

A Hardware Lab Anywhere At Any Time*

Tobias Schubert Bernd Becker

Institut für Informatik
Lehrstuhl für Rechnerarchitektur
Albert-Ludwigs-Universität
79110 Freiburg im Breisgau, Deutschland
{schubert,becker}@informatik.uni-freiburg.de

Abstract

Im Rahmen der wissenschaftlichen Ausbildung sind Praktika vielerorts ein wichtiger Bestandteil der Lehre. Diese zeichnen sich im Regelfall dadurch aus, dass die Studierenden die gestellten Versuche an speziell ausgestatteten Laborplätzen durchführen, was neben extrem hohen Kosten zu einer Begrenzung der maximalen Teilnehmerzahl führt. In diesem Zusammenhang scheint es auf den ersten Blick nicht möglich, Konzepte einer Virtuellen Universität umzusetzen, da die Studierenden 'vor Ort' sein müssen.

In diesem Dokument stellen wir das sogenannte Mobile Hardware-Praktikum vor, das den Studierenden die Teilnahme zu jeder Zeit und von jedem beliebigen Ort aus erlaubt und dennoch ein Gefühl der Präsenz im Labor vermittelt. Gleichzeitig kann weit mehr als 100 Studierenden die Teilnahme ermöglicht werden.

Erreicht wird dies durch ein speziell zu diesem Zweck entwickeltes webbasiertes Learning Management System in Kombination mit Hardware-Komponenten, die einem voll ausgestatteten Labor-Arbeitsplatz entsprechen und den Teilnehmern für die Zeit des Praktikums auf Leihbasis zur Verfügung gestellt werden. Die Experimente werden in Heimarbeit gelöst, elektronisch abgegeben und auch elektronisch bewertet.

Das Mobile Hardware-Praktikum wurde in Ansätzen bereits im Sommersemester 2002 durchgeführt und wird im kommenden Semester erstmals in vollständig webbasierter Form angeboten.

1 Einleitung

Bei dem am Institut für Informatik der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg angebotenen Hardware-Praktikum

*Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (F-MoLL 08NM210).

handelt es sich um eine Einführungsveranstaltung für Studierende mit Hauptfach Informatik im vierten Semester. In praktischen Versuchen werden hierbei die in den Grundstudiums-Vorlesungen *Technische Informatik I/II* erworbenen Kenntnisse vertieft. Das Praktikum gliedert sich thematisch in drei Schwerpunkte:

Mikroprozessor-Programmierung

Zu Beginn des Praktikums werden die in der Vorlesung *Technische Informatik II* bei der Entwicklung und Analyse eines 32-Bit RISC-Prozessors gemachten Erfahrungen aufgegriffen und mit dem PIC16F84 der Firma Microchip ein kommerzieller Mikroprozessor programmiert und getestet. Der Prozessor ist Teil des sogenannten *PICee-Entwicklungssystems* [8, 18], das als Grundlage aller Versuche dient und neben dem eigentlichen Prozessor zudem über diverse Taster, Schalter und ein zweizeiliges LCD-Display verfügt (siehe Abbildung 2). Hauptaugenmerk des ersten Themenschwerpunktes liegt auf dem Einsatz der frei verfügbaren Entwicklungswerkzeuge wie Compiler, Simulator oder Programmer.

Zu den gestellten Aufgaben gehören neben einfachen Programmen, der Realisierung eines Lauflichts, auch die Implementierung einer Stoppuhr und die Entwicklung eines Taschenrechners, der die Grundrechenarten beherrscht.

Aufbau kombinatorischer und sequentieller Schaltkreise

In der zweiten Versuchsreihe werden Teile des systematischen Rechnerentwurfs in die Praxis umgesetzt: neben Grundschaltkreisen wie Dekodierer, Multiplexer, Zähler, Register und einem elektronischen Würfel wird auch ein einfaches Rechenwerk realisiert, das die Grundrechenarten Addition, Subtraktion und Multiplikation beherrscht. Wie

im modernen Rechnerentwurf üblich, werden die Schaltungen nicht aus diskreten Logikgattern aufgebaut, sondern vollständig am PC entwickelt und simuliert. Danach werden sie mit programmierbaren Bausteinen (FPGAs der Altera MAX7000 Serie) und entsprechender Zusatzhardware ebenfalls in das PICee-Entwicklungssystem eingebunden (siehe Abschnitt 3).

Neben der direkten Eingabe der Schaltkreise mit Hilfe vorgefertigter Bibliotheksmodule wird dabei auch der in der Industrie geläufige Entwurf von Schaltkreisen mit der Hardware-Beschreibungssprache *VHDL* vorgestellt.

Grundlagen der Analog- und Digitaltechnik

Zum Abschluss des Praktikums werden im dritten Themenblock einfache analoge und digitale Schaltungen - beispielsweise ein Widerstands- und Kondensatormessgerät und logische Grundschaltungen - mit den Grundelementen der Elektronik wie Widerständen, Kondensatoren und Transistoren aufgebaut. Diese werden mit dem PICee-Entwicklungssystem sowie entsprechenden Erweiterungsmodulen (dem sogenannten *PICee++ System*) gesteuert und ausgewertet (vgl. ebenfalls Abschnitt 3).

Die weiteren Abschnitte sind wie folgt gegliedert: Abschnitt 2 stellt den *klassischen* Ablauf eines Praktikums dar und zeigt die von uns vorgenommenen Änderungen auf, um eine derartige Präsenzveranstaltung *webbasiert* und *mobil* durchführen zu können. In Abschnitt 3 wird die jeder teilnehmenden Gruppe zur Verfügung stehende Hardware eingeführt. Die sich durch die besondere Struktur des Mobil-Hardware-Praktikums ergebenden Konsequenzen werden in Abschnitt 4 erörtert. Abschliessend erfolgt eine Zusammenfassung der bisher geleisteten Arbeiten.

2 Ablauf

Die bis zum Sommersemester 2002 am Lehrstuhl für Rechnerarchitektur durchgeführten Praktika waren reine Präsenzpraktika, wie sie auch an vielen anderen Universitäten Teil der wissenschaftlichen Ausbildung sind. Zu Beginn des Semesters wurden Kleingruppen zu je drei Studierenden gebildet, die im wöchentlichen Turnus nachfolgend aufgeführte Aufgaben zu bewältigen hatten:

1. **Versuchsvorbereitung:** Die Studierenden erhalten die jeweilige nächste Aufgabenstellung, deren Lösung bzw. Lösungsansatz bis zum nächsten Praktikumstermin vorzubereiten und schriftlich festzuhalten ist.
2. **Versuchsdurchführung:** Die erarbeiteten Lösungsvorschläge werden an speziellen Arbeitsplätzen von den Teilnehmern bzw. Gruppen vorgeführt.

3. **Versuchsnachbereitung:** Die in Punkt 2 gewonnenen Kenntnisse werden wiederum schriftlich in einem sogenannten Versuchsprotokoll niedergeschrieben und von den Veranstaltern begutachtet.

Die Versuchsdurchführung wurde dabei an speziell ausgestatteten Arbeitsplätzen innerhalb der Universität vorgenommen, von denen jeder neben Rechner, Oszilloskop und Frequenzgenerator noch über diverse weitere Mess- und Steuergeräte verfügt. Die Kosten für einen derartigen Arbeitsplatz betragen dabei mehrere 1000 Euro, so dass aus Platz- und Kostengründen nur insgesamt 10 Arbeitsplätze (insgesamt maximal 30 Teilnehmer) derart ausgestattet wurden.

Um die Veranstaltung jedoch einem weiteren Kreis an Interessierten zugänglich zu machen (insbesondere Studierende externer Universitäten), sind seit dem Sommersemester 2002 folgende Änderungen vorgenommen worden: das Praktikum als Präsenzveranstaltung wird abgelöst durch eine *webbasierte, mobile* Form auf Basis eines speziell auf die Anforderungen des Hardware-Praktikums zugeschnittenen *Learning Management Systems* in Verbindung mit entsprechenden Hardware-Komponenten.

Bei der mit CGI/PERL und HTML entwickelten und in Abbildung 1 skizzierten Internetpräsenz handelt es sich um eine Variante, die in ähnlicher Form bereits seit mehreren Semestern in den Vorlesungen *Technische Informatik I/II* ebenfalls am Lehrstuhl für Rechnerarchitektur eingesetzt wird, so dass die dort erworbenen Erfahrungen in ein einfach zu bedienendes und stabiles Tool mündeten. Den Teilnehmern bietet sich die Möglichkeit, auf alle Versuchsaufgaben, Software, Dokumentationen, Datenblätter sowie auf die erzielten Punkte, Korrekturen und Musterlösungen elektronisch zuzugreifen. Zusätzlich sind diverse Multimedia-Vorträge mit einem *Presentation Recording Tool* [13] erstellt worden und bieten hilfreiche Informationen zur Bedienung der verschiedenen Entwicklungsumgebungen. Beispielsweise ist von den Veranstaltern ein kompletter VHDL-Kurs aus insgesamt vier multimedialen Vorträgen erstellt worden.

Die Lösungen der gestellten Aufgaben werden von den gebildeten Kleingruppen in Eigenarbeit erstellt und zu festgelegten Terminen ebenfalls über das Learning Management System elektronisch abgegeben und von den Korrektoren auch elektronisch bewertet. Dazu werden die erstellten Programme von den Korrektoren ausgeführt und ggf. Änderungen und Hinweise direkt im Programmcode annotiert, bevor dieser als Korrektur(-Datei) zusammen mit der Notengebung und einer Musterlösung wieder in das Learning Management System integriert wird. Der Zugriff er-

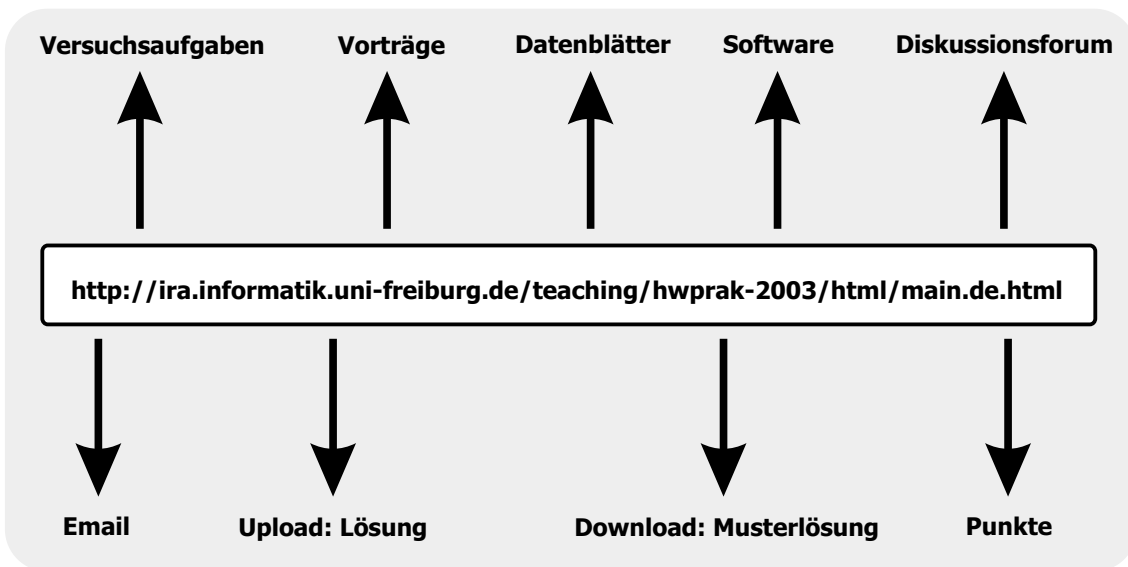


Abbildung 1. Learning Management System

folgt jeweils über passwortgeschützte Sichten.

Um den Kontakt zwischen Veranstaltern und Teilnehmern zu gewährleisten und zudem den Veranstaltern die Möglichkeit zu geben, sich ein 'reales' Bild von den Gruppen bilden zu können, sind neben einer freiwilligen einstündigen Übungsstunde noch die sogenannten *Präsentationen* eingeführt worden: nach jedem Abgabetermin werden mehrere Gruppen bestimmt, die - anstelle einer elektronischen Bewertung - in der darauffolgenden Woche ihre Lösungen dem jeweiligen Tutor präsentieren und erläutern.

Zusätzlich wird ein fachgebundenes, moderiertes Diskussionsforum angeboten, das als eine Art *Wissenspeicher* dient und den Austausch von Fragen, Lösungsansätzen und Hinweisen ermöglicht.

3 Das PICee++-Entwicklungssystem

Im vorliegenden Abschnitt wird sowohl ein Überblick über das *PICee-Entwicklungssystem*, das als Basis aller Weiterentwicklungen dient [2, 8, 18], als auch über das *PICee++ System* gegeben. Wie in Abbildung 2 dargestellt und bereits mehrfach erwähnt, basiert dieser sogenannte Einplatinencomputer auf dem PIC16F84-Prozessor der Firma Microchip. Er wurde um einige Elemente einer Ein- bzw. Ausgabereinheit wie Taster, Schalter, LEDs sowie einem zweizeiligen LCD-Display ergänzt, die alle direkt mit entsprechenden I/O-Ports des Mikroprozessors verbunden sind.

Der Prozessor verfügt hierbei über die nachfolgend aufgeführten Eigenschaften [12] und eignet sich insbesondere aufgrund seiner einfachen Architektur hervorragend für ein Praktikum im Grundstudium:

- RISC-Architektur
- 13 frei definierbare I/O-Ports
- lediglich 35 Befehle umfassender Befehlssatz
- bis zu 10 MHz Taktfrequenz
- 8-Bit Datenbreite
- 15 CPU-spezifische Register
- Interrupt-Funktionalität
- 68 Byte RAM-Speicher
- 1 kWord wiederbeschreibbarer Flash-Speicher für Anwendungen

Die Programmentwicklung, Kompilierung und Simulation erfolgt mit der frei verfügbaren Software *MPLAB* von Microchip [12] bzw. *MAX+PLUS II Baseline* von Altera [7], der eigentliche Programmiervorgang mit Hilfe der ebenfalls kostenfreien Software *IC Programmer* [11] über die auf der Platine integrierte serielle Schnittstelle.

Durch die direkte Anbindung der Ein- und Ausgabelemente (Taster, Display, etc) sind für den Themenblock

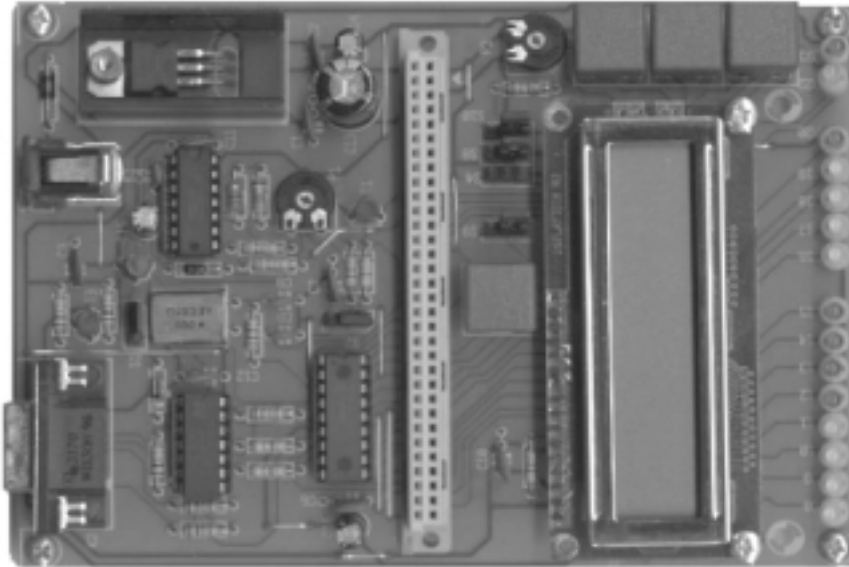


Abbildung 2. Das PICee-Entwicklungssystem

Mikroprozessor-Programmierung somit selbst komplexe Aufgabenstellungen denkbar und in kurzer Zeit realisierbar und testbar.

Um das komplette Aufgabenspektrum eines klassischen Hardware-Praktikums abzudecken, wurde das System mit Hilfe zweier am Lehrstuhl für Rechnerarchitektur entwickelter Zusatzplatinen (Abbildung 3 und 4) zum sogenannten *PICee++-Entwicklungssystem* erweitert [2, 4], die sich beide auf die in Abbildung 2 in der Mitte zu erkennende Steckerleiste aufstecken lassen. Beide Platinen verfügen damit an den jeweils unten angebrachten Anschluß-Pins über alle wichtigen Signale des PIC16F84-Prozessors, wie beispielsweise I/O-Ports, Takt- und Reset-Signal sowie die Versorgungsspannung.

Die erste Platine (Abbildung 3) verfügt über ein FPGA EPM7128SLC84-15 der Firma Altera, das sich über die ebenfalls auf der Platine angebrachte parallele Schnittstelle direkt mit der Software *MAX+PLUS II Baseline* konfigurieren lässt. Wie in der Abbildung zu erkennen ist, kann auf alle I/O-Ports des FPGAs über Anschluß-Pins zugegriffen werden. Mit Kabeln lässt sich somit eine Verbindung zu oben erwähnter Steckerleiste des PICee-Entwicklungssystems und damit zu allen dort vorhandenen Komponenten herstellen. Dadurch lassen sich alle im Themenblock *Aufbau kombinatorischer und sequentieller Schaltkreise* entwickelte Schaltungen in eine 'reale' Ent-

wicklungsumgebung einbetten.

Das zweite Zusatzmodul (Abbildung 4) entspricht einem frei konfigurierbarem Experimentierfeld, wie es in den meisten Hardware-Praktika genutzt wird, um (komplexe) Schaltungen aufzubauen und mit den entsprechenden Steuer- und Mess-Instrumenten (Oszilloskop, Taktgenerator) zu analysieren. Das gleiche gilt auch für die hier vorgestellte Platine mit dem Unterschied, das über die ebenfalls vorhandenen I/O-Ports des PIC16F84-Prozessors dieser sowohl als Steuer- und Messgerät genutzt werden kann (Themenblock *Grundlagen der Analog- und Digitaltechnik*).

In beiden Fällen besteht die Aufgabe der Studierenden somit nicht nur in der Entwicklung der entsprechenden Schaltung, sondern auch in deren Verdrahtung sowie der Implementierung diverser Datenaustauschroutinen, um die diversen Komponenten des PICee++-Entwicklungssystems nutzen zu können.

4 Konsequenzen eines webbasierten Praktikums

Durch das vorgestellte Mobile Hardware-Praktikum ergeben sich einige Konsequenzen sowohl auf Seiten der Veranstalter als auch auf Seiten der Studierenden. Als Vorteil ist anzusehen, dass den gebildeten Kleingruppen ohne jeglichen Zeitdruck die Möglichkeit gegeben wird, sich mit den gestellten Anforderungen vertraut zu machen. Zudem

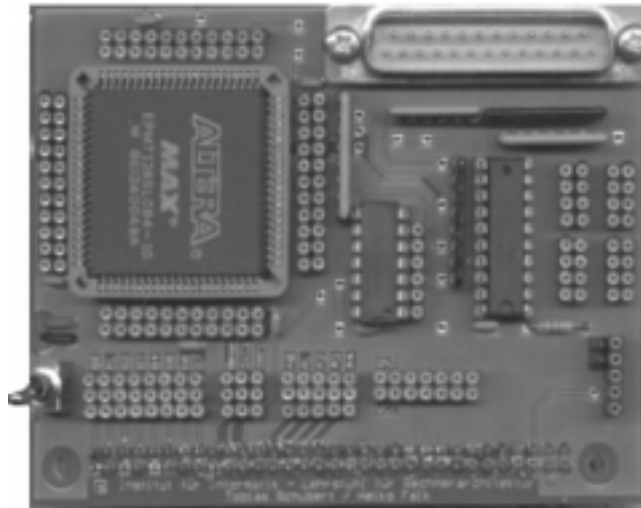


Abbildung 3. Das Zusatzmodul der zweiten Versuchsreihe

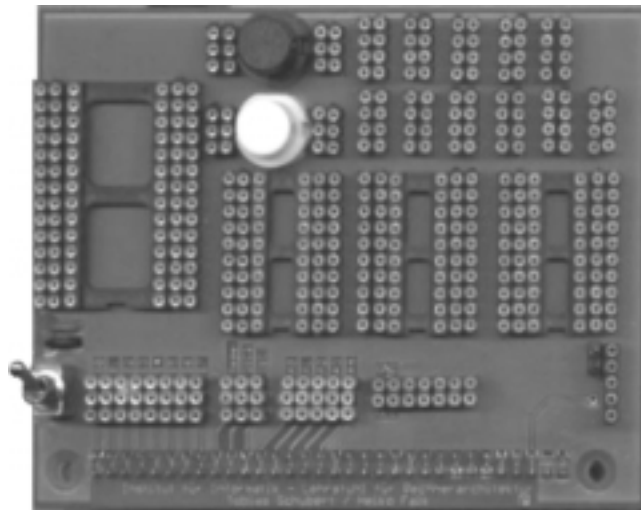


Abbildung 4. Das Zusatzmodul der dritten Versuchsreihe

wird dadurch die Eigeninitiative begünstigt, Experimente jenseits der Aufgabenstellung durchzuführen, was bei einem Präsenzpraktikum im Regelfall durch den engen Zeitrahmen, in dem die Lösungen vorgestellt werden müssen, nicht möglich ist.

Ein großer Fortschritt ist der Anstieg der potentiellen Teilnehmer. Die maximale Anzahl ist nur durch die Menge vorhandener Hardware-Komponenten beschränkt, die im Gegensatz zu den klassischen Praktika den Vorteil haben, mit etwa 200 Euro pro Arbeitsplatz sehr kostengünstig zu sein. Zudem ist eine Präsenz vor Ort nicht mehr zwingend erforderlich.

derlich.

Von Nachteil ist die Tatsache, dass keine Erfahrungen mit den *klassischen* Instrumenten der Elektronik wie Oszilloskop oder Frequenzgenerator gemacht werden, was teilweise durch dementsprechende Aufgaben in Kombination mit den vorgestellten Zusatzmodulen (Beispiel Kondensatormessgerät) aufgefangen wird.

Hervorgerufen durch die elektronische Abgabe und Bewertung sowie durch das Diskussionsforum wird ein gewisser Verlust an Kontakt zwischen Veranstalter und Teilnehmern

in Kauf genommen, so dass es schwer fällt, zwischen *guten* und *schlechten* Teilnehmern bzw. Gruppen zu unterscheiden. Abhilfe wird durch die in Abschnitt 2 angedeuteten *Präsentationen* sowie die freiwillige Übungsstunde geschaffen.

Das Praktikum gliedert sich ein in eine ganze Reihe von ähnlichen Projekten [1, 5, 6, 9, 10, 14, 15, 16, 17]. Das herausragende Merkmal im Vergleich zu ebenfalls virtuell durchgeführten Praktika liegt in der Tatsache, dass die Experimente nicht per Software oder entsprechender webbasierter Benutzeroberflächen simuliert werden, sondern an *realer* Hardware durchgeführt werden können, was der Vorstellung eines *klassischen* Laborversuchs entspricht.

5 Zusammenfassung

Mit dem *Mobilen Hardware-Praktikum* haben wir eine vollständig orts- und zeitungebundene Form einer Präsenzveranstaltung vorgestellt. Das verwendete *Learning Management System* ermöglicht neben der Bereitstellung aller nötigen Informationen die elektronische Abgabe und Bewertung der Experimente. Per EMail, Diskussionsforum, Kurzpräsentation und einer freiwilligen Fragestunde wird auch weiterhin der persönliche Kontakt zwischen Studierenden und Veranstaltern gewährleistet. Desweiteren wird in besonderem Maße die Fähigkeit zur *verteilten* Teamarbeit gefördert, was im Berufsleben einen immer höheren Stellenwert einnimmt.

Auf Basis des *PICee++-Entwicklungssystems* steht jeder teilnehmenden Gruppe ein komplett ausgestatteter Arbeitsplatz zur Verfügung, der ein Gefühl der Präsenz im Labor vermittelt.

Eine im Sommersemester 2002 durchgeführte Evaluierung des Praktikums hat uns in unserem Vorgehen bestätigt. Insbesondere die multimedialen Vorträge zu den einzelnen Themengebieten sowie der Wegfall des Zeitdrucks ist bei den Studierenden auf große positive Resonanz gestoßen.

Die universelle Konfiguration des *Learning Management Systems* bietet die Chance, die vorgestellte mobile und webbasierte Form auch auf andere Veranstaltungen - selbst mit weit mehr als 100 Studierenden - anzuwenden.

Danksagung

Die Autoren möchten sich an dieser Stelle bei Peter Winterer und Heiko Falk für deren Engagement und Einsatz bei der Entwicklung des *Mobilen Hardware-Praktikums* bedanken.

Das *PICee-Entwicklungssystem* wurde in der Fachzeitschrift *Elektor - Elektronik & Computertechnik* in Ausgabe 2, Jahrgang 2002 vorgestellt und basiert auf einer Entwicklung von Reinhardt Weber von der Ludwig-Geissler-Schule Hanau. Beiden gilt ebenfalls unser Dank für die freundliche Unterstützung.

Literatur

- [1] F-Moll.
<http://f-moll.uni-freiburg.de>.
- [2] The PICee++-System.
<http://ira.informatik.uni-freiburg.de/~schubert>.
- [3] Hardware Lab 2002.
<http://ira.informatik.uni-freiburg.de/teaching/hwprak-2002/html/main.html>.
- [4] Hardware Lab 2003.
<http://ira.informatik.uni-freiburg.de/teaching/hwprak-2003/html/main.de.html>.
- [5] Mobile Pools.
<http://mopo.informatik.uni-freiburg.de>.
- [6] Client/Server-Systems for Telelearning Labs.
<http://www3.cti.ac.at/~auer/publications/apc2001.pdf>.
- [7] Altera Corporation.
<http://www.altera.com>.
- [8] Elektor.
<http://www.elektor.de>.
- [9] Remote Experimentation In A Collaborative Virtual Environment.
http://www.fernuni-hagen.de/ICDE/D-2001/fernuniversitaetbeitraege/bischoff_roehrig.
- [10] 100-online at the University of Stuttgart.
<http://www.ias.uni-stuttgart.de/100-online>.
- [11] IC-Programmer.
<http://www.ic-prog.com>.
- [12] Microchip Technology Inc.
<http://www.microchip.com>.
- [13] TechSmith Corporation.
<http://www.techsmith.com>.
- [14] ULI-Campus.
<http://www.uli-campus.de>.
- [15] A Virtual Lab.
<http://www.vip.rwth-aachen.de>.
- [16] VIROR.
<http://www.viror.de>.
- [17] Verbund Virtuelles Labor.
<http://www.vvl.de>.
- [18] PICee – Single Board μ Computer.
<http://www.lgs-hanau.de/docs/picee/picee.php>.