

# Mikrosystemverständnis im Hochschulstudium – Ein praktikumsorientierter Ansatz

Kirstin Schwidrowski<sup>1</sup>, Thilo Schmidt<sup>2</sup>, Rainer Brück<sup>2</sup>,  
Stefan Freischlad<sup>1</sup>, Sigrid Schubert<sup>1</sup>, Peer Stechert<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl Didaktik der Informatik und E-Learning

<sup>2</sup> Lehrstuhl Mikrosystementwurf

Universität Siegen

Hölderlinstr. 3

57076 Siegen

Email: {vorname.nachname}@uni-siegen.de

**Zusammenfassung:** Mit hochschuldidaktischer Forschung zur Informatik soll aus einem traditionellen Hardwarepraktikum ein attraktives Entwurfs- und Anwendungspraktikum für Mikrosysteme (MSE) werden, das ein unverzichtbarer Bestandteil des Informatikstudiums ist. Diese Neugestaltung der Lehre wurde aufgrund des Bologna-Prozesses und der zunehmenden Präsenz multifunktionaler eingebetteter Mikrosysteme (EMS) im täglichen Leben notwendig. Ausgehend von einer Lehrveranstaltungsanalyse werden Vorschläge für die Kompetenzorientierung abgeleitet. Es wird gezeigt, dass für eine Verfeinerung des Ansatzes ein wissenschaftlich fundiertes Verständnis der erwarteten Kompetenzen erforderlich ist. Für den aufgezeigten Forschungsbedarf werden ein Ansatz zur Beschreibung des notwendigen Mikrosystemverständnisses dargestellt und Forschungsfelder zu Aspekten des Kompetenzbegriffs im Kontext der Lehrveranstaltung beschrieben.

## 1 Motivation

Die Forschung zum Informatiksystemverständnis stellte bisher die Softwareentwicklung in den Vordergrund. Nun gilt es, Kompetenzen für komplexe Systeme aus Hardware- und Softwarekomponenten herauszuarbeiten und in ein Kompetenzstufenmodell zu integrieren. Im Vordergrund sollen dabei eingebettete Mikrosysteme (EMS) stehen, also komplexe technische Systeme, die sich aus miniaturisierten Sensor-, Aktor- und Recheneinheiten zusammensetzen und dem Benutzer als monolithische, häufig portable, Geräte präsentieren [Br02]. Dabei geht es in erster Linie um Fragen der Vermittlung und Aneignung von Verständnis bezüglich der Wechselwirkungen von eingebetteten Mikrosystemen und neuen Medien. Der Forschungsbedarf basiert auf der Erkenntnis, dass zunehmend der Einsatz neuer Hardware in Form von Mikrosystemkomponenten (z.B. Mikrogyroskopen für Kfz-Anwendungen), mikrotechnischen Systemrealisierungen (z.B. energieeffizienten Prozessoren) oder multifunktionalen Mikrosystemen (z.B. Mobiltelefonen mit Navigationsfunktion) die Veränderung der Anwendungsbereiche und -szenarios bestimmt. Aufgrund seiner Aktualität ist dieser Aspekt bisher noch nicht Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen zur Informatikdidaktik gewesen [Sc07, FSS06].

## **2 Bestandsaufnahme und Analyse der Erfolge und Probleme des Hardwarepraktikums**

Den Ausgangspunkt bildet in diesem Kontext das vom Lehrstuhl Mikrosystementwurf angebotene Hardwarepraktikum. Das Hardwarepraktikum ist seit ca. 15 Jahren fester Bestandteil des Informatikcurriculums der Universität Siegen. Zentrale Aufgabe der Lehrveranstaltung ist die Sensibilisierung der Studierenden gegenüber den Problemen und Randbedingungen, die bei der technischen Realisierung von Informatiksystemen auftreten können. Dadurch, dass es die Grundlagen der Informatik und Elektrotechnik in einen gemeinsamen Kontext bringt, soll das Verständnis der Zusammenhänge zwischen Hard- und Software gefördert werden.

### **2.1 Inhalte und Aufbau**

Ursprünglich ganz auf den klassischen Schaltungsentwurf mit in Transistor-Transistor-Logik (TTL) realisierten Gatterbausteinen ausgerichtet, wie er in Studiengängen der Technischen Informatik der 1980er Jahre typischerweise gelehrt wurde, musste das Hardwarepraktikum Ende der 1990er Jahre im Zuge der Einführung neuer Informatikstudiengänge mit geringerem elektrotechnischem Anteil erstmals grundlegend überarbeitet werden. Die Verfügbarkeit rekonfigurierbarer Hardware (z.B. Field Programmable Gate Array (FPGA), Complex Programmable Logic Device (CPLD)) und entsprechender Entwurfssoftware ermöglichte den Entwurf komplexer digitaler Systeme nun auch im Rahmen einer Lehrveranstaltung. Der Schwerpunkt der Veranstaltung verlagerte sich damit von dem elektrotechnischen Entwurf digitaler Grundschaltungen hin zu dem eher informatischem High-Level-Entwurf von Very Large Scale Integration (VLSI)-Schaltungen mit Hardwarebeschreibungssprachen.

Vom Aufbau her besteht die Lehrveranstaltung im Umfang von 6 ECTS-Punkten aus zwei Vorlesungseinheiten, die in die Thematik einführen, und zehn experimentellen Einheiten à jeweils 3 Präsenzstunden, die von jeweils zwei Studierenden kooperativ bearbeitet werden. Um die Erkenntnisse und Ergebnisse eines Experiments zu sichern und auf das nächste Experiment zu übertragen, finden jeweils Vor- und Nachbereitungsphasen außerhalb der Laborräume und Präsenzzeiten statt, in der das jeweils folgende Experiment geplant und vorbereitet wird. Sowohl die Vorbereitung als auch die Nachbereitung der Experimente muss von den Studierenden schriftlich dokumentiert werden und wird von den Betreuern durchgesehen und bewertet.

Inhaltlich besteht das Hardwarepraktikum zurzeit aus zwei thematisch getrennten Abschnitten. Der erste Abschnitt befasst sich mit den elektronischen und physikalischen Randbedingungen, die beim Entwurf integrierter Schaltungen zu berücksichtigen sind. Zur Verdeutlichung der auftretenden Effekte werden Experimente und Simulationen mit Werkzeugen der elektrischen Messtechnik, wie z.B. Oszilloskop und Funktionsgenerator durchgeführt, was generelle Grundkenntnisse der Elektrotechnik voraussetzt. Dieser Abschnitt umfasst die ersten drei Versuchsreihen des Hardwarepraktikums. Der zweite, erheblich umfangreichere Abschnitt des Hardwarepraktikums beinhaltet den Entwurf eines einfachen Mikroprozessors mit Hilfe aktueller Entwurfstechniken. Der Prozessor wird mit einem programmierbaren Hardwarebaustein realisiert und in eine reale Hardwareumgebung mit Speicher und IO-Schnittstellen integriert. In der letzten Versuchsrei-

he erfolgt eine Programmierung des Gesamtsystems in einer Assemblersprache. Bei der inhaltlichen Konzeption des zweiten Abschnitts wurde besonderer Wert auf Praxisnähe gelegt. Die Studierenden werden mit Entwurfssoftware, Hardware und Aufgabenstellungen konfrontiert, die in dieser Zusammensetzung auch in der Industrie häufig zum Einsatz kommen.

## **2.2 Didaktisches Konzept**

Das dem Hardwarepraktikum zugrundeliegende didaktische Konzept kombiniert die klassischen Konzepte von universitärem Laborpraktikum und Projektarbeit. Das Praktikum ist einerseits in zeitlich und thematisch strikt getrennte didaktische Einheiten, sogenannte Versuchsreihen, unterteilt, die eine relativ präzise Bestandsaufnahme und Kontrolle des Lernfortschritts der Studierenden ermöglichen. Andererseits sind die Versuchsreihen des zweiten Abschnitts aufeinander aufbauend und bieten den Studierenden zusätzliche Freiheiten bei Entwurfsentscheidungen, die eher für Projektarbeiten charakteristisch sind. Ziel dieser Mischung ist es, den Studierenden möglichst viele Freiräume für eigene Ideen und exploratives Arbeiten zu bieten und gleichzeitig den Betreuern möglichst viele Kontrollpunkte für korrigierende Eingriffe zu verschaffen. Letzteres ist aufgrund der komplexen Randbedingungen unbedingt erforderlich.

Im Unterschied zu anderen Lehrveranstaltungen bietet das Hardwarepraktikum keine für die Lehre maßgeschneiderte Sandkastenumgebung, sondern arbeitet mit Software und Hardware, wie sie auch im industriellen Umfeld zum Einsatz kommt. Das realitätsnahe und damit auch hochkomplexe Arbeitsumfeld soll die Studierenden zu einer strukturierten und kooperativen Arbeitsweise zwingen, die sich an in der Industrie verbreiteten Entwurfsmustern und Prozessen orientiert. Aus diesem Grund ist die Lernkurve zu Beginn des Hardwarepraktikums auch bewusst sehr steil ausgelegt. Der erste Abschnitt des Hardwarepraktikums erfordert, dass sich die Studierenden sehr schnell in die Bedienung von ihnen bisher unbekanntem elektrischen Messeinstrumenten und Simulationssoftware einarbeiten und bisher rein theoretisch behandelte Methoden der elektrischen Messtechnik in die Praxis umsetzen. Das geforderte Lernpensum ist nur dadurch zu bewältigen, dass die Studierenden sich in den Zweiergruppen gegenseitig unterstützen und sich eine koordinierte Vorgehensweise angewöhnen. In Versuchsreihe 4, die den Einstiegspunkt für den zweiten Abschnitt des Hardwarepraktikums darstellt, wird von den Studierenden zudem gefordert ihre Vorgehensweise formal in Form eines Flussdiagramms zu beschreiben.

## **2.3 Erfolge und Probleme**

Eine formalen Kriterien genügende Evaluation des Hardwarepraktikums hinsichtlich der Zufriedenheit der Studierenden bzw. des erreichten Lernerfolgs fand bisher nicht statt. Die vorliegenden Aufzeichnungen über die Jahre 2003 bis 2008 und die persönlichen Erfahrungen der Autoren in diesem Zeitraum lassen jedoch einige Rückschlüsse auf die Erfolge und Probleme des Hardwarepraktikums in seiner jetzigen Form zu.

So ist zunächst positiv zu vermerken, dass in besagtem Zeitraum nahezu alle Studierenden das Hardwarepraktikum bereits bei der ersten Teilnahme erfolgreich abgeschlossen haben, dies allerdings mit höchst unterschiedlichem Zeitaufwand. Nur einem relativ

geringen Anteil der Studierenden ist es gelungen, alle Versuchsreihen in dem vorgesehenen Zeitrahmen zu bearbeiten. Insbesondere die Durchführung der letzten Versuchsreihen erfordert bei einem Großteil der Studierenden einen Zeitaufwand, der erheblich über die veranschlagten Laborstunden hinausgeht. Nicht selten sind die Studierenden noch bis spät in die Nacht mit der Fehlersuche beschäftigt.

Neben den leicht nachvollziehbaren Ursachen, wie mangelhafter Versuchsvorbereitung, unstrukturierter Vorgehensweise und schlechter Arbeitsteilung in den Zweiergruppen, existieren einige Randbedingungen, die die zügige Bearbeitung der Versuchsreihen auch ohne Verschulden der Studierenden verhindern können. Als ein Kernproblem hat sich dabei die professionelle Entwurfsumgebung herausgestellt. Die Komplexität dieser Umgebung ist weder für die Studierenden noch für die Betreuer in vollem Umfang überschaubar, was insbesondere bei sehr kreativen Studierenden zu Problemen führt, die neue Lösungswege ausprobieren möchten. Im Endeffekt sind genau die Studierenden am erfolgreichsten, die sich möglichst genau an die Aufgabenstellung halten und auf eigene Lösungsansätze verzichten. Als besonders problematisch hat sich in dieser Hinsicht der sequentielle Aufbau der Versuchsreihen 4 bis 10 herausgestellt, da falsche Designentscheidungen oder Fehler in frühen Versuchsreihen möglicherweise erst gegen Ende des Hardwarepraktikums sichtbar werden. Treten bei der Programmierung des Prozessors Fehler auf, können die Ursachen sowohl in der entwickelten Hardware als auch in der Software oder sogar in der Entwurfsumgebung liegen. Eine effiziente Fehleranalyse gestaltet sich als ausgesprochen schwierig und zeitaufwendig. Unter diesen Umständen ist es durchaus nachvollziehbar, dass die Motivation der meisten Studierenden im Laufe der Zeit spürbar nachlässt. Gegen Ende des Semesters äußert sich kaum noch ein Student positiv über das Hardwarepraktikum. Mit einigem zeitlichen Abstand verkehrt sich diese Einstellung erstaunlicherweise aber oft ins Gegenteil. Studierende gegen Ende des Hauptstudiums oder ehemalige Studierende, die mittlerweile im Berufsleben stehen, äußern sich durchweg positiv über das Hardwarepraktikum oder bezeichnen es gar als die Veranstaltung des Grundstudiums, in der sie „am meisten gelernt“ haben.

Neben den Motivationsproblemen, die im Laufe des Hardwarepraktikums durch Frusterelebnisse entstehen, existieren insbesondere bei den Studierenden, die sich nicht auf die Fachrichtung Technische Informatik spezialisieren, generelle Motivationsprobleme hinsichtlich des „Sinns“ der Veranstaltung. Argument dieser Studierenden ist häufig, dass ihr Studienziel darin liegt, Anwendungssoftware zu entwickeln, sie später also wohl kaum in die Verlegenheit kommen werden, Prozessoren zu entwerfen oder in Assembler zu programmieren. Dieses Argument ist in der Tat nicht ganz von der Hand zu weisen, da die zugrundeliegende Hardwareplattform bei heutigen Informatiksystemen kaum noch eine Rolle spielt. Die Probleme liegen vielmehr in der Integration der zahlreichen unterschiedlichen High-Level-Schnittstellen. Der Computer als datenverarbeitende Instanz wird bei dieser Sichtweise nur als monolithische Komponente innerhalb des Informatiksystems betrachtet.

Erschwerend kommt hinzu, dass im Zuge der Umstellung auf Bachelor-/Master-Studiengänge im Rahmen des Bologna-Prozesses das Hardwarepraktikum an der Universität Siegen für Studierende der Informatik verpflichtend wurde, deren Studienschwerpunkt nur einen sehr geringen oder gar keinen direkten Bezug zu der elektrotechnischen Realisierung von Informatiksystemen beinhaltet. Der erste Abschnitt des Hardwarepraktikums, in dem die Studierenden mit Messinstrumenten und Simulationswerkzeugen

Experimente zum elektrischen Verhalten von einfachen Grundschaltungen durchführen, kann unter diesen Rahmenbedingungen nicht weitergeführt werden und bedarf einer grundlegenden Überarbeitung. Auch das didaktische Konzept, dass durch zahlreiche Leistungskontrollen ein erheblicher Druck auf die Studierenden ausgeübt wird, sollte dringend überarbeitet werden. Dazu gehört auch die Überlegung, ob zugunsten einer stabileren Arbeitsumgebung zumindest teilweise auf die zwar professionelle und damit praxisnahe, aber dadurch doch unnötig komplexe Entwurfsumgebung verzichtet werden kann. Dies gilt umso mehr, da der Entwurf integrierter Schaltungen in der Informatikpraxis immer mehr gegenüber dem Entwurf eingebetteter Systeme an Bedeutung verliert.

### **3 Lösungsvorschläge für Veränderungen in der Ausbildung**

Weicker [We07] beschreibt einen Ansatz zur Kompetenzvermittlung in der Hochschul-ausbildung. Der Ansatz unterscheidet zwischen fünf wichtigen Aspekten der zielorientierten Didaktik. Der erste Aspekt ist die Lernzielorientierung. Ausgangspunkt für die Planung von Lehr-Lernprozessen ist die Bestimmung von Lernzielen, die drei Bereichen zugeordnet werden können. Kognitive und affektive Lernziele beeinflussen im Besonderen die Auswahl und Strukturierung der Inhalte. Affektive und pragmatische Lernziele beeinflussen im Besonderen die methodische Gestaltung der Lehr-Lernprozesse. Der zweite wichtige Aspekt der zielorientierten Didaktik ist die Berücksichtigung des Vorwissens der Studierenden. Sinnvolles Lernen ist nur dann möglich, wenn die Lernenden neues Wissen mit Vorwissen verknüpfen können. Wenn das notwendige Vorwissen nicht vorab als bekannt vorausgesetzt werden kann, muss das Vorwissen der Studierenden im Rahmen der Lehrveranstaltung bestimmt werden. Der dritte Aspekt ist die enge Verzahnung von Input und Aktivität. In rezeptiven Lehr-Lernprozessen erworbenes Wissen soll direkt in Aktivitäten angewendet werden. Damit wird das „Lernen auf Vorrat“ soweit wie möglich reduziert. Der vierte Aspekt ist die Motivation. Für erfolgreiche Motivation von Lernenden führt Weicker sechs Einflussfaktoren an: Begeisterung, ansprechende Themen, Alltagsbezug, Verantwortung, sozialer Kontext und Scheinbedingungen. Der fünfte und damit letzte Aspekt ist frühzeitige Rückmeldung zum Leistungsstand der Lernenden zu allen Lernzielbereichen (kognitiv, affektiv, pragmatisch). Weicker schlägt vor, dass zum einen die Lehrenden immer wieder die Lernziele im Rahmen der Veranstaltung explizieren. Zum anderen müssen die Lernenden aber konkret zu allen drei Lernbereichen regelmäßige Rückmeldungen zu ihrem persönlichen Leistungsstand erhalten. Voraussetzung dafür ist, dass die Lernziele zuvor präzise formuliert wurden. Zur Umsetzung der Rückmeldung müssen den Lernenden Angebote gemacht werden, indem beispielsweise die Ergebnisse der Versuchsvorbereitung und -durchführung durch Betreuer bewertet werden. Bedingung ist aber auch, dass die Lernenden dieses Angebot annehmen und sich nicht durch Kopieren von Lösungen oder Verstecken in der Gruppe diese Möglichkeit nehmen. Aus diesen fünf Kriterien und der aktuellen Situation des Praktikums werden im Folgenden drei Lösungsansätze zur Neugestaltung des Praktikums beschrieben.

#### **3.1 Ausrichtung an Alltagserfahrungen mit eingebetteten Mikrosystemen**

Der Einsatz von Mikrosystemen bzw. integrierten Schaltungen hat sich in den Jahren des Bestehens des Hardwarepraktikums grundlegend verändert. Der Einsatz eingebetteter Mikrosysteme hat mittlerweile eine deutlich größere Bedeutung nicht nur im Berufsall-

tag von Informatikern als Entwickler dieser Systeme, sondern auch in Alltagserfahrungen von Bürgern als Anwender, zumindest in den Industriestaaten bekommen. Daraus ergibt sich für das neugestaltete Praktikum die Möglichkeit, diese Alltagserfahrung als motivierendes Element heranzuziehen und damit auch diejenigen Studierenden zu erreichen, die den mangelnden Bezug zur eigenen Lebenswelt des bisherigen Hardwarepraktikums beklagen. Daher soll der Entwurfsgegenstand des Praktikums von einem frei programmierbaren Rechner zu EMS geändert werden. Dazu werden Aktor- und Sensoreinheiten in den Entwicklungsprozess mit einbezogen. Damit müssen auch die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Komponenten verstärkt berücksichtigt werden. Neben einem Bussystem zur Datenübertragung gehören dazu auch Controller für den Anschluss der Aktor- und Sensoreinheiten. Ebenso muss die Eingabe-/Ausgabeeinheit des Prozessors den Datenaustausch über das externe Bussystem erlauben.

Ein wichtiger Faktor zur Motivation von Lernenden ist es, einen angemessenen Bezug zwischen Erfahrungen aus der Lebenswelt und den Inhalten von Lehr-Lernprozessen herzustellen. Um einen solchen Bezug herstellen zu können, ist die Auswahl konkreter, auf die Inhalte bezogener Situationen bzw. Probleme erforderlich. Speziell für den Einsatz von Sensor- und Aktoreinheiten bietet sich der Bau von autonomen Robotern an. Damit könnte durch eine Wettbewerbssituation der Studierenden untereinander zugleich ein weiterer Motivationsfaktor geschaffen werden. Weitere mögliche Anwendungen wären einfache Systeme für Umweltüberwachungen und -analysen oder Steuerungs- und Automatisierungssysteme im Haushalt.

### **3.2 Top-Down-Vorgehen**

Ein Ziel des Praktikums ist, dass die Studierenden lernen, Probleme, die im Entwicklungsprozess auftreten, selbstständig zu lösen. Um den Erwerb von Problemlösestrategien zu fördern, sind die Inhalte der Lehr-Lernprozesse nicht vorab gegeben, sondern müssen vielmehr durch die Lernenden zunächst erlernt und dann mit vorhandenem Wissen verknüpft werden. Dabei wird in Abgrenzung zum rezeptiven von entdeckendem Lernen gesprochen. Hierbei werden die Inhalte häufig zunächst intuitiv erfasst, bevor zu einem späteren Zeitpunkt eine analytische Überprüfung der Schlussfolgerungen erfolgt [Ed00]. Voraussetzung für intuitives Denken ist eine Vertrautheit mit dem Bereich. Es ist daher sinnvoll, dass die Lernenden bereits eine intuitive Vorstellung von der Struktur des Themengebiets haben, bevor sie Fragen darüber stellen und es schließlich analytisch untersuchen können. Daher wird die Organisation des Lehr-Lernprozesses so gewählt, dass die Lernenden an konkrete Vorerfahrungen anknüpfen können. Dazu wird mit einer Betrachtung des gesamten bekannten Systems begonnen, bevor Details untersucht werden.

Die Organisation des Hardwarepraktikums erfolgt bisher nach dem Bottom-Up-Prinzip. Nach einer Auseinandersetzung mit den physikalischen Effekten werden die Komponenten des Datenpfads zunächst einzeln entworfen und getestet und schließlich zur Zentraleinheit zusammen gefügt. Die Zentraleinheit wird dann mit Eingabe-/Ausgabeeinheit und Speicher verbunden und der Prozessor durch Programmierung eines FPGA erstellt. Daran anschließend werden kleine Programme für den Prozessor entwickelt und dieser damit getestet. Eine Gesamtschau auf das System liegt daher erst kurz vor Ende des Praktikums vor. Ein Problem dabei ist, dass falsche Entwurfsentscheidungen erst spät

erkannt werden. Um dieser Schwierigkeit zu begegnen, sollen die Studierenden in dem neu gestalteten Praktikum damit beginnen, ein Gesamtsystem zur Lösung des Anwendungsproblems auf der Ebene der verschiedenen Sensor- und Aktoreinheiten, des Prozessors und des Bussystems zu beschreiben. Damit soll eine erhöhte Motivation der Studierenden erreicht werden, weil diese daran interessiert sind zu erkennen, wie konkrete Anwendungen eingebetteter Systeme funktional aufgebaut sind. Daran schließt sich die Analyse ausgewählter Funktionseinheiten, der Aufbau und die Entwicklung einer integrierten Schaltung und schließlich die Untersuchung ausgewählter physikalischer Effekte an. Außerdem kann in einer frühen Phase bereits ein Produkt aus vorhandenen Funktionseinheiten erstellt und programmiert werden.

### **3.3 Peer-Review in der Projektphase**

Die methodische Gestaltung von Lehr-Lernprozessen muss sich an affektiven und pragmatischen Lernzielen orientieren. Neben den Lernzielen zur Anwendung der Hardware Description Language (HDL) und dem Aufbau eines Prozessors sollen die Studierenden auch den Entwicklungsprozess selbst und damit die informatische Modellierung sowie den Einsatz professioneller Entwicklungswerkzeuge erlernen. Dazu gehört das affektive Lernziel, dass der informatische Entwicklungsprozess aus Entwurf, Realisierung und Test sorgfältig durchgeführt wird. Insbesondere die Modellierung in der Entwurfsphase hat erheblichen Einfluss auf die Qualität eines Produkts. Ein pragmatisches Lernziel ist, dass die Lernenden die Anwendung eines professionellen Werkzeugs für die Entwicklung von EMS beherrschen.

Eine Schwierigkeit im zweiten Abschnitt des bisherigen Praktikums, der Projektarbeit, war, dass fehlerhafte Entwurfsentscheidungen zu einem späteren Zeitpunkt zu großem Aufwand führten. Bisher fand eine systematische Rückmeldung lediglich durch die Betreuer des Praktikums statt. Im neu gestalteten Praktikum soll dies durch ein Peer-Review der Gruppen untereinander ergänzt werden. Dazu dokumentieren die Gruppen ihre Zwischenschritte in der Entwurfsphase mit informatischen Modellen und textuellen Erläuterungen. Diese Zwischenergebnisse werden dann in einem webbasierten Peer-Review-Verfahren geprüft. Verschiedene Lösungsansätze werden dabei durch andere Studierende analysiert und bewertet. Danach besteht die Möglichkeit, ungeeignete Ansätze bereits in einem frühen Stadium zu korrigieren.

Damit werden drei wichtige Aspekte im Lehr-Lernprozess gefördert. Die Aufgabe, die Ergebnisse der Entwurfsphase sowohl mit informatischen Modellen wie auch textuell zu dokumentieren, setzt eine intensive Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung voraus und mit der Dokumentation wird zugleich ein wichtiger Aspekt zur Qualitätssicherung in der Entwicklung berücksichtigt. Zum zweiten wird damit zugleich ein weiterer Aspekt der Projektarbeit nämlich die Kooperation in größeren Gruppen gefördert und Phasen des Inputs und der Aktivität eng miteinander verzahnt. Und schließlich wird damit auch die Anforderung erfüllt, dass nicht allein kognitive sondern auch affektive und pragmatische Lernziele beobachtbar werden und damit in den Prozess zur Rückmeldung für Lernende einbezogen werden können.

## 4 Kompetenzorientierung zur Neugestaltung der Lehre

Wie die Bestandsaufnahme gezeigt hat, erfordern unverzichtbare Ausbildungskomponenten wie das Hardwarepraktikum hochschuldidaktische Forschung und Intervention, um sich an den Lebenswelterfahrungen der Studierenden und den Kompetenzaspekten eines sich ständig verändernden Berufsfeldes zu orientieren. Die Lösungsvorschläge beschreiben organisatorische, methodische und inhaltliche Veränderungen zur Verbesserung der Ausbildung. Das ist aber zu wenig für eine hochschuldidaktische Strukturierung [WDW06]. Wichtige Grundlage ist die wissenschaftlich fundierte Beschreibung erwarteter Kompetenzen als Ergebnisse der Lehrveranstaltung. Deshalb gehen wir von folgenden Hypothesen aus:

- H<sub>1</sub>:** Für Entwickler von EMS ist das traditionelle Informatiksystemverständnis erforderlich [St06, CS06], das Informatiksysteme nach den folgenden Bereichen gliedert:
- ein nach außen sichtbares Verhalten (Black Box),
  - eine innere Struktur (White Box),
  - spezifikationsbedingte Eigenschaften (z. B. Implementierungsdetails).
- H<sub>2</sub>:** Für die Anwender von EMS sind nur das nach außen sichtbare Verhalten und ein kognitives Modell der inneren Struktur erforderlich. Wir gehen davon aus, dass unterschiedliche kognitive Modelle möglich sind, die unbedingt an die Anwendersprache und die jeweiligen Handlungsmuster anknüpfen müssen. Unsicherheit besteht darüber, inwiefern die kognitiven Modelle zur inneren Struktur wissenschaftlichen Kriterien der Informatik genügen müssen.

Aus den Hypothesen lassen sich Forschungsaufgaben ableiten, die eine Brücke zwischen den traditionellen Informatiksystemen und den EMS herstellen. Um die Schwierigkeiten der eingebetteten Systeme aufzuzeigen, wählen wir die folgende Definition: „Der Ausdruck eingebettetes System (auch engl. embedded system) bezeichnet einen elektronischen Rechner oder auch Computer, der in einen technischen Kontext eingebunden (eingebettet) ist. Dabei hat der Rechner die Aufgabe, das System, in das er eingebettet ist, zu steuern, zu regeln oder zu überwachen.“ [Wi08] Das Informatiksystem wird kaum noch als eigenständige Einheit wahrgenommen, sondern verschmilzt mit dem Anwendungskontext, in dem es seine steuernde, regelnde und überwachende Funktion übernimmt. Um die Schwierigkeit des im Hintergrund (im Verborgenen) wirkenden Informatiksystems für den Bildungszugang zu überwinden, wählen wir die folgende Dreiteilung der Forschungsfelder.

### 4.1 Forschungsfelder

Übergreifendes Ziel ist es, Erkenntnisse zu drei wesentlichen Forschungsfeldern zu gewinnen, die aus dem Kompetenzbegriff resultieren:

- 1) Motivation zur Erlangung von Mikrosystemverständnis: die Bereitschaft und Fähigkeit zu entwickeln, von Black-Box-Vorstellungen (Computergläubigkeit) zu rationalen Strukturmodellen zu wechseln.
- 2) Verstehen von Fachkonzepten für Mikrosystemverständnis: Strukturmodelle anzuwenden, um das nach außen sichtbare Verhalten von EMS erklären und in Beziehung zu den vielschichtigen internen Komponenten setzen zu können.

- 3) Einsatz von Fachmethoden als Ausdruck von Mikrosystemverständnis: Fachkonzepte anzuwenden, um die Nutzung von EMS auf effiziente und verantwortungsvolle Weise zu ermöglichen.

### **zu 1) Motivation zur Erlangung von Mikrosystemverständnis**

Die Aneignung von Kompetenz zur Konzeption und Entwicklung von EMS basiert im Hochschulalltag oft auf Einprägen von Regeln und Fakten, also Wissen auf einem geringen kognitiven Level. Deshalb müssen Lernaktivitäten entwickelt werden, die die Handlungsbereitschaft der Studierenden unterstützen. Gerade die Funktionen von EMS sind im Alltag nicht unmittelbar sichtbar, und es muss ein expliziter Bezug hergestellt werden. Dazu sind Aufgaben in Form von Experimenten und Explorationen in besonderer Weise geeignet, die die Selbsteinschätzung stützen, indem sie Rückmeldungen zum Lernbedarf geben und Konsequenzen falscher Selbsteinschätzung erfahrbar machen. Zudem ist der Bereich des EMS-Entwurfs durch starke Interdisziplinarität gekennzeichnet. Es ist anzunehmen, dass Studierende aus Schule und Hochschule über ein erweitertes implizites Modellverständnis und über notwendige, aber isolierte Vorkenntnisse aus weiteren Disziplinen (Physik, Mathematik, Elektrotechnik) verfügen. Sie müssen angeregt werden, ihr vorhandenes Wissen aus verschiedenen Disziplinen zu verschränken und in ein implizites Modellverständnis zu integrieren. Ziel muss es sein, Aufgaben in Form von Experimenten und Explorationen zu konzipieren, die vorhandenes Wissen aktivieren und systematisieren.

### **zu 2) Verstehen von Fachkonzepten**

Die Vermittlung grundlegender Fachkonzepte über Technologie und Entwurf von EMS umfasst das Vorstellen theoretischer Grundlagen, angeleitete Übungen zum Vertiefen und Praktika, in denen das Wissen durch selbsttätig durchgeführte Experimente angewendet und validiert wird. In der Hochschulausbildung fällt den Experimenten eine Sonderrolle zu, da sie die in Form idealisierter Modelle vermittelten Grundlagen in einer realen Umgebung begreifbar machen und ein realistisches Verständnis der technischen Zusammenhänge und Grenzen fördern. Praktika, die solche Aspekte vermitteln, sind somit wichtige Module zur Kompetenzentwicklung, da authentische berufliche Handlungssituationen und Niveaustufen zu bewältigen sind. Ziel muss es sein, Voraussetzungen und Mittel für erfolgreiche Lernprozesse zum Mikrosystemverständnis im Hardwarepraktikum zu untersuchen. Die theoretische Fundierung eines Kompetenzstufenmodells muss dazu erforscht werden. Diese muss flexibel genug sein, um heterogene Voraussetzungen der Lernenden zu berücksichtigen.

### **zu 3) Einsatz von Fachmethoden**

Eine Aufgabe wird sein, existierende Inhalte des Hardwarepraktikums auf den Bereich EMS zu übertragen, um neue Lehrkonzepte zu erweitern, zielgruppenspezifisch aufzubereiten und damit zu einem neuen „Entwurfs- und Anwendungspraktikum Mikrosysteme (MSE-Praktikum)“ zu gelangen. Die Vermittlung der typischen Arbeitsweise von EMS-Entwicklern, die sich gewöhnlich an formalen Vorgehensmodellen, wie z.B. dem V-Modell [RBB07] orientiert, erfolgt dabei in Form kleiner praktischer Entwurfsaufgaben.

Diese Experimente ermöglichen den Entwicklern, spezielle Teilprobleme ihrer Disziplin zu lösen. Die Experimente sind idealerweise so konzipiert, dass nur die konkrete Anwendung der Vorgehensmodelle zu korrekten Lösungen führt. Im Bereich von EMS müssen solche Experimente neu konzipiert werden, um die theoretischen Erkenntnisse zur Informatikkompetenzmodellierung an diesem konkreten Gegenstandsbereich festzumachen. Eine weitere Fragestellung dazu ist, wie EMS im Lehr-Lernprozess zugänglich sind. Es werden Ergebnisse zu informatikdidaktischen Zusammenhängen zwischen Fachkonzepten erwartet. Ziel ist es, Übergänge zwischen Fachkonzepten und Methoden zu beschreiben. Zur Messung von Kompetenzen und zur Erprobung des theoretisch fundierten Kompetenzmodells werden darauf aufbauend niveaubestimmende Aufgaben und Testitems entwickelt.

## **4.2 Anforderungen der Zielgruppe**

Die Hochschulausbildung verfolgt das Ziel, Studierende zu Entwicklern, deren berufliche Kernaufgabe im Bereich von Konzeption und Entwurf von EMS liegt, auszubilden. Deshalb müssen sie in die Lage versetzt werden, ihre Kenntnisse systematisch, strukturiert und zielgerichtet beim Entwurf neuer Systeme anzuwenden [BR07]. Entwickler können in stärkstem Maße auf die Gestaltung und damit die angestrebten Einsatzszenarios für EMS Einfluss nehmen. Die Erforschung des Einflusses experimenteller Fragestellungen für die Aneignung expliziten Mikrosystemverständnisses und die Untersuchung theoretisch begründeter, gestufter Kompetenzbeschreibungen, die z.B. folgende Kompetenzstufen umfassen könnten, sind notwendig. Die Lernenden sind in der Lage

1. die komplexe multimediale Gesamtfunktionalität von EMS zu verstehen,
2. die Bedeutung der einzelnen Sensor-, Aktor- und Berechnungseinheiten für eine Synergiebildung hinsichtlich der Gesamtfunktionalität der Systeme zu erkennen,
3. die Rolle zu verstehen, die durch Hardware (Sensoren, Aktoren, Rechnerhardware), bzw. durch Software (System- und Anwendungssoftware) ausgeübt wird,
4. zu verstehen, wie benutzungsspezifizierte Bedieneingaben in Hardwarefunktionalität umgesetzt werden,
5. Aufbau, Funktionsweise und technische Realisierung der Hardware-, Software, Sensor- und Aktorkomponenten zu verstehen.

Erfolgreiche Handlungsmuster zur Bewältigung von Anforderungssituationen im Umgang mit EMS sind Teil der notwendigen Kompetenzen von Anwendern. Die beobachteten Handlungsmuster erlauben Rückschlüsse auf deren kognitive Zugänge zu diesen Systemen. Im Rahmen des Entwicklungsprozesses muss der Entwickler diese Zugänge verstehen, um sie geeignet berücksichtigen zu können. Da ein implizites Modellverständnis dafür nicht ausreicht, eignen sich Entwickler von EMS rationale Strukturmodelle meist während eines Hochschulstudiums an.

## **5 Zusammenfassung**

Der Bologna-Prozess und die zunehmende Verbreitung multifunktionaler eingebetteter Mikrosysteme erfordern eine organisatorische und fachliche Neugestaltung des traditionellen Hardwarepraktikums. Die Analyse des bisherigen Praktikums zeigt Problemstellen auf: Neben den bekannten Schwierigkeiten, wie mangelhafter Versuchsvorbereitung der Lernenden, unstrukturierter Vorgehensweise und schlechter Arbeitsteilung in den

Zweiergruppen, ergeben sich veranstaltungsspezifische Lernhemmnisse durch die Komplexität der professionellen Entwurfswerkzeuge und durch den sequentiellen Aufbau der Versuchsreihen. Erst gegen Ende des Hardwarepraktikums werden Fehler sichtbar, deren Ursachen sowohl in der entwickelten Hardware als auch in der Software oder in der Entwurfsumgebung liegen können. Neben den Motivationsproblemen, die im Laufe des Hardwarepraktikums durch Frusterlebnisse entstehen, existiert bei vielen Studierenden vorab ein Motivationsproblem, sich mit diesem technischen Bereich intensiv auseinanderzusetzen.

Die Lösungsvorschläge greifen fünf allgemeine, wissenschaftlich fundierte Anforderungen an die Gestaltung von Lehrveranstaltungen auf. Die Auswahl von Methoden auf der Grundlage affektiver und pragmatischer Lernziele sowie die Messbarkeit von Lernzielen aller Bereiche zur umfassenden Rückmeldung werden durch die Einführung eines Peer-Review-Verfahrens umgesetzt. Die Berücksichtigung des Vorwissens der Lernenden erfolgt durch den Top-Down-Ansatz. Die enge Verzahnung von Input und Aktivität wird durch beide Lösungsvorschläge ermöglicht. Mit einer konsequenten Ausrichtung an Alltagserfahrungen mit EMS und den damit verbundenen Top-Down-Ansatz wird vor allem die Motivation der Studierenden erhöht, was eine der Schwierigkeiten der bisherigen Lehrveranstaltung war.

Aus der Orientierung an spezifischen Kompetenzen, die Ziel des Hochschulstudiums sind, werden weitere Ansätze zur Neugestaltung der Lehre abgeleitet. Der Ansatz des Informatiksystemverständnisses hat sich für traditionelle Informatiksysteme in der Sekundarstufe II als tragfähig erwiesen und soll zur Umsetzung der Kompetenzorientierung in der universitären Ausbildung angewendet werden. Dies ist ein Beitrag zur theoretischen Fundierung der Hochschuldidaktik der Informatik. Neben dem Verstehen von Fachkonzepten und -methoden soll ein Schwerpunkt auf die Förderung der Motivation gelegt werden. Die Studierenden sollen die Bereitschaft entwickeln, von Black-Box-Vorstellungen zu rationalen Strukturmodellen zu wechseln. Für die Forschungsarbeiten wird das bisherige Hardwarepraktikum des Lehrstuhls Mikrosystementwurf und dessen Veränderung zu einem MSE-Praktikum zur Analyse ausgewählt. Die Zielgruppe wird durch Studierende aus dem MSE-Praktikum im Bachelor-Studium Informatik der Universität Siegen repräsentiert.

## Literatur

- [BR07] Broy, M.; Rumpe, B.: Modulare hierarchische Modellierung als Grundlage der Software- und Systementwicklung. In: Informatik Spektrum 30 (2007) 1, S. 3–18.
- [Br02] Brück, R.: Entwurf und Simulation von Mikrosystemen, in: Ehrfeld, W. (Hrsg.): Handbuch Mikrotechnik, Carl Hanser Verlag, 2002.
- [CS06] Claus, V.; Schwill, A.: Duden Informatik. Dudenverlag, Mannheim, 2006.
- [Ed00] Edelmann, W.: Lernpsychologie. Beltz, Weinheim 2000.
- [FSS06] Forbrig, P.; Siegel, G.; Schneider, M. (Hrsg): Hochschuldidaktik der Informatik. Bd. P-100, Reihe „Lecture Notes in Informatics“ der Gesellschaft für Informatik, Bonn, 2006.
- [RBB07] Rausch, A., Broy, M., Bergner, K., Höhn, R., Höppner, S.: Das V-Modell XT. Grundlagen, Methodik und Anwendungen. Springer, Heidelberg 2007
- [Sc07] Schubert, S. (Hrsg.): Didaktik der Informatik in Theorie und Praxis. Bd. P-112, Reihe LNI der Gesellschaft für Informatik, Bonn, 2007.

- [St06] Stechert, P.: Unterrichtsmodellentwicklung zur Förderung des Informatiksystemverständnisses mit Entwurfsmustern. In: Schwill, A.; Schulte, C.; Thomas, M. (Hrsg.), 3. Workshop der GI-Fachgruppe Didaktik der Informatik, 19.-20.06.2006, Universität Potsdam, 2006.
- [WDW06] Weicker, N., Draskoczy, B.; Weicker, K.: Fachintegrierte Vermittlung von Schlüsselkompetenzen der Informatik. In: [FSS06], S. 51–62.
- [We07] Weicker, N.: Zielorientierte Didaktik der Informatik – Kompetenzvermittlung bei engen Zeitvorgaben. In: [Sc07], S. 337–348.
- [Wi08] Wikipedia: Eintrag „Eingebettetes System“,  
URL: [http://de.wikipedia.org/wiki/Eingebettetes\\_System](http://de.wikipedia.org/wiki/Eingebettetes_System), 28.08.2008.