip der Rückprojektion beruht (nach einem Vorschlag eines optischen Analogieversuchs für die Sek. I: *R. Berger, B. Kölbl, H. Wiesner: Die Röntgen-Computertomographie – eine medizintechnische Anwendung für den Physikunterricht*, *Praxis der Naturwissenschaften Physik* Nr. 4, **48** (1999), S. 44), gleichwohl wir für die Sek. II eine geeignetere Variante (z. B. nach: *B. Eckert, W. Stetzenbach, H. J. Jodl: LowCost-HighTech*, Aulis Verlag Deubner, Köln 2000, Versuch Nr. 19) bevorzugen und in einem späteren Stadium umsetzen werden.
- [12] remote_lab (Eberhard von Kuehnheim-Stiftung, BMW AG): <http://www.remote-lab.de/>
- [13] RCLs an der TU Kaiserslautern (AG Jodl): <http://131.246.237.56/>

- [14] Intel® Lehren für die Zukunft: <http://aufbaukurs.intel-lehren.de/index>
- [15] <http://www.fischertechnik.de/index.html>

Tabelle 1: Nutzung der RCLs

a) am Deutschen Museum im Rahmen der Ausstellung (Januar – März 2003 ausgewertet)

	Zugriffe gesamt	vor Ort	über Internet
Optische Pinzette	4509	4115	394
IR Kamera	7744	7244	500
Labyrinthroboter	5060	4567	493

d. h. etwa 50 User pro Versuch pro Tag vor Ort, etwa 5 User pro Versuch pro Tag über das Internet.

b) Elektronenbeugungsröhre in Kaiserslautern via Internet

Juli 2002 - Oktober 2002	2-3 pro Tag
Juli 2002 - Dezember 2003	1-2 pro Tag
Mitte Dezember 2004 - Mitte Januar 2005	4-5 pro Tag

Abbildungen:

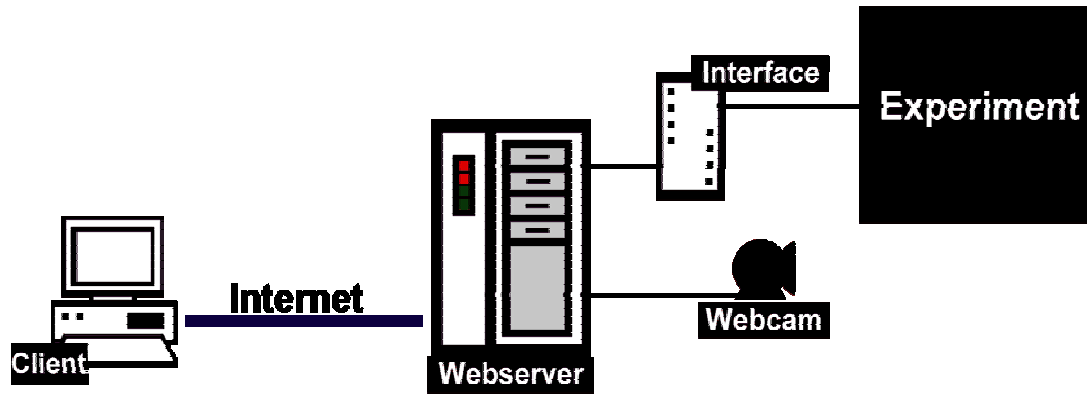
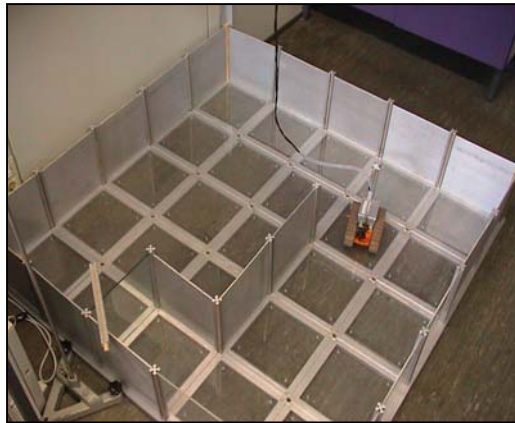


Abb. 1: Prinzip des RCL: Ein Benutzer am Ort A mit PC (Client) bedient über das Internet ein reales Experiment am Ort B. Der Versuch wird vom Benutzer über einen Rechner (gleichzeitig ein Webserver) mit Interface gesteuert; eine Webcam erlaubt die Beobachtung des Experiments.



Momentaner Nutzer
he

aktueller Zustand
Aktion in weniger als 30 Sekunden erforderlich um Kontrolle
zu behalten. **Exit »**

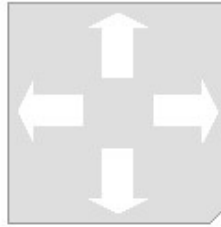


Abb. 2: RCL „Roboter im Labyrinth“: Im linken Teil sieht man das veränderbare Labyrinth sowie den fahrbaren Roboter. Zwei Sichtweisen sind möglich: Laborübersicht von schräg oben (Bild links) sowie Robotersicht (Webcam auf Roboterwagen). Im rechten Teil erkennt man das in diesem Fall recht einfache Bedienfeld zur Bewegung des Roboters sowie die Statusanzeige. Eine Aufgabe für den Benutzer beispielsweise besteht darin, den Ort im Labyrinth zu finden, wo der Benutzer den Roboter in einer verspiegelten Wand in der Robotersicht sehen kann.

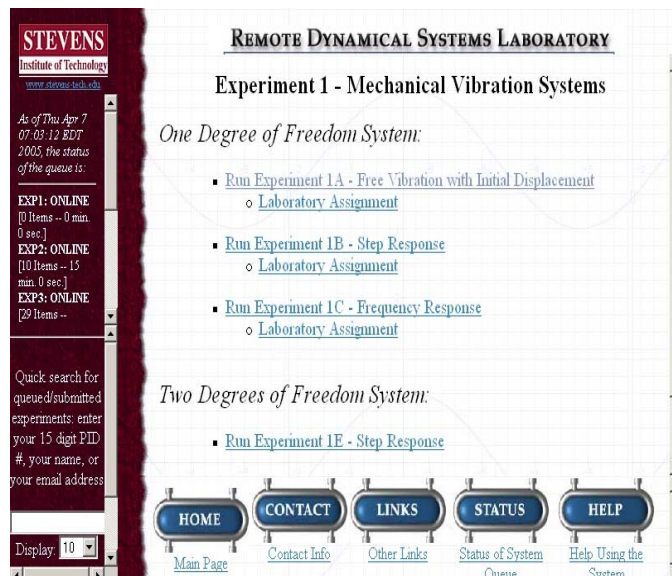


Abb. 3: Einstiegsseiten von unserer Meinung nach guten RCLs weltweit (Auswahl). Links oben: Gamma-Spektrometer (<http://electron5.phys.utk.edu/Gamma/>), rechts oben: Sternwarte (<http://www4.ellinogermaniki.gr/ep/eudoxos/etool/>), unten: Remote Dynamical Systems Laboratory (Ingenieurwissenschaften, <http://dynamics.soe.stevens-tech.edu/>).

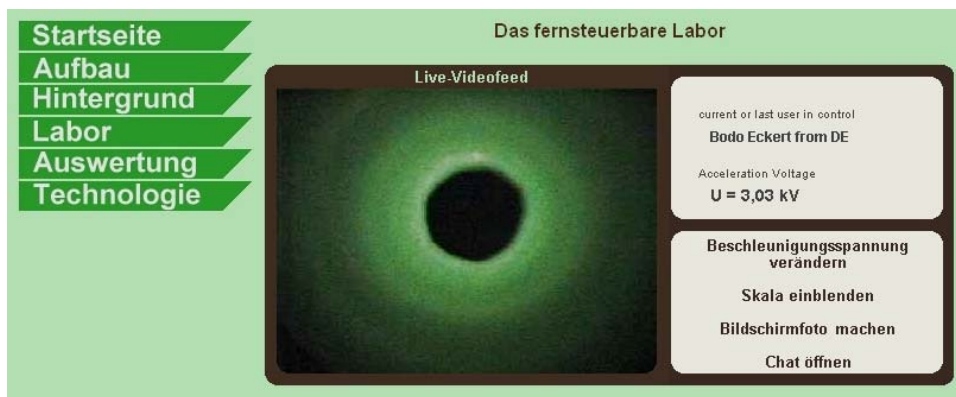


Abb. 4: RCL „Elektronenbeugungsröhre“: Versuchsaufbau mit CASSY-Interface, Spannungsversorgung, Elektronenröhre und Webcam (oben). Ansicht der Webseite unter dem Menüpunkt „Labor“: Live-Videobild (die 0. Beugungsordnung ist ausgeblendet) sowie gewählte Beschleunigungsspannung und freiwillige Benutzerdaten (unten).

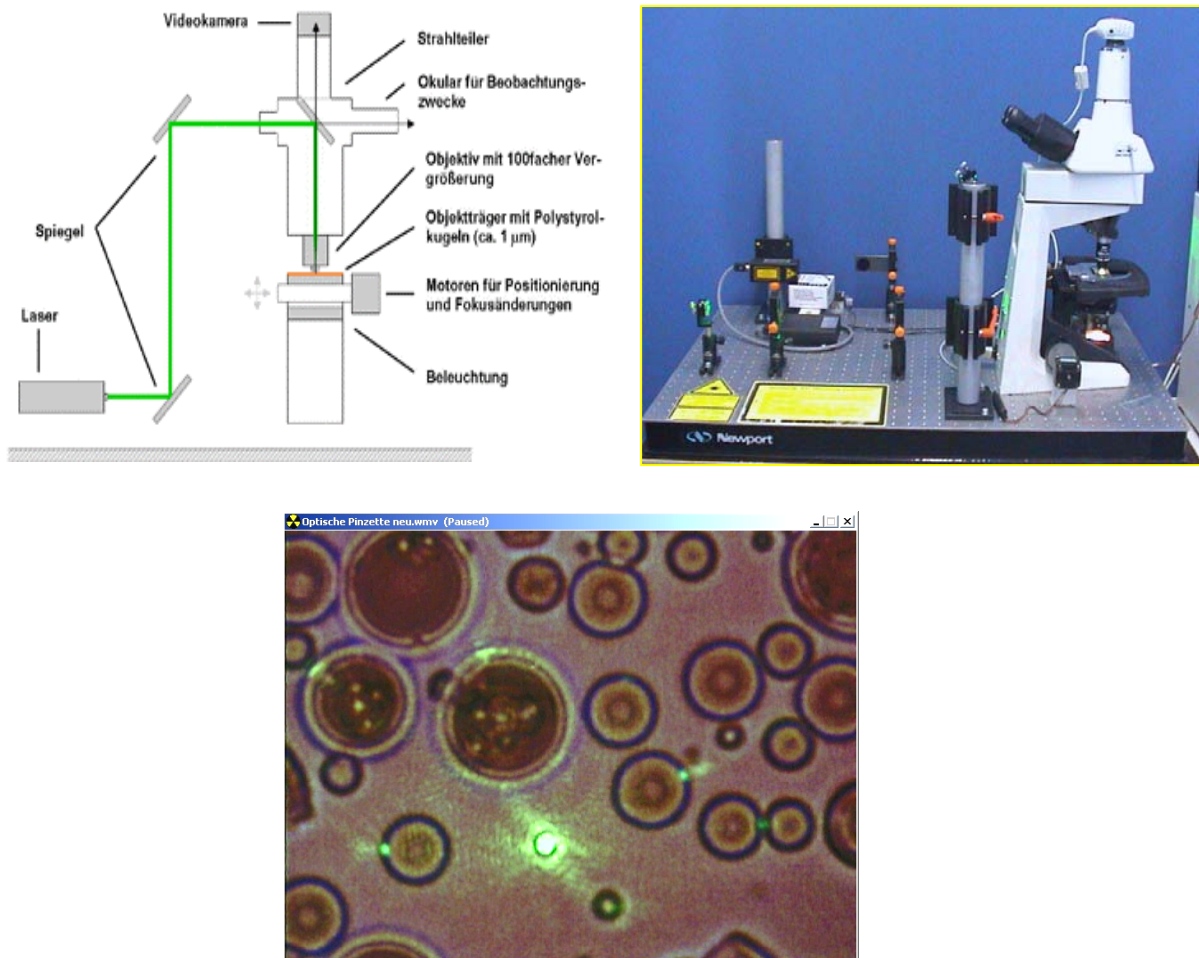


Abb. 5: RCL „Optische Pinzette“: Vereinfachtes Schema (oben links) und Foto des Versuchsaufbaus (oben rechts). Der Benutzer kann den Laser ein-/ausschalten, die Fokusebene (z-Achse, vertikal) justieren sowie den Objektträger und damit die relative Position des Laserfokus in der x-y Ebene bewegen. Im unteren Bild ist das Live-Bild der Mikroskopkamera dargestellt, wo der Laser gerade ein Teilchen eingefangen hat (die Höhe des Bildes entspricht ca. $20\ \mu\text{m}$).

Startseite

Theorie

Einstieg

Doppelspalt

Einzelspalt

Gitter

Labor

Auswertung

Diskussion

Einstieg

Unter der Beugung des Lichtes versteht man die Abweichung der Lichtausbreitung von den Gesetzen der geometrischen Optik beim Durchgang durch begrenzende Öffnungen oder beim Vorbeigang an Kanten. Deutlich sichtbar wird die Beugung wenn diese begrenzenden Öffnungen (z.B. Spalte) in der Größenordnung der Wellenlänge des einfallenden Lichtes liegen. Infolge der Beugung kommt es zu sogenannten Interferenzen, d.h. der Überlagerung von Wellen, die sich verstärken (konstruktive Interferenz) oder auslöschen (destruktive Interferenz). Im Labor steht eine Anordnung von Laser (erzeugt kohärentes Licht), Schirm und verschiedenen Spalten bereit. Sie können verschiedene Doppelspalte, einen Einzelspalt und ein Gitter in den Strahlengang des Lasers hineinfahren und die entstehenden Beugungsfiguren auf dem Schirm (1m Abstand vom Beugungsobjekt) mit der Web-Cam beobachten. Beginnen Sie mit der Untersuchung des Doppelspalt es im Labor, indem Sie sich das Beugungsbild mit der Web-Cam anschauen.

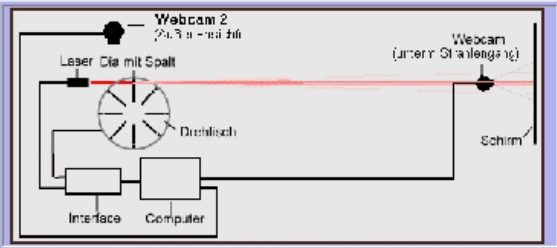


Abb.1: Versuchsaufbau von oben (schematisch)
(Für größere Ansicht anklicken)

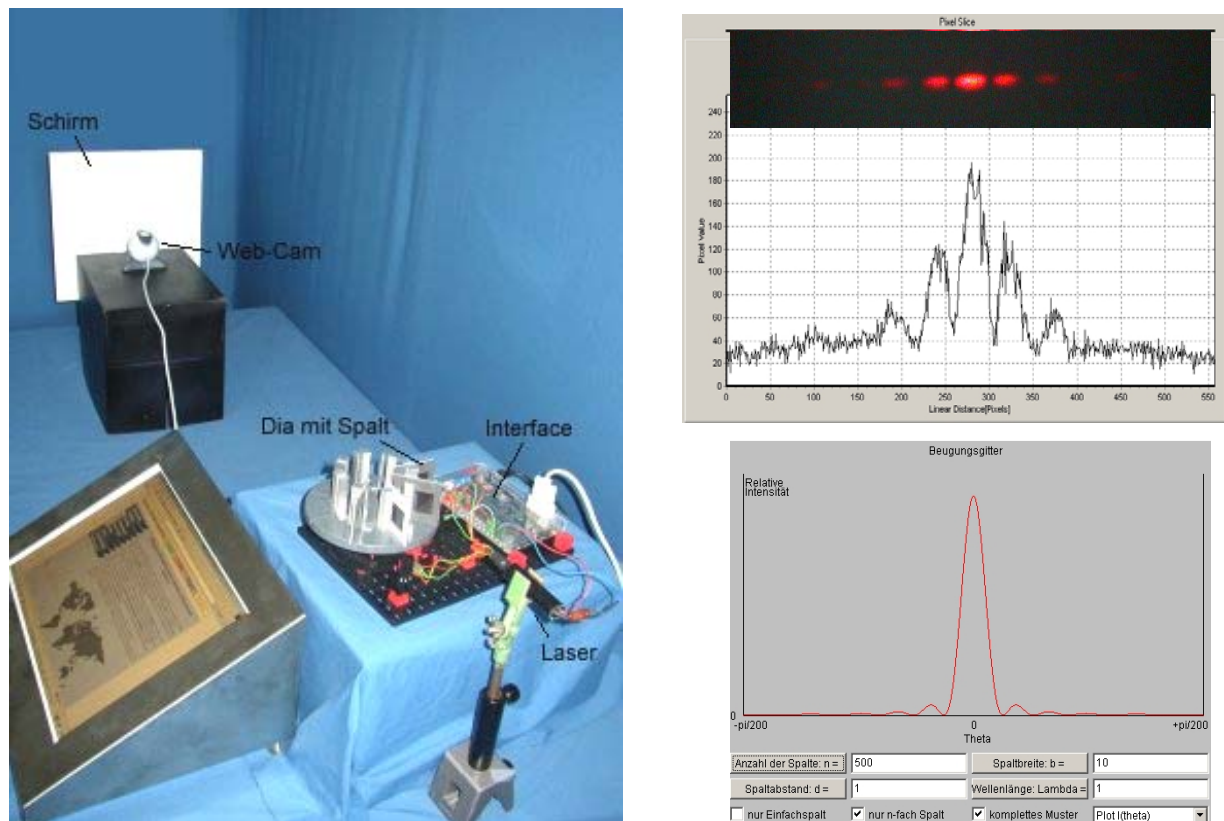


Abb. 6: RCL „Beugung und Interferenz“: Der Benutzer kann wählen zwischen Einzelspalt, mehreren Doppelspalten und Gittern (Einstiegsseite des RCL, oben). Eine Webcam zeigt den Drehteller, auf dem Objekte in Diarahmen positioniert sind (hier Ansicht des Gesamtaufbaus, unten links), eine zweite Webcam nimmt das Beugungsbild auf dem Schirm auf (eingebildet im oberen Teil unten links). Der Benutzer kann ein Foto der Intensitätsverteilung am Schirm aufnehmen und abspeichern; anschließend kann er mit Hilfe eines Tools die Helligkeitsverteilung ausmessen und sein Ergebnis mit einem Java-Applet modellieren (unten rechts).

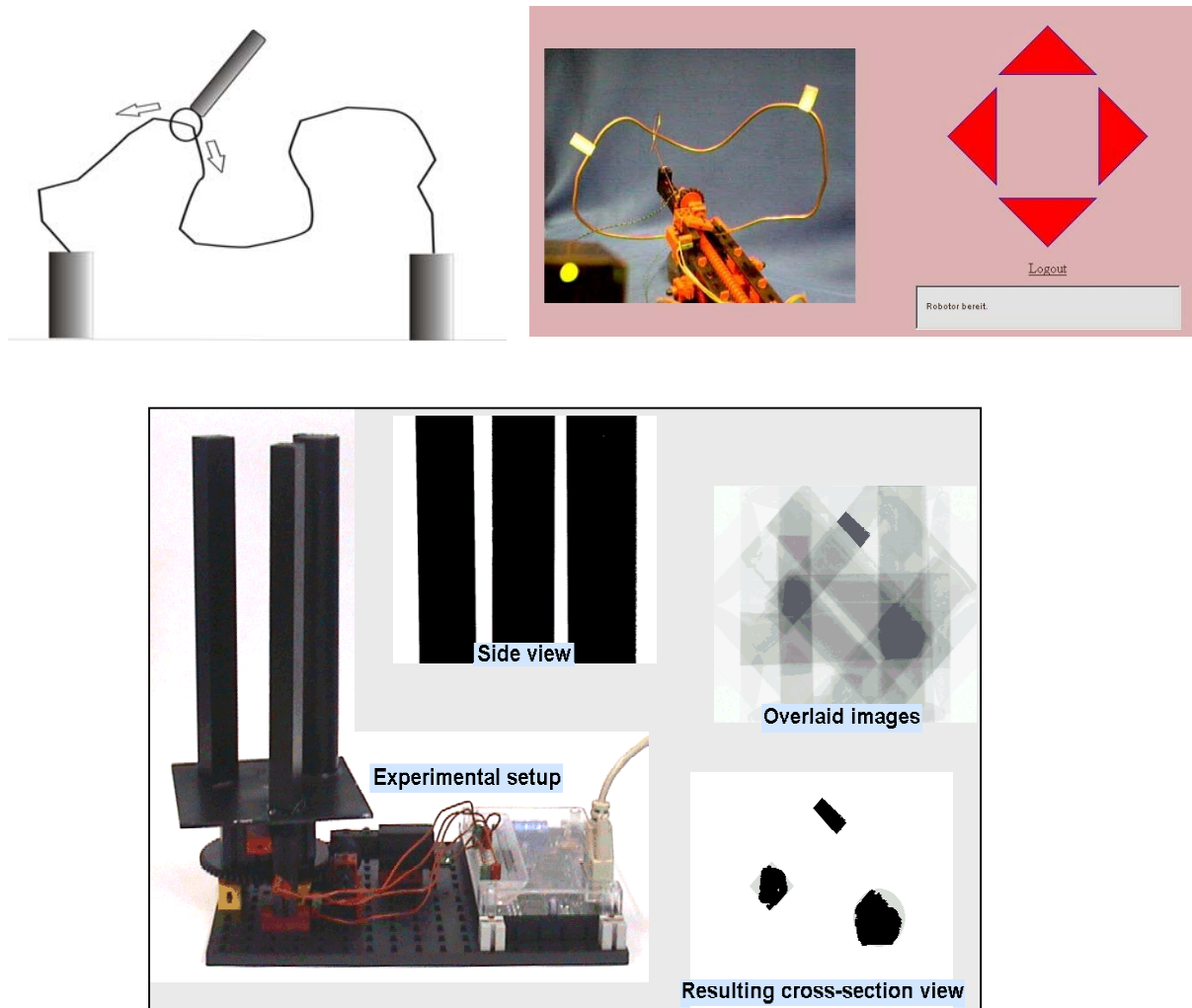


Abb. 7: Fischertechnik – Schülerprojekt: Aufbauend auf dem Intelligent-Interface von Fischertechnik sowie einer speziellen Software zur RCL-Steuerung können Schüler selbstständig im Rahmen eines Projekts ihren „eigenen“ Roboter für bestimmte selbst gewählte Anwendungen als RCL bauen wie z. B. zum Steuern und Regeln, als Fließbandroboter. Im oberen Bild links ist das Schema des „heißen Drahtes“ dargestellt. Das Bild rechts zeigt die Sicht der Webcam auf den beweglichen Arm des selbstgebauten Spielroboters sowie das Bedienfeld zur Steuerung des Roboterarms. Der Benutzer soll in möglichst kurzer Zeit den Roboterarm mit Drahtschlinge längs eines Drahtes bewegen ohne anzustoßen (eine grüne LED leuchtet, bei Berührung = Kurzschluss leuchtet eine rote LED). Die Abbildung unten zeigt Aufbau und Prinzip eines optischen Analogversuchs zur Röntgencomputertomographie, ebenfalls mittels Fischertechnik-Interface.