

## Neues vom Remote Controlled Lab Projekt

M. Vetter, S. Gröber, B. Eckert, H. J. Jodl

FB Physik, TU Kaiserslautern

### Kurzfassung

Nachdem in der Vergangenheit bereits kurz über das Projekt „Remote Controlled Laboratory (RCL)“ berichtet wurde, sollen hier einige neuere Entwicklungen vorgestellt werden. Das sind die engere Kooperation u. a. mit Intel©, Entwicklungen im Bereich der Soft- und Hardware zur Steuerung von Experimenten über das Internet, der Aufbau neuer Versuche sowie erste Erfahrungen beim Einsatz in Schülerprojekten.

Bei der technischen Entwicklung ist hervorzuheben, dass wir konsequent Open-Source-Software benutzt haben und für den Nachbau z. B. durch Lehrer oder im Rahmen von Schulprojekten auf kostengünstige und leicht zu beschaffende Standardkomponenten zurückgegriffen haben.

### 1. Einleitung

Über das Internet ferngesteuerte Experimente sind in Forschung und Technik nichts Neues. Auch der Einsatz in der Lehre wurde bereits seit fast 10 Jahren versucht, allerdings überwiegend in den Ingenieurwissenschaften unter dem Schwerpunkt Steuern und Regeln. Eine Übersicht über verschiedene Projekte und Initiativen haben wir bereits an anderen Stellen gegeben [1]. Erste Versuche an der TU Kaiserslautern RCLs in die Physiklehre zu integrieren, reichen zurück in die Zeit des FiPS-Projekts (Früheinstieg ins Physik-Studium) [2]. Seinerzeit wurde die Beugung von Elektronen an einer Graphitfolie als über das Internet fernbedienbares Experiment mit Hilfe der programmierbaren Schnittstelle des CASSY-S-Interface realisiert. Danach wurden weitere RCLs im Rahmen einer Ausstellung am Deutschen Museum in München aufgebaut, u. a. ein fahrbarer Roboter im Labyrinth und eine Optische Pinzette [3].

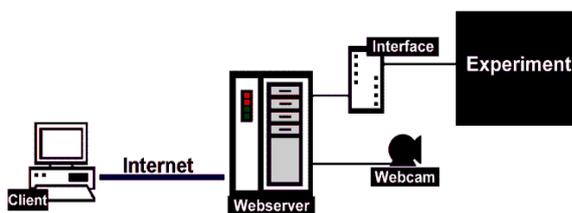


Abb. 1: Vereinfachtes Schema eines RCL

Der Programmieraufwand für jeden einzelnen Versuch ist hoch, jeder Versuch hat andere Anforderungen an die Steuerung, an die Schnittstellen usw. Die Idee, einfache und kostengünstige Interfaces zu verwenden, führte zu Versuchen mit dem Intelligent-Interface von Fischer-Technik. Ohne in weitere Details zu gehen, diese Realisierungen erwiesen sich als wenig geeignet, eine für Schulprojekte robuste

und einfache Lösung zu garantieren. Überdies stößt man bei Verwendung der genannten Interfaces schnell an Grenzen (z. B. eine zu geringe Zahl der Ein- und Ausgänge für die Experimentsteuerung, meist keine oder sehr spezielle Software zur Kommunikation Webserver - Interface).

Im Folgenden wird zunächst noch einmal das Konzept des RCL-Projekts vorgestellt. Anhand der Ziele ergeben sich dann die (An-)Forderungen an ein RCL: Einerseits betrifft dies die Auswahl RCL-fähiger Versuche nach fachdidaktischen Gesichtspunkten, andererseits die technische Realisierung der Schnittstellen Experiment - Webserver und Webserver - Benutzer/Browser. Über diese neueren Entwicklungen soll hier berichtet werden.

### 2. Konzept der Remote Controlled Labs

Welchen Sinn macht es, Experimente - speziell Schulexperimente - über das Internet bedienbar zu machen?

- Eine Reihe von wichtigen Experimenten der Sekundarstufe II, wie z. B. die Elektronenbeugung oder die Messung der Lichtgeschwindigkeit, sind in der Schulsammlung - wenn überhaupt - nur einmal vorhanden: Ein Defekt der Geräte führt zum Totalausfall des Versuchs.
- Experimente wie z. B. die Beugung und Interferenz von Licht werden exemplarisch nur mit wenigen Beugungsobjekten durchgeführt: Qualitative Vergleiche von Beugungsmustern und der Vergleich der Theorie mit dem Experiment bei Parameteränderungen kommen zu kurz.
- Schwierigere Experimente, wie z. B. die Rutherford-Streuung oder der Millikan-Versuch, fallen aus Zeitgründen ganz weg, werden nur in der Theorie behandelt, oder man begnügt sich mit qualitativen Messungen: Die Chance für Schüler sich in lehrergeleiteten Experimenten durch intensive Auseinandersetzung mit einem

Versuch ein umfassenderes Sachgebiet zu erschließen ist gering.

- Gefährliche Experimente wie z. B. zur Radioaktivität sind unter Beachtung der Experimentierdauer und der Aktivität der Quellen nur begrenzt im Unterricht als Schülerexperiment durchführbar: Der Theorieanteil im Unterricht zur Radioaktivität ist zu hoch.

Abhilfe schaffen könnte der Einsatz von Medien wie Simulationen, IBEs oder Videos. Allerdings haben Simulationen den Nachteil, dass es sich nicht um Realexperimente handelt. IBEs und Videos sind konservierte Experimente, die immer wieder die exakt gleichen Messwerte reproduzieren. Ein Benutzer führt so kein neues Experiment durch und erhält nicht seine „eigenen“ realen Messdaten.<sup>1</sup>

Unter Berücksichtigung der genannten Aspekte müssen an die Auswahl und an die Realisierung von RCLs eine Reihe von Anforderungen gestellt werden. Solche sind z. B.:

#### Auswahlkriterien

- Bedeutung des Themas bzw. des Experiments für den Physikunterricht.
- Gibt es Lern- oder Verständnisschwierigkeiten?
- Wie gut ist das Experiment im Physikunterricht durchführbar (zu schwierig, zu gefährlich, zu langwierig oder nicht vorhanden)?
- Welche Variation von Parametern ist sinnvoll (Interaktion)?
- Sind quantitative Messungen möglich?

#### Anforderungen

- Der Versuch sollte für den Benutzer möglichst so authentisch sein wie ein Experiment direkt vor ihm. Das heißt die Beobachtung des Experiments über Webcams muss in Echtzeit erfolgen können. Die relevanten Stellgrößen (z. B. Stellung eines Filters im Strahlengang, Position des radioaktiven Präparats) und Messgrößen (z. B. Anzeige eines Multimeters, Darstellung des Beugungsbilds) sowie deren Veränderung (Variation der Parameter) müssen sofort sichtbar sein.
- Die Bedienung sollte intuitiv verständlich und möglichst einfach sein. Dazu gehört auch, dass keine weiteren, zur Bedienung des RCL nötigen Plug-ins, Treiber oder Viewer etc. geladen oder installiert werden müssen.
- Um der Durchführung eines Schülerexperiments möglichst nahe zu kommen, wird auf eine automatisierte Auswertung verzichtet. Die Messwerte werden handschriftlich notiert, wie es bei Schülerexperimenten üblich ist.

- Ferner sollte der Kostenaufwand minimal und das Material – abgesehen vom eigentlichen Experiment – leicht zu beschaffen sein (z. B. über einen Elektronikversand, Ausbau eines Schrittmotors aus einem altem Drucker).

Weitere Anforderungen, wie z. B. an die Gestaltung der Webseiten, an die Benutzerführung usw. sind ebenso von Bedeutung, sollen hier aber nicht weiter diskutiert werden.

Ziel des Projekts ist der Aufbau einer Sammlung von RCL-Experimenten, die im Unterricht und zu Hause als Schülerexperimente durchgeführt werden können. Durch Vernetzung der RCLs an verschiedenen Standorten (Schulen, Universitäten) soll eine „virtuelle“ Physiksammlung entstehen, die von allen Interessierten kostenlos genutzt werden kann.

Als Zielgruppen haben wir neben Schülern und Schülerinnen sowie Studierenden auch interessierte Laien im Auge, darüber werden wir an anderer Stelle berichten.<sup>2</sup>

### 3. Neuerungen im RCL-Projekt

Die Neuerungen im RCL-Projekt betreffen im Wesentlichen die beiden Hauptschnittstellen zwischen Nutzer und Versuchsaufbau: Das Interface zwischen Webserver und Experiment auf der einen Seite und die Benutzerschnittstelle auf der anderen Seite. Die Neuerungen standen unter den Vorgaben:

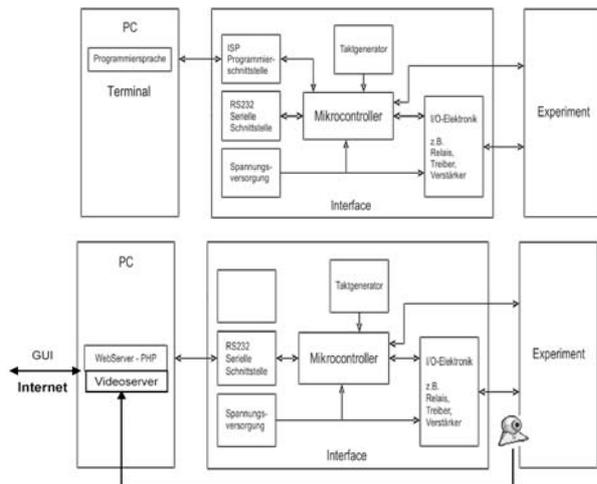
- a) Unabhängigkeit vom Betriebssystem und weitestgehend auch vom verwendeten Internetbrowser (auf der Nutzerseite), gemeint ist im Wesentlichen das Graphical User Interface (GUI) und das Benutzermanagement.
- b) Eine universelle Lösung für das Interface Experiment - Webserver (Steuerung des Experiments, Datenübertragung und Rückmeldung vom Experiment), die dennoch flexibel auf einen speziellen RCL-Versuch angewendet werden kann.
- c) Der Nachbau eines RCL (z. B. im Rahmen eines Schülerprojekts) sollte so einfach wie möglich sein. Dies betrifft im Wesentlichen den notwendigen Programmieraufwand.
- d) Aufwand für Wartung und (Software-) Pflege soll stark reduziert werden, insbesondere im Hinblick auf häufig wechselndes Personal (z. B. Schüler).

Dabei sollte konsequent von frei verfügbaren Quellen (Open Source) Gebrauch gemacht und eine Low-Cost Variante verfolgt werden. Hierzu wurden folgende Systeme implementiert:

<sup>1</sup> Ein Beispiel: So liefert die Bestimmung der Elementarladung mittels Millikan-Versuch immer wieder neue reale Messwerte, und die Bedienung des RCL (Auswahl eines geeigneten Öltröpfchens, Sorgfalt bei der Durchführung etc.) entscheidet über die Qualität der Messung und des Endergebnisses. Dies ist bei konservierten Experimenten (Messvideo oder IBE) nicht gegeben.

<sup>2</sup> Hierzu sei nur folgendes erwähnt: Wir haben entsprechend der angesprochenen Zielgruppen auf drei Aspekte des Umgangs mit einem RCL ab; dies sind *Spielen* (z. B. Roboter im Labyrinth oder „Heißer Draht“), *Lernen* (z. B. Fotoeffekt oder Beugung und Interferenz von Licht) und *Forschen* (z. B. Optische Pinzette oder Atomkraftmikroskop). Letzteres ist natürlich eher im Sinne von „Miniforschung“ zu sehen bzw. als kennen lernen moderner Forschungsinstrumente.

- a) Die einzige Anforderung auf der Nutzerseite ist ein Java-fähiger Internetbrowser (Open Source). Auf der RCL-Seite dient Apache als Webserver in der Kombination mit php (Open Source). Ein eigens entwickeltes php-Modul<sup>3</sup> auf dem Webserver dient der Übertragung der Nutzereingaben an das Experiment (z. B. Änderung eines Parameters) und der Rückmeldung vom Experiment an den Nutzer bzw. dessen Browser (z. B. Statusanzeige, ob ein Gerät eingeschaltet ist). Zur Übertragung des Live-Videobildes dient ein Videosever (Open Source).



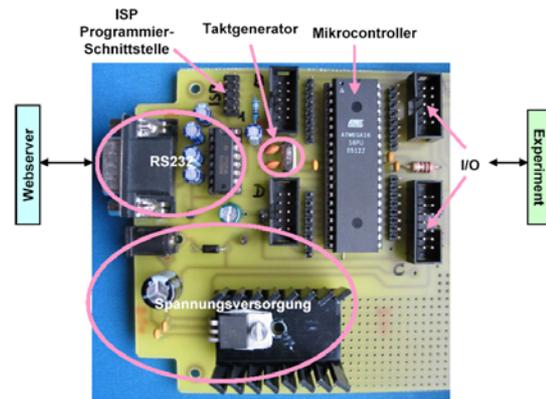
**Abb. 2:** Schema des Interface Webserver-Experiment. Bild oben: Programmierung des Mikrocontrollers im Interface für die experimentenspezifischen Anforderungen. Testbetrieb der Experimentsteuerung über Hyperterminal. Bild unten: Das RCL im laufenden Betrieb. Die ISP-Programmierschnittstelle spielt jetzt keine Rolle mehr. Zur Übertragung wichtiger, zur Durchführung des Experiments notwendiger Details läuft auf dem Webserver gleichzeitig ein Videosever, das ist ein relativ einfaches Programm im Falle der Verwendung von Webcams über USB-Anschluss.

**Tab. 1:** Übersicht über einige Eigenschaften des ATmega16-Mikrocontrollers [4]

- 16 MHz RISC-Prozessor mit 131 Instruktionen (1-2 Taktzyklen/Instruktion)
- 16k Bytes Flash Memory, 512 Bytes EPROM
- 32 programmierbare Ein-/Ausgänge
- zwei 8-bit und ein 16-bit Timer/Zähler
- acht 10-bit A/D-Wandler
- programmierbare serielle Schnittstelle (USART, z.B. RS232)
- I<sup>2</sup>C- und SPI -Schnittstelle
- Externe und interne Interrupts

- b) Das eigentliche Interface wird mit Hilfe eines Mikrocontrollers realisiert, da er eine Reihe von Vorzügen gegenüber beispielsweise üblichen A/D-Wandlern aufweist: er besitzt - je

<sup>3</sup> Das nach unseren Anforderungen entwickelte php-Modul kann ebenfalls kostenlos bezogen werden. Es steht auf der Website des RCL-Projekts zum Download zur Verfügung.



**Abb. 3:** Foto des Interface mit Mikrocontroller (die Lochraster-Platine ist auf der rechten Seite größer und hier nur der besseren Übersichtlichkeit wegen abgeschnitten dargestellt).

nach Typ - eine Vielzahl frei programmierbarer Ein- und Ausgänge, mehrere A/D-Wandler, einen ausreichend großen Speicher zur Programmierung und ist darüber hinaus sehr preisgünstig.<sup>4</sup> Tabelle 1 stellt einige Eckdaten des bevorzugt eingesetzten 8-bit Mikrocontrollers ATmega16 von ATMEL zusammen. Die Programmierung des Mikrocontrollers erfolgt über eine ISP-Schnittstelle<sup>5</sup> direkt im Interface, diese wird im Betrieb des RCL dann nicht mehr verwendet (vgl. Abb. 2). Die Kommunikation zwischen Webserver und Mikrocontroller erfolgt physisch über die serielle RS232-Schnittstelle, softwaremäßig mittels php-Modul, das es erlaubt, per Schreib- und Lesebefehle Anweisungen zum Mikrocontroller zu senden und Messergebnisse oder Experimentzustände abzufragen. Der Aufwand zur Programmierung des Mikrocontrollers ist vergleichsweise gering, es reichen im Prinzip bereits Grundkenntnisse in BASIC aus.<sup>6</sup> Umfangreiche Programmierungen, wie sie bei den ersten RCL-Prototypen notwendig waren, sind überflüssig. Ein Beispiel: Das RCL „Elektronenbeugung“ war - abgesehen von der Beschaffung der Bauteile für das neue Interface - innerhalb eines Tages komplett auf die neue Technik umgestellt.<sup>7</sup>

<sup>4</sup> An dieser Stelle möchten wir darauf hinweisen, dass die Verwendung eines Mikrocontrollers zur Steuerung keine neue Erfindung von uns ist. Uns kam es darauf an, eine flexible low-cost Version eines Interface mit Standardbauteilen zum Nachbau zur Verfügung zu stellen; weitere notwendige Teile können von uns zur Verfügung gestellt werden (z. B. das erwähnte php-Modul) oder sind Open Source (z. B. Apache-Webserver mit php-Unterstützung, Videosever). Der hier eingesetzte Mikrocontroller ATmega16 beispielsweise kostet weniger als 10,- €.

<sup>5</sup> In-System Programming (ISP) erfolgt über ein - ebenfalls als Open Source erhältliches - Tool.

<sup>6</sup> Auch Pascal, C++ oder Java sind als Programmiersprache möglich.

<sup>7</sup> Das ist bei diesem Experiment zugegebenermaßen auch relativ einfach: es müssen die Kathodenheizung ein- und ausgeschaltet werden können, und die Beschleunigungsspannung muss varia-



**Abb. 4:** Ansicht des RCL Elektronenbeugung (von links nach rechts: Mikrocontroller-Interface, hier ohne Kabel zum Server und zum Steckernetzteil, steuerbares Netzgerät Leybold Nr. 521 70, Elektronenbeugungsröhre Leybold Nr. 555 626, Webcam).

Der Mikrocontroller kann das Experiment direkt ansprechen (Spannungen bis 5 V, kleine Ströme) oder über weitere Bauteile (z. B. Relais zur Schaltung höherer Leistungen) Steuerungsfunktionen übernehmen. Dies erlaubt eine flexible Anpassung an unterschiedlichste Experimente.

- c) Durch die unter a) und b) erwähnten Komponenten ist ein einfacher Nachbau z. B. im Rahmen eines Schulprojekts möglich. Ein Tutorial, das frei zum Download steht [5], gibt eine schrittweise Anleitung zum selbstständigen Nachbau des Mikrocontrollerinterfaces, dessen Programmierung, sowie Erstellung einer Webseite zum Zugriff auf das Interface.

In dem erwähnten php-Modul ist auch eine Sprachauswahl für das Erscheinungsbild des Webportals und der Seiten der einzelnen Experimente implementiert. Gegenwärtig werden die Seiten in drei Sprachen (deutsch, englisch, französisch) angeboten, das php-Modul erlaubt im Prinzip beliebig viele Sprachen einzusetzen.

Weitere Neuerungen möchten wir der Vollständigkeit wegen nur kurz anführen:

- didaktisches Material für jeden Versuch zum Einsatz im Unterricht und in Schülerprojekten,
- Lehrerfortbildungskurse zum Bau eines RCL,
- Aktivierung von und Kooperation mit interessierten Schülern,
- Demonstrationsmodul Beugung und Interferenz von Licht zum Ausleihen.

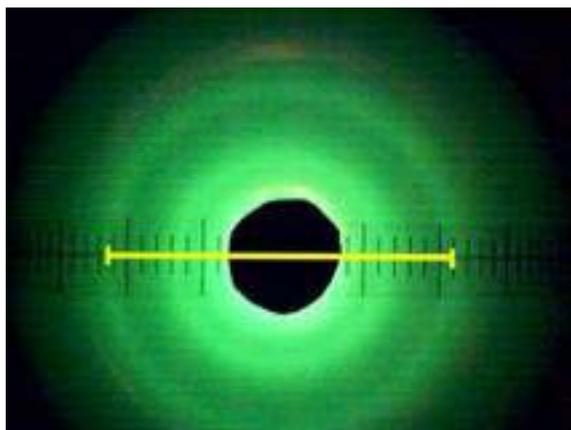
Gegenwärtig arbeiten wir auch am sog. Tracking, d. h. mit zu verfolgen, was ein Benutzer im Experiment macht (welche Seiten werden aufgerufen, welche Parameter werden wie variiert, wie lange wird das Experiment bedient usw.). In der Vergangenheit haben wir das Benutzerverhalten durch gezieltes Auswerten der log-Dateien des Webservers erhalten, dies wollen wir automatisieren.

#### 4. Stand bisher realisierter RCL-Versuche

Gegenwärtig sind folgende RCLs am Standort der TU Kaiserslautern aufgebaut und online fernbedienbar [5]:

---

bel sein (0 ... 5 kV), was durch Verwendung eines steuerbaren (0 ... 5 V) Netzgerätes (vgl. Abb. 4) möglich ist.



**Abb. 5:** Ansicht des Fluoreszenzschirms beim RCL Elektronenbeugung über die Webcam (Elektronenenergie ca. 4 keV). Auf der Röhre ist eine Skala angebracht, mit deren Hilfe sich die Beugungsringe ausmessen lassen. Eingebledet ist eine gelbe Strecke, die den Durchmesser des äußeren Beugungsrings für die weitere Auswertung markiert.

- Fotoeffekt,
- Elektronenbeugung,
- Maut-System,
- Beugung und Interferenz von Licht #,
- Der Heiße Draht (Roboter),
- Roboter im Labyrinth \*,
- Optische Pinzette \*

(zur Zeit der Manuskripterstellung sind der #-markierte Versuch noch mit Fischertechnik-Interface, die \*-markierten mit speziellen Lösungen der Firma Netzmedien GbR [6] ausgestattet).

Im Aufbau befindlich – und bei Veröffentlichung der Tagungs-CD voraussichtlich online – sind folgende Versuche:

- Windkanal ( $c_w$ -Wert von Spielzeugautos),
- Radioaktivität,
- U-I-Kennlinien von Halbleiterbauteilen,
- Oszilloskop,
- Lichtgeschwindigkeit,
- Millikan-Versuch,
- Rutherford'sches Streuexperiment,
- Optische Computertomographie (optisches Analogmodell),
- Biot-Savart-Gesetz (B-Feld Messung mit Hallsonde).

Weitere RCL-Experimente sind bis zum Projektende in der Jahresmitte 2007 geplant. Ein Teil dieser Versuche soll mit Unterstützung von Intel© Education an Gymnasien gehen, mit denen langfristig ein Netzwerk von RCLs (mithin eine „virtuelle“ Physiksammlung) entstehen wird.

#### 5. Erste Erfahrungen im Schülerprojekt

Im Sommer 2005 konnten im Rahmen des Projekts „Summercamp“, organisiert von der Firma UnternehmerTUM GmbH an der TU München [7], erste Erfahrungen mit Schülern beim Einsatz von RCLs gewonnen werden. Die Gesamtgruppe bestand aus 15 Schülern (vier Mädchen und elf Jungen der Klassenstufen 11-13). Die Aufgabe war, innerhalb einer

Woche ein funktionierendes RCL aufzubauen (Aufbau des Experiments, Erstellung einer Webseite (GUI), Posterpräsentation am letzten Tag). Vorbereitet war das Experimentiermaterial (also die Komponenten des Versuchsaufbaus und das Interface), die Programmierumgebung sowie ein Reader (zum physikalischen Hintergrund und zu weiteren Details des Versuchs bzw. der verwendeten Materialien).<sup>8</sup> Vier Themen wurden von den Schülern und Schülerinnen erfolgreich bearbeitet:

- Lichtgeschwindigkeit,
- Maut-System,
- Fotoeffekt,
- „Der Heiße Draht“ (Robotersteuerung).

Die Evaluation des Projekts zeigt, dass insbesondere die breit gefächerte Kombination der angesprochenen Kompetenzen (Teamfähigkeit, Technik, Elektronik, Physik, Webdesign, Programmierung, Grafikdesign, Präsentation) die Schüler begeisterte.

Die wesentlichsten Ergebnisse sind:

- Eignung der Themen für Projektwochen oder Teamarbeit, da unterschiedlichste Kompetenzen erforderlich sind bzw. angesprochen werden,
- eigenständiger Nachbau durch Schüler möglich.

Der Aufwand für die Vorbereitung des Schülerprojekts war sehr hoch, garantierte jedoch eine erfolgreiche Bearbeitung der Versuche durch die Schüler innerhalb von 5 Tagen. Die Versuche wurden nach Beendigung des Summercamps von uns professionell überarbeitet und in eine veröffentlichungsreife Form gebracht. Sie sind mittlerweile in das Webportal des RCL-Projekts integriert [5].

Ein 16-jähriger Schüler entwickelte im Anschluss an das „Summercamp“ unter Verwendung der von uns entwickelten Ressourcen eigenständig ein RCL zum Thema Halbleiterkennlinien. Dabei wurden von ihm die Konzeption des Versuchsaufbaus, Aufbau und Programmierung des Interfaces und Ausarbeitung und Programmierung der Webseite eigenverantwortlich ausgeführt.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Die Verbindung von Technik und Physik in RCLs bietet Lehrenden und Lernenden vielfältige Vorteile und Handlungsmöglichkeiten auf der praktischen und fachdidaktischen Ebene:

- Überschaubares Beispiel für die Anwendung eines Standard-Mikrocontrollers, der universell und flexibel sowie unabhängig vom Betriebssystem und damit investitionssicher ist.

<sup>8</sup> Da die Zeitdauer des Projekts auf eine Woche beschränkt war, war es zwingend notwendig, alles notwendige Material vorzubereiten und entsprechend vorzuhalten. In einem Schülerprojekt, das sich über ein halbes oder ganzes Schuljahr erstreckt (z. B. in Form einer Arbeitsgemeinschaft) kann dies ganz anders aussehen. Hier steht genügend Zeit für die Planungsphase, für die Informations- und Materialbeschaffung durch die Schüler und Schülerinnen zur Verfügung und kann damit dem Erwerb von wichtigen Kompetenzen dienen.

- Günstiger und einfacher Nachbau von RCLs durch konsequente Nutzung von Open-Source-Produkten.
- Zahlreiche Ressourcen zu den eingesetzten Technologien im Internet ermöglichen ein eigenständiges (Ein-) Arbeiten der Schüler in die Technik.
- Lehrerfortbildungen an mit Intel© kooperierenden Gymnasien sollen Lehrer in die Lage versetzen, eigene RCLs zu betreiben oder in Form von Schülerprojekten zu bauen.
- Die Akzeptanz von RCLs an der Schule soll untersucht und RCL-Einsatzszenarien für die Schule (z. B. als experimentelle Hausaufgabe) entwickelt werden.
- Die Internettechnologie bei RCLs ermöglicht neue Versuchsmöglichkeiten, wie z. B. die breitengradabhängige g-Messung oder die Sammlung statistischen Datenmaterials beim Millikan-Versuch (Kooperation über das Internet).
- Entwicklung und Erprobung eines erweiterten Benutzermanagements, welches die Zeitreservierung zur Nutzung eines RCL ermöglicht (Kooperation mit Xplora [8]).
- Gezielte Auswertung der Nutzung von RCLs (Tracking), um Benutzerverhalten und Akzeptanz zu evaluieren.

## 7. Danksagung

Für die Entwicklung des ersten RCL-Prototypen (Elektronenbeugung mit Programmierung des CASSY-S-Interface) danken die Autoren Herrn Dr. D. Roth sowie - in Folgeprojekten - zusätzlich Herrn S. Maus [6]. Für die Tests mit dem Intelligent-Interface von Fischertechnik® sei Herrn S. Altherr gedankt.

Ebenso sei den Sponsoren gedankt: Intel©, Eberhard von Kuehnheim-Stiftung (BMW), Gesamtmetall und Hameg sowie dem European SchoolNet (Xplora).

## 8. Literatur

- [1] (a) S. Altherr, B. Eckert, H. J. Jodl: Remote Controlled Laboratories, in: V. Nordmeier, A. Oberländer (Hrsg.), DPG-Frühjahrstagung Didaktik der Physik, Düsseldorf 2004, Lehmanns Media; [http://pen.physik.uni-kl.de/w\\_jodl/Docs/RemoteControlledLabs\\_TagungsCD.pdf](http://pen.physik.uni-kl.de/w_jodl/Docs/RemoteControlledLabs_TagungsCD.pdf);  
(b) S. Altherr, M. Vetter, B. Eckert, H. J. Jodl: Experimentieren aus der Ferne – Ferngesteuertes Labor im Internet, PdN-PhiS Nr. 6, 54 (2005), S. 40-46; [http://pen.physik.uni-kl.de/w\\_jodl/Docs/Experimentieren\\_aus\\_der\\_Ferne.pdf](http://pen.physik.uni-kl.de/w_jodl/Docs/Experimentieren_aus_der_Ferne.pdf).
- [2] D. Roth, H. J. Jodl: Multimediaeinsatz in Physik Fern- und Präsenzstudium, in: V. Nordmeier (Hrsg.), DPG-Frühjahrstagung Didaktik der Physik Bremen 2001, Lehmanns Fachbuchhandlung. [http://pen.physik.uni-kl.de/w\\_jodl/Docs/MultimediaEinsatz\\_DPG.pdf](http://pen.physik.uni-kl.de/w_jodl/Docs/MultimediaEinsatz_DPG.pdf)
- [3] Die genannten Versuche sowie Hintergrundinformationen sind unter <http://www.remote-lab.de> erreichbar.
- [4] <http://www.atmel.com/>
- [5] <http://rcl.physik.uni-kl.de>
- [6] <http://www.netzmedien.de>
- [7] <http://www.unternehmertum.de/summercamp/index.html>
- [8] <http://www.xplora.org/> bzw. <http://www.eun.org/portal/index.htm>