

Aus Unterrichtsbeispielen lernen – Informatikdidaktische Partnerschaften

Sigrid Schubert

Didaktik der Informatik und E-Learning, Universität Siegen
Hölderlinstraße 3, 57076 Siegen, sigrid.schubert@uni-siegen.de

Abstract: Die Partnerschaften zwischen Schule und Hochschule ermöglichten die Gestaltung und Überprüfung von Unterrichtsbeispielen zu Internetworking im Besonderen und zu Informatiksystemen im Allgemeinen. Das Konzept der Didaktischen Systeme und die Forschungsmethodik mit Intervention bewährten sich dabei. Mit ausgewählten Beispielen werden diese Unterrichtsprojekte vorgestellt und ihr Beitrag zur Theoriebildung in der Didaktik der Informatik diskutiert.

1 Motivation

Die Arbeitsgruppen „Didaktik der Informatik“ an der Hochschule suchen Praxispartner in der Schule. Solche informatikdidaktischen Partnerschaften sind unverzichtbar für die Praxisphasen in der Lehrerbildung. Konkreter Unterricht wird von Lehramtsstudierenden in Gruppenarbeit vorbereitet. Der Unterricht wird von den Betreuern aus Schule und Hochschule und der Studiengruppe beobachtet und ausgewertet. Für die Schule ist das eine anspruchsvolle Zusatzaufgabe, die von der Mitwirkung an der Betreuung bis zur Abstimmung der Unterrichtszeitplanung reicht. Umgekehrt wenden sich Schulen an die Hochschulgruppen mit sehr konkreten Erwartungen dazu, was die gemeinsamen Unterrichtsprojekte bewirken sollen. In unserem Fall wählten Informatiklehrende die informatikdidaktischen Partnerschaften, um gemeinsam Ideen zur Veränderung von Informatikunterricht umsetzen zu können. In aller Regel heißt das, die innovativen Unterrichtsbeispiele einschließlich der erforderlichen Unterrichtsmittel sind dafür selbst zu entwickeln. Studierende liefern hier eine wertvolle Unterstützung mit ihren Leistungen in Projektgruppen, Hausarbeiten und Diplomarbeiten. Das Einwerben von gemeinsamen Forschungsprojekten stellt eine weitere Unterstützungsmöglichkeit dar. 2005 und 2008 begann die Siegener Forschungsgruppe „Didaktik der Informatik und E-Learning“ jeweils ein solches DFG-Projekt. Im Folgenden werden drei ausgewählte Unterrichtsbeispiele vorgestellt. Internetworking steht als Begriff für die informatischen Grundlagen des Internet (z.B. Architektur, Protokolle). Dafür entwickelte S. Freischlad ein Didaktisches System. Da das Internet ein Informatiksystem ist, stehen die Arbeiten in Beziehung zu denen von P. Stechert, der für Informatiksysteme ein Unterrichtsmodell gestaltete, in dem er die Entwurfsmuster der Softwareentwicklung als Wissensrepräsentation zur Vernetzung von fundamentalen Ideen der Informatik angewendet. Beide Forscher diskutierten und erprobten ihre Konzepte in informatikdidaktischen Partnerschaften und etablierten Kompetenzentwicklung mit Informatiksystemen als Siegener Schwerpunkt.

2 Didaktisches System Internetworking

2.1 Vorgehensweise

Die DFG fördert von 2005 bis 2009 im Rahmen des DFG Sonderforschungsbereichs und Forschungskollegs 615 „Medienumbrüche“ an der Universität Siegen erstmals ein Projekt, das der Didaktik der Informatik zuzuordnen ist. Ziel war die Entwicklung und Erprobung von Unterricht für das Fach Informatik in der Sekundarstufe zu Strukturen, Kommunikationsbeziehungen und Informationssicherheit im Internet [FS09]. W. Kempf, Schulleiter und Informatiklehrer am Gymnasium Auf der Morgenröthe in Siegen, wurde 2006 nach der Durchführung des ersten gemeinsamen Unterrichtsprojekts von acht Wochen (vgl. Tabelle 1) mit einem leitfadengestützten Interview zu seinen Beobachtungen befragt. „Am besten haben mir die Stunden gefallen mit dem E-Mail-Client, weil die Lernenden konkret sehen konnten, was auf dem E-Mail-Server abläuft. ... Der Lehrer wies darauf hin, dass der Gesamtumfang zwar in Ordnung war, dass es aber wichtig ist, einzelne grundlegende Prinzipien stärker zu betonen. So wurden nach seiner Einschätzung das Schichtenmodell und auch das Domain Name System in der ersten Erprobung nicht angemessen berücksichtigt.“ [St07], S. 69-70. Die Erfahrungen der ersten Erprobung führten nicht nur zur Überarbeitung der Unterrichtsstunden. Die Lernaufgaben wurden nach ihrem Beitrag zu den Lernelementen analysiert und nach Lernabschnitten klassifiziert [FS07]. Dabei zeigte sich der Mangel an Erkundungsaufgaben. Dafür wurde die lernförderliche Software Filius als Komponente des Didaktisches System Internetworking gestaltet. Didaktische Systeme sind ein flexibler Verbund der Komponenten Wissensstrukturen, Aufgabenklassen und lernförderliche Software [FS07].

Lernabschnitt	Lernelemente
Dienste im Netz der Netze	Client-Server-Prinzip, Aufbau des Internets, Schulrechnernetz
Paketversand	Vermittlung, IP-Adressen
Organisation von Verbindungen	(De-)Multiplexer (Ports), logische Verbindungen (Verbindungsaufbau und Verbindungsabbau, Segmentnummern)
Schichtenmodell des Internets	Schichtenmodell (Nachrichtenaustausch, Verbindungsaufbau, Vermittlung, Übertragung)
Die logische Struktur des Internets	Domain Name System
DNS-Spoofing	DNS-Abfragen, DNS-Caching
E-Mail-Protokolle	E-Mail-Protokolle SMTP und POP3
Nachrichtenübertragung im Internet	E-Mail-Übertragungsweg

Tabelle 1: Gliederung des Unterrichtsprojekts.

Die Vorgehensweise bei der Fachdidaktikforschung mit Unterrichtsintervention umfasste folgende Schritte: (1) Analyse von Bildungsempfehlungen, (2) Entwurf und Begrün-

derung des Grobkonzeptes „Didaktisches System Internetworking“, (3) Ausarbeitung des Feinkonzeptes des Unterrichtsprojektes einschließlich der erforderlichen Lehr-Lern-Materialien, (4) Beobachtung der Unterrichtsintervention, (5) Evaluation des Lehr-Lernprozesses und der Lehr-Lernmaterialien mit Auswirkung auf Theoriebildung und Bildungsmedien, (6) Publikation der empirisch erprobte Ergebnisse zum „Didaktischen System Internetworking“. Ein quasiexperimenteller Untersuchungsansatz mit Interventionsgruppe und Kontrollgruppe ist im Informatikunterricht der Sekundarstufe II oft nicht möglich, da er zwei Gruppen (mit je 20 bis 30 Lernenden) mit gleicher Zusammensetzung erfordert. In unserem Fall geht es nicht um den Vergleich von Unterrichtsvarianten, sondern um die Entwicklung von neuen Unterrichtsbeispielen. Für Internetworking waren dafür vier Jahre erforderlich. Die Unterrichterprobungen in 2006, 2007 und 2008 zeigten die Schwachstellen des Konzeptes und führten in intensiven Diskussionen mit den Lehrenden zur Überwindung der Mängel. Seit 2009 empfehlen die Partner von Schule und Hochschule den erreichten Stand anderen Lehrenden aufgrund der guten Ergebnisse bei Motivation und Lernerfolg.

2.2 Übungssituationen

Die EPA (Einheitlichen Prüfungsanforderungen) Informatik führt im Lern- und Prüfungsbereich „Interaktion mit und von Informatiksystemen“ auf: „Kommunikation zwischen Computern, Netze (z.B. einfaches Kommunikationsprotokoll, einfaches Schichtenmodell) [Ku04, S. 6].“ Dazu findet man für die schriftliche Prüfung zwei Aufgaben mit Lösungsskizzen für das Grundkursfach: 1.2.4 Netzwerke [Ku04, S. 47-49], 1.2.6 Zeitsynchronisation [Ku04, S. 53-56], eine Aufgabe für das Leistungsfach: 1.3.1 E-Mail-Adressen [Ku04, S. 62] und ein Aufgabenbeispiel für die mündliche Prüfung: 2.4 Suchmaschine [Ku04, S. 71]. Die Lösungsskizzen liefern Hilfestellung zum Schwierigkeitsgrad von Übungssituationen, da die Anforderungsbereiche ausgewiesen sind, z.B.:

- Teilaufgabe x: „Firewall: Als weitere Sicherheitsmaßnahme werden Firewalls verwendet. Beschreiben Sie, was mit Firewalls erreicht werden soll [Ku04, S. 48]“.
- Lösung x: „Firewall: Mit einer hardwaretechnisch oder softwaretechnisch ausgeführten Firewall sollen offene Ports (z.B. http, E-Mail, ...) beschränkt, die Paketarten (z.B. ICMP) kontrolliert und die Protokolle (TCP, UDP) überwacht werden. I: 2, II: 2, III: 0 [Ku04, S. 49]“.
- Teilaufgabe y: „Beschreiben Sie die Vor- und Nachteile verbindungsloser Protokolle am Beispiel der Internettelefonie [Ku04, S. 53]“.
- Lösung y: „Der Vorteil der Internettelefonie mit Hilfe eines verbindungslosen Protokolls liegt im günstigen Preis. Das einfache Protokoll vermeidet die für die Bestätigung von Paketen notwendigen Zeiten. ... Im Gegensatz zur traditionellen Telefonie muss keine permanente Leitung geschaltet sein. Nachteilig ist die mäßige Sprachqualität. Sie kann bei Verlust oder Verzögerung von Datenpaketen insbesondere bei Überlastungen leicht zustande kommen. Ein weiterer Nachteil liegt in der nicht abhörsicheren Übertragung über das Internet. I: 0, II: 4, III: 4 [Ku04, S. 55]“.

Schon diese beiden Teilaufgaben zeigen, dass die Autoren mit „einfaches Kommunikationsprotokoll, einfaches Schichtenmodell“ keine EPA-gerechten Prüfungsaufgaben formulieren konnten. Dagegen ist „Kommunikation zwischen Computern, Netze“ zu unspezifisch, um überhaupt etwas ausschließen zu können. Das unterstreicht die Notwendigkeit der informatikdidaktischen Partnerschaften bei der Konkretisierung.

Der Lehrplan der ACM (Association for Computing Machinery) empfiehlt für alle Lernenden der Sekundarstufe I: „The basic components of computer networks (servers, file protection, routing protocols for connection/communication, spoolers and queues, shared resources, and fault-tolerance) [ACM03, S. 12].“ Für die Umsetzung findet man lediglich einen Hinweis auf ein Firmenvideo. Als Problem erwies sich also die Vorbereitung geeigneter Übungssituationen für die Lernenden in der Sekundarstufe II. Anregungen für Lebensweltbezug, Beispiele und Aufgaben fanden wir in den Lehrbüchern Informatik 1-3 (vgl. [Fal04], [Hal07], [Hal08]). Informatik 1 kommt in der Jahrgangstufe 7 von bayrischen Gymnasien zum Einsatz. Dort wird Informatik einstündig im Rahmen des Fächerverbundes Natur und Technik unterrichtet. Einen Schwerpunkt bilden vernetzte Informationsstrukturen (Internet), Austausch von Information (E-Mail). Zum Client-Server-Prinzip findet man dort altersgerechte Fragen. Der Start gestaltete sich für unsere Lernenden in Jahrgangstufe 11/2 ohne Vorwissen zu Internetworking ebenso.

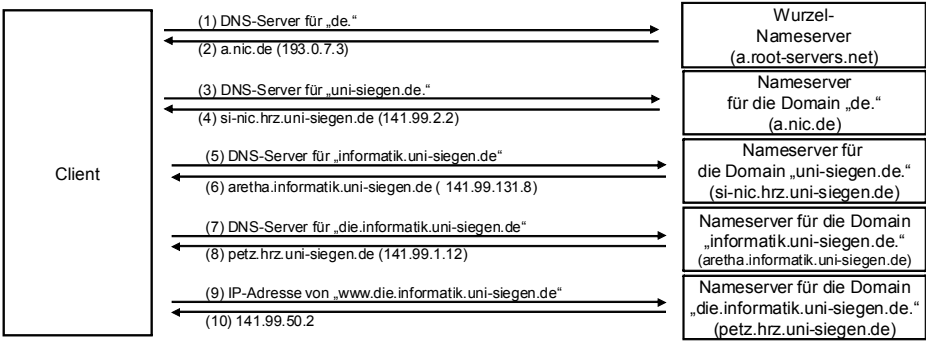


Abbildung 1: Kollaborationsdiagramm zur Auflösung eines Domainnamens.

Um die Regeln zur Auflösung eines Domainnamens zu strukturieren, konnte an das Vorwissen aus der objektorientierten Modellierung angeschlossen und mit Diagrammen gearbeitet werden (vgl. Abb. 1). Das Zustandsdiagramm veranschaulichte den Anmeldevorgang beim Mail-Server (vgl. Abb. 2). Dieser Ansatz erwies sich als erfolgreich.

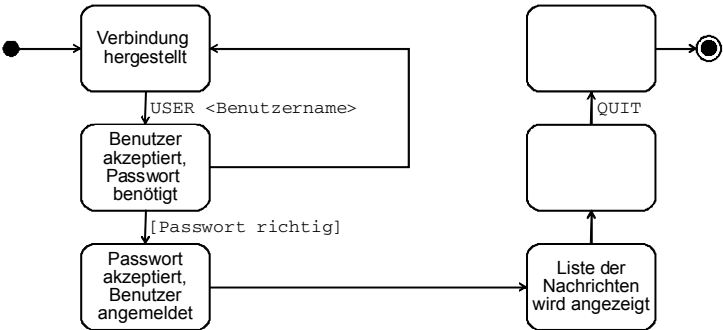


Abbildung 2: Zustandsdiagramm Mail-Server (POP3).

Er stößt aber an Grenzen. Er eignet sich nicht für die experimentellen Übungssituationen, die hier unverzichtbar sind, um das Systemverhalten zu erkunden. Dazu wurde Fili-

us, ein Unterrichtsmittel zum Simulieren verborgener Prozesse beim Internetworking, entwickelt (vgl. www.die.informatik.uni-siegen.de/pgfilius). Im Beispiel sollen die Lernenden verstehen, wie eine Paketfilter-Firewall zur Realisierung des Zugriffsschutzes eingesetzt werden kann. Es werden zwei Rechnernetze über einen Vermittlungsrechner miteinander verbunden (vgl. Abb. 3). In einem Rechnernetz steht ein Webserver zur Verfügung. In dem zweiten ist auf einem Rechner sowohl ein Webserver als auch ein DNS-Server installiert. Der Zugriff auf den zweiten Server kann durch eine Firewall kontrolliert werden. Auf den DNS-Server kann von überall zugegriffen werden, auf den Webserver nur innerhalb des lokalen Rechnernetzes. Die Lernenden vertiefen ihr Wissen über IP-Adressen und den Datenaustausch mit Ende-zu-Ende-Protokollen, indem Filterregeln für den Zugriff auf unterschiedliche Dienste erstellt werden.

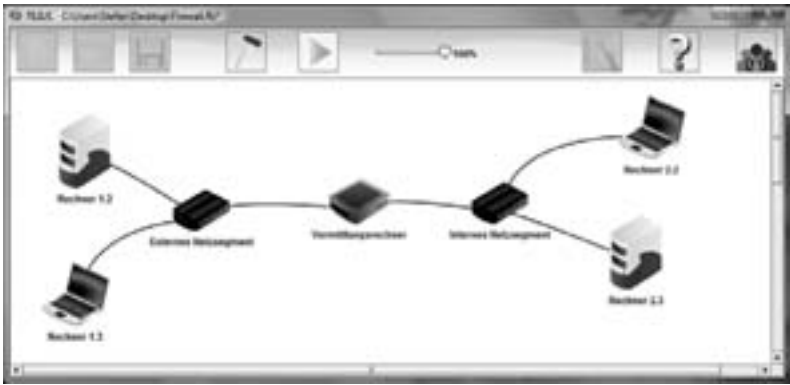


Abbildung 3: Rechnernetze mit Vermittlungsrechner.



Abbildung 4: Zugriffskontrolle mittels Firewall.

Mit Filius wurde im externen Netzsegment unter der Adresse `www.extern.de` der allgemein zugängliche Webserver auf Rechner 1.2 zur Verfügung gestellt und im internen Segment auf dem Rechner 2.3 ein DNS-Server und ein Webserver sowie eine Firewall installiert. Die Firewall ist so konfiguriert, dass der Port 53 für DNS-Anfragen für alle Rechner geöffnet ist. Der Port 80 für Webseitenabrufe ist nur für Rechner im gleichen Netzsegment geöffnet (vgl. Abb. 4).

3 Informatiksysteme und Entwurfsmuster

3.1 Verhalten erkunden

Parallel zu den Arbeiten zu Internetworking von Freischlad, entstand das Vorhaben von Stechert, Informatiksysteme im Unterricht nicht nur als Werkzeuge einzusetzen, sondern sie systematisch als Lerngegenstand anzueignen. Das schien unmöglich ohne Brücken zwischen dem nach außen beobachtbaren Systemverhalten und der intern verborgenen Systemarchitektur mit ihren Komponenten und Strukturen. Außerdem war erkennbar, dass die fundamentalen Ideen der Informatik [Sh93], eine fachdidaktische Vernetzung benötigen, um im Unterricht einen angemessenen Beitrag zur Kompetenzentwicklung mit Informatiksystemen zu leisten. Stechert setzte ausgewählte Entwurfsmuster der Softwaretechnik ein, um die Vernetzung von fundamentalen Ideen der Informatik damit zu veranschaulichen. Das war unkritisch. Der Ansatz, ausgewählte Entwurfsmuster als Brücke von der Außenansicht zur Innenansicht von Systemen zu wählen, erforderte schulpraktische Erkundungen. 2006 und 2007 führt Stechert seine Unterrichtsprojekte am Fürst-Johann-Moritz-Gymnasium in Siegen durch. Seine These: „Die Unterteilung der Sichtweise in nach außen sichtbares Verhalten und innere Struktur von Informatiksystemen soll den Schülerinnen und Schülern einen Sichtenwechsel beim Verstehen des Programms Arztpraxis aufzeigen. Eine solche Unterteilung ist bei vielen Informatiksystemen hilfreich.“ erwies sich als tragfähig (vgl. Unterrichtsentwurf vom 17.10.2006, S. 4, www.die.informatik.uni-siegen.de/informatics-systems/index.html).

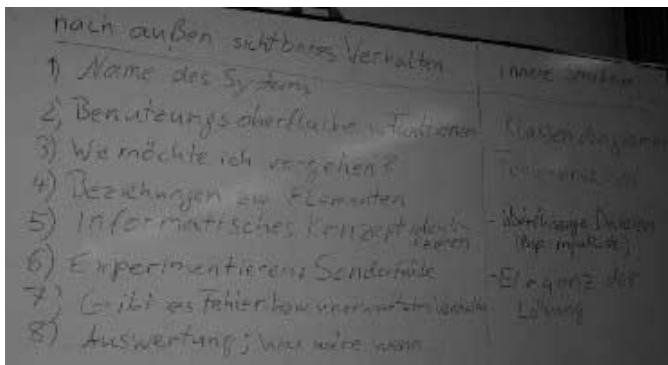


Abbildung 5: Ergebnis der Reflexion zur Vorgehensweise.

2006 setzte sich der Grundkurs (Jahrgangsstufe 12) aus 4 Schülerinnen und 18 Schülern zusammen, die objektorientierte Modellierung als Vorwissen mitbrachten. Als Beobachter beeindruckte mich, wie gut die zur Erkundung von Informatiksystemen empfohlene Vorgehensweise angenommen wurde (vgl. Abb. 5). Die Lehrenden betonten: „Ein zentrales Vorhaben war die Förderung eines vernetzten Denkens. Um das Verstehen von Informatiksystemen zu ermöglichen, soll dieses Denken aber nicht vom linear-analytischen Denken abgegrenzt, sondern mit diesem verknüpft werden. Eine Kombination dieser beiden Denkweisen im Unterricht erwies sich für die Schülerinnen und Schüler als schwierig [GK08, S. 119].“ Das zeigte sich auch im Übungsbedarf. Der vorbereitete Aufgabenvorrat war schnell aufgebraucht. So erwies es sich als hilfreich, ausgewählte Elemente der Lernsoftware Pattern Park im Unterrichtsprojekt zu erproben.

3.2 Strukturen erkennen

Die Auswertung mit den Informatiklehrenden ergab: „In der anschließenden Diskussion wurden problematische Aspekte der praktischen Umsetzung erläutert insbesondere konkrete Vorgehensweisen, um einen handlungsorientierten Unterricht zu ermöglichen [GK08, S. 118].“ Es war kein Problem, Experimente für das Erkunden des nach außen sichtbaren Systemverhaltens bereitzustellen. Die Brückenfunktion zum Erkennen der inneren Struktur können ausgewählte Entwurfsmuster aber nur übernehmen, wenn sie als Lernhilfe für die Wissensrepräsentation anwendbar sind. Für einen handlungsorientierten Zugang wurde deshalb die Lernsoftware Pattern Park von Studierenden (vgl. www.die.informatik.uni-siegen.de/pgpatternpark) entwickelt.

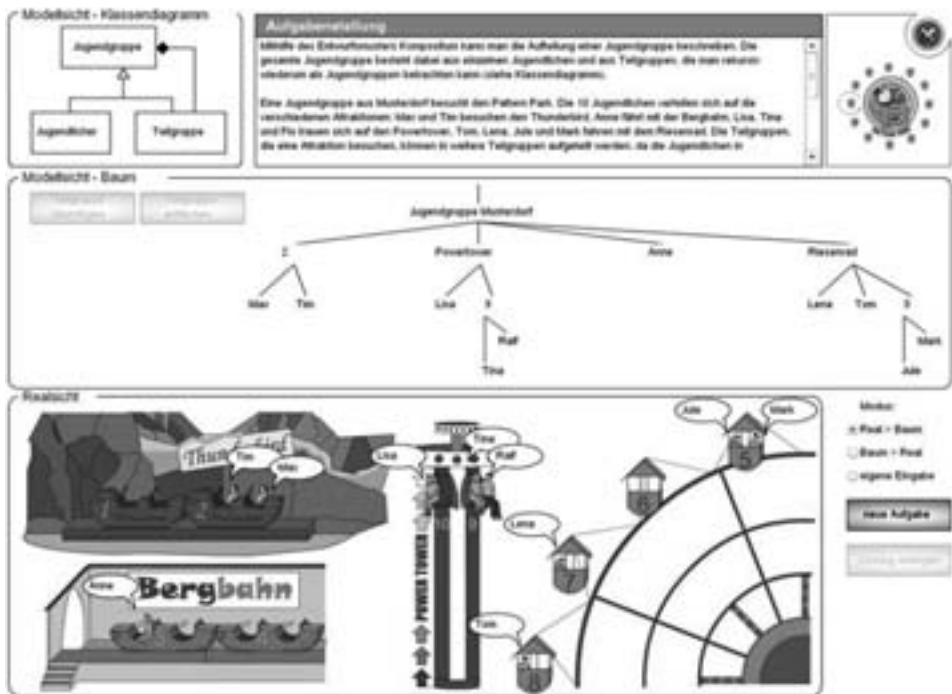


Abbildung 6: Sichtenwechsel zum Entwurfsmuster Kompositum.

Die Lernenden vollziehen den Sichtenwechsel zwischen Realsicht Freizeitpark und Modellsicht Baumstruktur (vgl. Abb. 6) in folgender Übung: Eine Jugendgruppe aus Musterdorf besucht den Pattern Park. Die zehn Jugendlichen verteilen sich auf die verschiedenen Attraktionen: Max und Tim besuchen den Thunderbird, Anne fährt mit der Bergbahn, Lisa, Tina und Flo trauen sich auf den Powertower, Tom, Lena, Jule und Mark fahren mit dem Riesensrad. Die Teilgruppen, die eine Attraktion besuchen, können in weitere Teilgruppen aufgeteilt werden, da die Jugendlichen in unterschiedlichen Wagen sitzen. So setzen sich zum Beispiel Jule und Mark gemeinsam in einen Wagen des Riesensrads, während Lena und Tom jeweils alleine in einem Wagen sitzen (siehe Realsicht). Die Datenstruktur Baum erleichterte hier den Zugang zur rekursiven Eigenschaft der Modellsicht des Entwurfsmusters Kompositum.

4 Kompetenzen zum Verstehen von Informatiksystemen

4.1 Lernförderliche Strukturmodelle

„Im Herbst 2007 erfolgte eine zweite Erprobung des Unterrichtsmodells zu den Themen ‚Die Zugriffskontrolle mit dem Proxymuster‘ und ‚Die Zustandsmodellierung von Systemverhalten mit dem Zustandsmuster‘ [GK08, S. 115].“ Die positive Bewertung der Informatiklehrenden zeigte zugleich die Richtung für die weitere Zusammenarbeit auf: „Die im Rahmen des Forschungsprojekts durchgeführten Unterrichtsreihen veränderten dieses Bild. Die Schülerinnen und Schüler haben die Erfahrung gemacht, dass Informatik mehr ist als nur programmieren. Das systematische Erkunden von Informatiksystemen, das im zweiten Halbjahr der Jgst. 12 und in der Jgst. 13 weiter vertieft wird, ermöglicht ein besseres Verständnis für die Vernetzung der zahlreichen Bereiche der Informatik ... [GK08, S. 119].“ Wir benötigen jetzt eine Einbettung der Kompetenzentwicklung mit Informatiksystemen in das Spiralcurriculum der Sekundarstufe II. Die erfolgreiche Anwendung der Entwurfsmuster war an Grenzen gestoßen. Das Abstraktionsniveau ist dabei sehr hoch. Entwurfsmuster eignen sich deshalb besonders als Strukturmodelle für Jahrgangsstufe 12/2. Welche Strukturmodelle sind für 11/2 und 12/1 geeignet? Von Oktober 2008 bis Januar 2009 führten wir dazu eine Unterrichtsintervention im Grundkurs 12/1 durch, in der in 24 Unterrichtsstunden mit anschließendem Test sowohl das Blockmodell des Von-Neumann-Rechners (VNR) als auch Schichtenmodelle (Ebenenmodell des Rechners, Internetschichtenmodell) zum Einsatz kamen [Kal09]. Die Auswertung ermöglichte eine Entscheidung zum Spiralcurriculum:

- Die erste Kompetenzvertiefung zum Verstehen von Informatiksystemen kann regelmäßig im Grundkurs 11/2 (erstmalig ab Mai 2009) in 4-5 Wochen erworben werden. Dabei wird ein Blockmodell als Lernhilfe eingesetzt.
- Die zweite Kompetenzvertiefung zum Verstehen von Informatiksystemen kann regelmäßig im Grundkurs 12/1 (erstmalig im Dezember 2009) in 4 Wochen erworben werden. Dabei werden ausgewählte Schichtenmodelle als Lernhilfe eingesetzt.
- Die dritte Kompetenzvertiefung zum Verstehen von Informatiksystemen kann regelmäßig im Grundkurs 12/2 (erstmalig ab April 2010) in 4 Wochen erworben werden. Dabei werden ausgewählte Entwurfsmuster als Lernhilfe eingesetzt.

Systemverständniskompetenz wird hier unterteilt in Kompetenz zur Interaktion mit Informatiksystemen (IS), Kompetenz zu Wirkprinzipien von IS, Kompetenz zu Wechselwirkungen zwischen IS, Individuum und Gesellschaft (z.B. Bildungsprozesse und Medien, Arbeitsprozesse und Werkzeuge, staatliche Verwaltungsprozesse und IS), Kompetenzen zum Experimentieren in der Informatik. Folgende Ergebnisse werden von Forschungsarbeiten in diesem Bereich erwartet:

- a. Studien zu Interaktion und Fachsprache; Studien zur Klassifikation von IS; Entwicklung von Handreichungen zu Aufbau und Durchführung von Experimenten;
- b. Studien zum Vernetzen fundamentaler Ideen in Block- und Schichtenmodellen, Entwurfsmustern, Architekturen usw.; Studien zum Sichtenwechsel (konkrete und abstrakte Repräsentationen);
- c. Studien zum Lesen von Spezifikationen, zur Aufteilung von IS in Subsysteme, zum Datenfluss zwischen Subsystemen, zur Bewertung von IS; Entwicklung von Vorgehensweisen von der Analyse der Komponenten zur Anwendung eines kognitiven Systemmodells.

4.2 Rollenspiele zum Blockmodell

Neben den Entscheidungen zur Integration in den Grundkurs bewegen uns auch viele Detailfragen. 2008 wählten wir zur Veranschaulichung der Funktionalität der Zentraleinheit ein Rollenspiel [Gi08], mit dem der Lernprozess gefördert werden konnte. Zwei Gründe bewegten uns zur Entwicklung eines etwas veränderten Rollenspiels:

1. Die Rollenbezeichnungen, z.B. „Schachtelzähler“, schöpfen das Potential zur Entwicklung der Fachsprache bei den Lernenden nicht aus.
2. Das Schachtelmodell behindert das Verständnis für den Speicher. Beim Auslesen von Befehlen und Daten wird eine Kopie übergeben, die Speicherzelle aber nicht geleert.

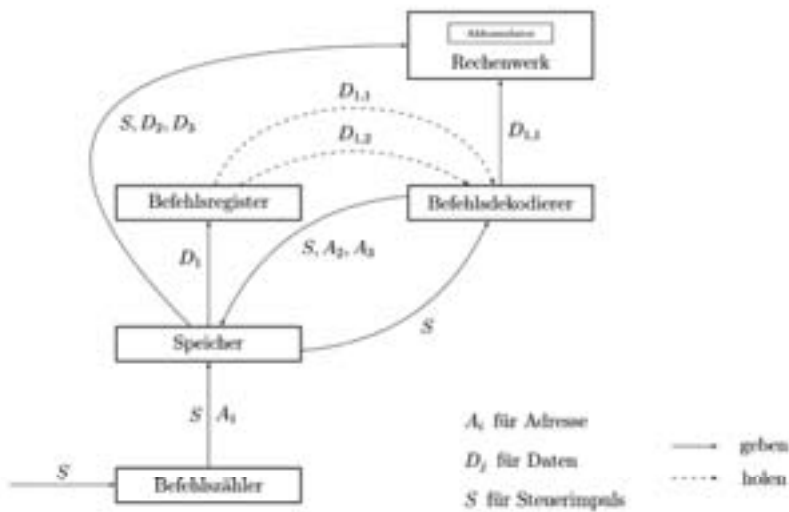


Abbildung 7: Rollenspiel zur Befehlsverarbeitung.

Das Rollenspiel beginnt mit dem Steuerimpuls durch die Lehrkraft (S) an die Rolle Befehlszähler. Die weiß, wo der nächste Befehl (A_1) zu finden ist. Sie notiert die Kopie der Adresse auf einem Zettel und gibt ihn zusammen mit dem Steuerimpuls (S) an die Rolle Speicher. Die liefert eine Kopie (Papier und Stift) des Befehls an die Rolle Befehlsregister (D_1), den Steuerimpuls (S) gibt sie aber an die Rolle Befehlsdekodierer. Die holt daraufhin die Teile des Befehls (mit Schere das Papier trennen) in Operation ($D_{1,1}$) und Adresse der Operanden ($D_{1,2}$) aus dem Befehlsregister. Danach gibt sie die Operation ($D_{1,1}$) an die Rolle Rechenwerk und den Steuerimpuls (S) zusammen mit den Adressen der beiden Operanden (A_2 und A_3) an die Rolle Speicher. Die gibt die beiden Operanden (D_2 und D_3) und den Steuerimpuls (S) an die Rolle Rechenwerk. Die führt die Operation (Papier und Stift) aus. Danach steht das Ergebnis im Akkumulator. Der Befehl wurde erfolgreich verarbeitet (vgl. Abb. 7). Wie immer beim Rollenspiel ist an Namensschilder zu denken. Farben helfen beim unterscheiden von Adressen, Daten und Steuerimpuls. Das Spiel sollte mit anderen Lernenden und einem anderen Befehl wiederholt werden, um die Erkenntnisse zur zentralen Steuerschleife zu festigen und zu vertiefen.

4.3 Entwicklung von Basiskompetenzen

Es existieren unterschiedliche Varianten zur Beschreibung der Kompetenzentwicklung im Informatikunterricht. Für die Sekundarstufe II geben die vier Kompetenzbereiche der EPA Informatik eine erste Orientierung:

- Erwerb und Strukturierung informatischer Kenntnisse,
- Kennen und Anwenden informatischer Methoden,
- Kommunizieren und Kooperieren,
- Anwenden informatischer Kenntnisse, Bewerten von Sachverhalten und Reflexion von Zusammenhängen.

Für mögliche Kompetenzstufen können die Anforderungsbereiche der EPA Informatik herangezogen werden:

- I: Wiedergeben, Beschreiben, Identifizieren, Verwenden, Übersetzen, Erweitern;
- II: Auswählen, Anordnen, Verarbeiten, Darstellen, Anwenden bekannter Verfahren;
- III: Auswahl und Anpassung geeigneter gelernter Methoden und Verfahren.

Erschwert wird die Anwendung der EPA Informatik auf das Verstehen von Informatiksystemen dadurch, dass der Inhaltsbereich „Wirkprinzipien von Informatiksystemen“ aufgeteilt wurde. So findet man „Grundsätzliche Funktionsweisen von Computersystemen (z.B. von-Neumann-Rechnermodell)“ unter Möglichkeiten und Grenzen informatischer Verfahren und „Kommunikation zwischen Computern, Netze (z.B. einfaches Kommunikationsprotokoll, einfaches Schichtenmodell) unter Interaktion mit und von Informatiksystemen [Ku04, S. 6]. Zusammenfassend bleibt unverständlich, warum die EPA Informatik in der Kompetenzentwicklung mit Informatiksystemen unter den Empfehlungen für die Sekundarstufe I bleibt [GI08]. Da wir bei den Lernenden in unseren Grundkursen kein Informatikvorwissen aus der Sekundarstufe I voraussetzen können, sind die dort zu erwerbenden Kompetenzen Bestandteil unserer Unterrichtsprojekte. Wir finden dort im Inhaltsbereich Informatiksysteme [GI08, S. 37-40] mehr Anregung als in der EPA Informatik, z.B.:

- verstehen die Grundlagen des Aufbaus von Informatiksystemen,
- erschließen sich weitere Informatiksysteme,
- klassifizieren Hardware und Software,
- reagieren angemessen auf Meldungen des Betriebssystems.

Interessant sind in diesem Zusammenhang auch die Vorüberlegungen zu Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe II [Fo08].

Da wir mit dem Informatikunterricht nicht warten können, bis ein empirisch fundiertes Kompetenzmodell für Systemverständnis im Informatikunterricht der Sekundarstufe II entwickelt wurde, orientieren wir uns an dem Unterrichtsmodell von Stechert [St09, 190ff]. Es ermöglicht uns, die von ihm erprobten Lernphasen zu den Basiskompetenzen anzuwenden:

- S_A: Verständnis für die wesentlichen Aspekte des nach außen sichtbaren Verhaltens;
- S_{AB}: Verständnis für die Wechselwirkungen zwischen dem nach außen sichtbaren Verhalten und der inneren Struktur;
- S_B: Verständnis für die wesentlichen Aspekte der inneren Struktur, die auf fundamentalen Ideen der Informatik als Wirkprinzipien basieren (z.B. mit Hilfe von Strukturmodellen wie Blockmodellen, Schichtenmodellen, Entwurfsmustern);

- S_{BC} : Verständnis für die Wechselwirkungen zwischen der inneren Struktur und ausgewählten Implementierungsaspekten;
- S_C : Verständnis für die ausgewählten Implementierungsaspekte zur Erstellung einer konkreten Realisierung;
- S_{AC} : Verständnis für die Wechselwirkungen zwischen dem nach außen sichtbaren Verhalten und ausgewählten Implementierungsaspekten (z.B. durch systematisches Testen).

Im ersten Schritt konzentrieren wir uns auf vier der sechs Lernphasen, und zwar S_A , S_{AB} , S_B , S_{AC} . Davon wiederum ist S_{AB} die entscheidende. S_A und S_B bilden dazu die Erweiterung und ermöglichen den Sichtenwechsel. S_{AC} wiederum weist interessante fachdidaktische Parallelen zu S_{AB} auf, die bisher beim Erlernen der informatischen Modellierung und Programmierung unterschätzt wurden. Die folgenden Ergebnisse konnten bisher zu den Basiskompetenzen mit Hilfe des Blockmodells zum Von-Neumann-Rechner im Grundkurs 12/1 beobachtet werden (vgl. Tab. 2). Im laufenden Unterrichtsprojekt (ab Mai 2009) geht es um die Erkundung dazu im Grundkurs 11/2.

	Kognitive Kompetenzfacetten	Nicht-kognitive Kompetenzfacetten
	Die Schülerinnen und Schüler ...	
S_A	wissen, dass mehrere Programme gleichzeitig ausgeführt werden können	haben die Erwartungshaltung, dass mehrere Programme ohne Einschränkungen ausgeführt werden können
S_{AB}	können das Systemverhalten des VNR erklären und wissen, dass der VNR-Flaschenhals das Systemverhalten beeinflusst	sind bereit, von Black-Box-Vorstellungen (Gefahr der Computergläubigkeit) zu rationalen Strukturmodellen zu wechseln
S_B	können die zentrale Steuerschleife erklären (dynamisch Sicht)	sind motiviert, von einer statischen zu einer dynamische Sicht zu wechseln
S_{AC}	können einen Fehler im Systemverhalten auf das Dekodieren eines falschen Befehls aufgrund eines Speicherfehlers erklären	sind bereit, in Teamarbeit eine Fehlerursache zu analysieren

Tabelle 2: Basiskompetenzen mit Hilfe des Blockmodells zum Von-Neumann-Rechner.

Typisch für die informatikdidaktische Partnerschaft ist die gemeinsame Entwicklung und Erprobung von Unterrichtsmitteln. Die Informatiklehrenden wirken als Auftraggeber mit und beschreiben die Unterrichtsmittel, die sie zur Förderung der Handlungsorientierung einsetzen möchten. An der Universität werden diese Unterrichtsmittel dann von Studierenden gestaltet und bei Bedarf überarbeitet. So entstand zum Beispiel ein Applet zu einem Schichtenmodell, hier dem Ebenenmodell des Rechners (vgl. Abb. 8), das den Sichtenwechsel fördern soll. Die Lernenden wenden den Taschenrechner an (Anwendungssicht). Bei Eingabe von Operanden und Operation wird der Pseudocode (Ebene der problemorientierten Sprachen) ergänzt und der Assemblercode (Assemblerebene) erzeugt. Die Verarbeitung des Assemblerprogramms mit Hilfe der Hardware durch die Register und Arithmetik-Logik-Einheit (Ebene der Hardware) kann durch die Lernenden

wiederholt beobachtet werden.

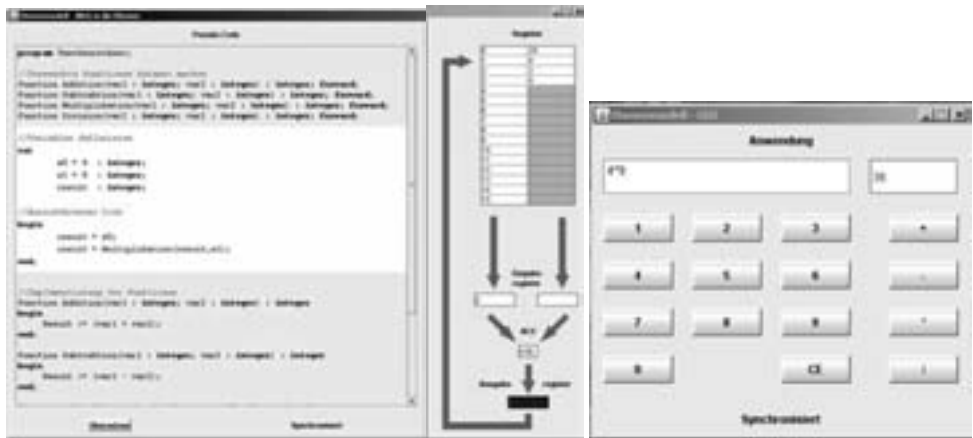


Abbildung 8: Schichtenmodell (Ebenenmodell) des Rechners.

Solche Unterrichtsmittel liegen mit Filius (vgl. Abb. 3 und 4) auch für das Vierschichtenmodell (Anwendung, Transport, Internet, Subnetz zur Datenübertragung) der Internet-Technologie vor, das die Lernenden handelnd erkunden können. Folgende Basis-kompetenzen, die mit Hilfe von Schichtenmodellen im Grundkurs 12/1 erworben wurden, sind exemplarisch für Internetworking beschrieben (vgl. Tab. 3).

	Kognitive Kompetenzfacetten	Nicht-kognitive Kompetenzfacetten
	Die Schülerinnen und Schüler ...	
S _A	tauschen über das Internet Daten aus	erwarten eine zuverlässige Datenübertragung
S _{AB}	können die Datenübertragung am Beispiel E-Mail anhand des Client-Server-Prinzips erklären	sind motiviert, sicherheitskritische Bereiche zu suchen
S _B	können die Datenübertragung mit einem Interaktionsdiagramm darstellen	sind bereit, den Kontext der Datenübertragung durch Anwendungsfälle einzubeziehen
S _{AC}	können die Datenübertragung systematisch nachverfolgen und Fehler auf Protokollebene erklären	nutzen ihr Wissen über Protokolle, um sich für mehr Datenschutz zu engagieren

Tabelle 3: Basiskompetenzen mit Hilfe des Schichtenmodells der Internet-Technologie.

Wir sprechen von Kompetenzfacetten (vgl. Tab. 2-4), um den beobachteten Lernererfolg in den Unterrichtsprojekten zu beschreiben, der an lebensweltliche Problemstellungen gebunden ist. Damit grenzen wir uns vom langwierigen Kompetenzerwerb ab, der erst nach mehreren Schuljahren ermittelt werden kann. Und wir warten den Einsatz von

Kompetenzmessinstrumenten ab, die zurzeit interdisziplinär entwickelt werden (vgl. Abschnitt 5).

	Kognitive Kompetenzfacetten	Nicht-kognitive Kompetenzfacetten
	Die Schülerinnen und Schüler ...	
S _A	kennen die Regeln der Zugriffskontrolle aus dem Schulrechnernetz	erwarten, dass auf persönliche Daten nur von einer berechtigten Person zugegriffen werden kann
S _{AB}	können die Realisierung der Zugriffskontrolle eines Systems mittels Stellvertreterobjekt erklären	sind motiviert, sicherheitskritische Bereiche zu suchen
S _B	können Zugriffskontrolle mit Klassendiagramm (Entwurfsmuster Proxy) und Sequenzdiagramm darstellen	sind bereit, in Teamarbeit die Struktur eines Programms zur Zugriffskontrolle zu analysieren
S _{AC}	sind in der Lage, bei gegebenem Quellcode die Zugriffsrechte zu modifizieren	können sich in die Sicherheitsbedürfnisse unterschiedlicher Benutzergruppen versetzen und daraus Anforderungen ableiten

Tabelle 4: Basiskompetenzen mit Hilfe des Entwurfsmusters Proxy.

Aus den Unterrichterprobungen von Stechert [St09], die ohne informatikdidaktische Partnerschaften nicht möglich gewesen wären, stammen die Beobachtungen der folgenden Basiskompetenzen, die mit Hilfe von Entwurfsmustern im Grundkurs 12 erworben wurden (vgl. Tab. 4). Betont wird in diesem Zusammenhang, dass es zu keinem Zeitpunkt darum ging, die Entwurfsmuster der Softwaretechnik zum vordergründigen Lerngegenstand der informatischen Bildung zu machen. Das würden unsere Partner in den Schulen nicht unterstützen. Vielmehr war es die Suche nach lernförderlichen Strukturmodellen auch im Bereich der Entwurfsmuster erfolgreich. Proxy- und Zustandsmuster bewährten sich dabei besonders, da sie den erforderlichen Lebensweltbezug sichern.

Die Entwicklung der informatischen Fachsprache erwies sich in allen Unterrichtsprojekten als kompliziert. Vermutet wird, dass diese Förderung mit Beginn der Sekundarstufe II zu spät einsetzt. Die Informatiklehrenden vermissen die Lehrbuchkultur, die sie aus ihrem zweiten Fach kennen. Damit fehlt ein Konsens zum Kernwortschatz der informatischen Fachsprache je Jahrgangsstufe. Unterschätzt werden ganz offensichtlich auch die Aufgaben aus dem Anforderungsbereich I (Sachverhalte und Methoden reproduzieren) und die damit verbundene Vorbildrolle der Lehrperson. Lehrende müssen mit großer Geduld Erklärungen wiederholen. Über das mehrfache Hören und Lesen können die Lernenden das aktive Anwenden der Fachwörter anbahnen: an Gesprächen teilnehmen, zusammenhängendes Sprechen und Schreiben in unterschiedlichen Kontexten. Ohne Zeit zum Sprechen und für Diskussionen (Erklären, Begründen, Bewerten) wird das Angebahnte aber nicht gefestigt. Solche Phasen fehlen häufig. Der Informatikunterricht scheint „in Eile“ voranzuschreiten, bleibt aber sprachlich auf einem Niveau, das für diese Jahrgangsstufen inakzeptabel ist.

5 Ausblick

Künftige Promotionsvorhaben in der Didaktik der Informatik sollten vermeiden, dass die forschende Person zugleich auch die Lehrperson in den empirischen Studien ist. Es kommt zu einer Überbelastung in der Unterrichtsbeobachtung, die kritische Reflexion erschweren kann. Informatikdidaktische Partnerschaften ermöglichen diese personelle Trennung und bringen Forschungsteams mit sich ergänzendem Expertenwissen zusammen.

Das Siegener Team wird die informatikdidaktischen Partnerschaften fortsetzen und pflegen. Der Schwerpunkt für 2010 liegt auf dem Messen von Kompetenzen zu Informatiksystemen. Mit dem Beginn neuer Promotionsvorhaben werden aber auch neue Unterrichtsmodelle in den Blickpunkt rücken.

Informatische Bildung zu Internetworking wird sich verändern. Das traditionelle Internet wird zum „Internet der Dinge“ mit dem Schwerpunkt eingebettete Mikrosysteme (EMS). Vernetzungsmöglichkeiten und Anbindung an verschiedene Übertragungsstandards, z.B. EDGE, sowie der Aufbau von Adhoc-Netzen, z.B. über Bluetooth, erweitern gegenwärtig die Infrastrukturen, wodurch zusätzliche Möglichkeiten geschaffen werden. Dazu fehlen erprobte Unterrichtskonzepte. Das könnte eine Entwicklungsrichtung unserer informatikdidaktischen Partnerschaften werden.

J. Magenheimer, N. Schaper und S. Schubert leiten seit 2008 das DFG-Projekt „Entwicklung von qualitativen und quantitativen Messverfahren zu Lehr-Lern-Prozessen für Modellierung und Systemverständnis in der Informatik“. In diesem Projekt arbeiten Informatiker, Psychologen und Informatiklehrer aus Siegen und Paderborn an einem empirisch fundierten Kompetenzmodell für den Informatikunterricht der Sekundarstufe II. Die ersten Forschungsergebnisse wurden publiziert [Kal09a], [Kal09b], [Nal09]. Mit dem Vorstellen der entwickelten Messverfahren kann 2010 gerechnet werden.

Dank an die Partner

Seit 2002 wurden in Siegen viele Lehramtstudierende und Forschende von den Informatiklehrenden Wolfgang Kempf, Hartmut Koch, Werner Eling, Dr. Hans Schönwald in informatikdidaktischen Partnerschaften betreut. Unsere Absolventinnen Milena Ganea und Referendarin Natja Scharz kamen in den letzten Jahren neu hinzu. Ihnen allen danke ich für die ausgezeichnete Zusammenarbeit.

Literaturverzeichnis

- [ACM03] Association for Computing Machinery (ACM) (ed.): A Model Curriculum for K-12 Computer Science. 2003,
www.csta.acm.org/Curriculum/sub/CurrFiles/K-12ModelCurr2ndEd.pdf, 1.5.2009.
- [Bal08] Brinda, T. et al. (Hrsg.): Didaktik der Informatik – Aktuelle Forschungsergebnisse. GI-Edition – Lecture Notes in Informatics (LNI), P-135, Bonn, 2008.

- [BI07] Benzie, D.; Iding, M. (eds.): Proceedings of IFIP-Conference on "Informatics, Mathematics and ICT (IMICT 2007): A golden triangle". June 27-29, 2007, Boston, MA, www.die.informatik.uni-siegen.de/ifip-wg31/publications.html, 1.5.2009.
- [De07] Denning, P.: Great Principles of Computing. cs.gmu.edu/cne/pjd/GP, 1.5.2009.
- [Kal09a] Kollee, C. et al.: Kompetenzentwicklung mit Informatiksystemen – KIS. In: Koerber, B. (Hrsg.): Zukunft braucht Herkunft – 25 Jahre INFOS. GI-Edition – Lecture Notes in Informatics (LNI), Bonn, 2009, im Druck.
- [Kal09b] Kollee, C. et al.: Computer Science Education and Key Competencies, Fostering Key Competencies in Secondary Education by achieving Modeling Competencies and System Comprehension in Informatics. In: Proceedings of IFIP World Conference Computer in Education – WCCE 2009, Bento Gonçalves (Brazil) July 27-31, in press.
- [Ku04] Kultusministerkonferenz (Hrsg.): Einheitliche Prüfungsanforderungen Informatik. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 01.12.1989 i.d.F. vom 05.02.2004, http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Informatik.pdf, 1.5.2009.
- [Fal04] Frey, E. et al.: Informatik 1. Klett, Stuttgart 2004.
- [Fo08] Fothe, M.: Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe II – Vorüberlegungen zur Entwicklung. In: [Bal08], S. 107-116.
- [Fr09] Freischlad, S.: Entwicklung und Erprobung des Didaktischen Systems Internetworking im Informatikunterricht. Dissertation, Universität Siegen, 2009.
- [FS07] Freischlad, S.; Schubert, S.: Towards High Quality Exercise Classes for Internetworking, In: [BI07].
- [GI08] Gesellschaft für Informatik (Hrsg.): Grundsätze und Standards für die Informatik in Schulen, Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe I, 2008, www.informatikstandards.de, 1.5.2009.
- [Gi08] Gierhardt, H.: Informatik in der Oberstufe, www.oberstufeninformatik.de, 1.5.2009.
- [GK08] Ganea, M.; Koch H.: Kooperation zwischen dem Fürst-Johann-Moritz-Gymnasium und dem Institut „Didaktik der Informatik und E-Learning“ an der Universität Siegen. In: [ScSt08], S. 115-120.
- [Hal07] Hubwieser, P. et al.: Informatik 2. Klett, Stuttgart 2007.
- [Hal08] Hubwieser, P. et al.: Informatik 3. Klett, Stuttgart 2008.
- [Nal09] Nelles, W. et al.: Entwicklung eines Kompetenzrahmenmodells, Informatisches Modellieren und Systemverständnis. In: Informatik Spektrum (2009), im Druck.
- [Sal07] Schubert, S. et al.: Internetworking und Verstehen von Informatiksystemen. In: [St07], S. 65-74.
- [Sc07] Schubert, S. (Hrsg.): Didaktik der Informatik in Theorie und Praxis. GI-Edition – Lecture Notes in Informatics (LNI), P-112, Bonn, 2007, www.die.informatik.uni-siegen.de/e-publikationen/Tagungsbaende, 1.5.2009.
- [ScSh04] Schubert, S.; Schwill, A.: Didaktik der Informatik, Springer, Heidelberg 2004.
- [Sh93] Schwill, A.: Fundamentale Ideen der Informatik. In: Zentralblatt für Didaktik der Mathematik 1 (1993), S. 20-31.
- [St07] Stechert, P. (Hrsg.): Informatische Bildung in der Wissensgesellschaft. Reihe Medienwissenschaften, Bd. 6, Universitätsverlag Siegen – universi, Siegen 2007, www.die.informatik.uni-siegen.de/e-publikationen/Tagungsbaende, 1.5.2009.
- [St09] Stechert, P.: Fachdidaktische Diskussion von Informatiksystemen und der Kompetenzentwicklung im Informatikunterricht. Dissertation, Universität Siegen, 2009.
- [StSc07] Stechert, P.; Schubert, S.: A Strategy to Structure the Learning Process towards Understanding of Informatics Systems, In: [BI07].
- [ScSt08] Schubert, S.; Stechert, P. (Hrsg.): Bildungskonzepte für Internetworking und eingebettete Mikrosysteme. Siegen, Universitätsverlag Siegen – universi, 2008, www.die.informatik.uni-siegen.de/e-publikationen/Tagungsbaende, 1.5.2009.