

INTERNETWORKING UND E-LEARNING

Bildungsanforderungen und Interaktionstufen

VON KIRSTIN SCHWIDROWSKI, CHRISTIAN EIBL
UND SIGRID SCHUBERT

I. MOTIVATION DER FORSCHUNG

I.1 BILDUNGSANFORDERUNGEN

Das Internet bietet eine Informations- und Kommunikationsinfrastruktur, die bedingt durch die ständige Verfügbarkeit von Internetdiensten und der Überbrückung von Entfernungen zwischen Kommunikationspartnern in den Alltag vieler Menschen integriert ist. Dabei verbirgt sich die Basistechnologie Internet beispielsweise hinter den Benutzungsoberflächen von Web-Browsern oder E-Mail-Programmen und arbeitet zuverlässig, vom Anwender¹ unbemerkt, im Hintergrund. Infolge dessen sind Rechner zur Kommunikationszentrale erweitert worden. So arbeiten Mitarbeiter an verschiedenen Standorten ungeachtet der räumlichen Distanz gemeinsam an Projekten. Ressourcen, die für einen Arbeitsprozess notwendig sind, werden flexibler einsetzbar, und Teilprozesse benötigen durch rechnergestützte Verwaltung weniger Zeit. Der Interneteinsatz verändert Arbeitsprozesse nachhaltig. Obwohl netzgestützter Rechnereinsatz für viele Berufstätige Alltag ist und die Arbeitsmethoden bereichert, besagt dies nicht, dass Berufstätige die Arbeit mit Informatiksystemen eigenständig und verantwortungsbewusst erledigen. Die meisten Berufstätigen erlernen das Arbeiten mit internetbasierten Anwendungen durch Programmnutzung, ohne dabei die Informatiksysteme, deren Funktionsumfang, Anwendungskontext und deren technische Anforderungen zu kennen und zu berücksichtigen. Um effizient und eigenständig mit internetbasierten Informatiksystemen zu arbeiten, brauchen Nutzer Kenntnisse über die Konzepte, welche in den Informatikanwendungen zum Tragen kommen.² Ein Anwendungsprogramm ist ein komplexes Informatiksystem, welches durch drei Faktoren bestimmt wird:

- dem nach außen sichtbaren Verhalten,
- der inneren Struktur und
- systemspezifischen Besonderheiten.³

1 Alle Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für die weibliche und männliche Form.

2 Vgl. Schubert: Didaktik der Informatik in Theorie und Praxis.

3 Claus/Schwill: Duden Informatik, S. 677.

Das nach außen sichtbare Verhalten von Informatiksystemen lässt sich mit Experimenten erkunden. Die Dimensionen ‚innere Struktur‘ und ‚systemspezifische Besonderheiten‘ werden bei Bildungsangeboten, die nur die Steuerung eines Programms auf dem nach außen sichtbaren Verhalten schulen, nicht berücksichtigt, mit negativen Folgen für den Berufstätigen. Beispielsweise ist jemandem, der regelmäßig E-Mails schreibt, bekannt, dass die ‚Sende‘-Schaltfläche angewählt werden muss, damit eine E-Mail verschickt wird. Wenn das Verhalten des Informatiksystems E-Mail-Programm vom üblichen abweicht, ist dies nicht erklärbar. Der Anwender ist überfordert, wenn statt der erwarteten Erfolgsmeldung z.B. die unverständliche Systemmittlung ‚unknown authorization state command‘ erscheint. Wegen der mangelnden Kenntnisse über die innere Struktur von E-Mail-Programmen kann der Fehler nicht behoben werden. Dementsprechend geht der Vorteil ‚Zeitersparnis‘ verloren. Durch das Wissen über die innere Struktur eines Informatiksystems werden Hintergrundprozesse verstanden. Erst damit wird das nach außen zu beobachtende Verhalten für den Anwender nachvollziehbar, und er kann neben dem Regelfall auch bei Abweichungen von diesem mit dem System arbeiten. Da Informatiksysteme Arbeitsprozesse fortwährend verändern, hat die Gruppe der Berufstätigen einen grundsätzlichen Bildungsbedarf. Mangelnde Informatikkenntnisse stehen in einem eklatanten Missverhältnis zur Relevanz von Informatiksystemen in Alltag und Arbeitsleben. Auch in weiteren Anwendungsgebieten sind Informatikkenntnisse hilfreich beim Arbeiten mit Standardsoftware, z.B. Textverarbeitung und Tabellenkalkulation: wie Voß⁴ zeigt, sind hier objektorientierte Modellierungskennnisse nützlich.

1.2 E-LEARNING ALS FORSCHUNGSGEGENSTAND

Viele Berufstätige haben einen Bildungsbedarf an Informatikkenntnissen. Jedoch ist Informatik ein komplexer und komplizierter Lerngegenstand, dessen Aneignung ausreichende Zeitkapazitäten voraussetzt. Für vielbeschäftigte Berufstätige bietet E-Learning daher eine Alternative zu Präsenzangeboten. Dazu benötigen die Lernenden Materialien, z.B. multimediale Dokumente mit Video und Audio, die die Interaktion mit dem Lerngegenstand ermöglichen. Die Gestaltung muss jedoch sorgfältig durchdacht sein, um den so genannten „didaktischen Mehrwert“ zu erzielen.⁵ Deshalb wird auf die Interaktionsstufen im zweiten Abschnitt näher eingegangen. Als Distributionsmedium kann das Internet genutzt werden, um Lernmaterialien für den Lernenden unabhängig von Ort und Zeit zugänglich zu machen. Bei der Organisation eines Lernprozesses ist die Kontrolle der erlangten Lernfortschritte notwendig. So kann die Reflexion des eigenen Lernprozesses durch Selbsttests unterstützt werden. Anhand von Testergebnissen können die Lernenden ihre erreichten Lernziele, aber auch Lücken ermitteln und den Lern-

4 Voß: Modellierung von Standardsoftwaresystemen aus didaktischer Sicht.

5 Kerres: Multimediale und telemediale Lernumgebungen, S. 85.

prozess individuell anpassen. Das hier vorgestellte Projekt erforscht die Aneignung von Informatikkompetenzen zum Lerngegenstand Internet im Kontext von ‚Medienumbrüchen‘, der mit folgenden Schwerpunkten konkretisiert wird:

- A Strukturen des Internet,
- B Kommunikationsbeziehungen im Internet,
- C Informationssicherheit im Internet.

Für die Zielgruppe der Berufstätigen wird das didaktische System ‚Internetworking‘ für E-Learning entwickelt und evaluiert. Als Forschungsmethodik wird die intervenierende Fachdidaktik gewählt (vgl. Abb. 1). Aufbauend auf einer fachwissenschaftlichen Analyse des Lerngegenstandes Internetworking⁶ und einer zielgruppenorientierten Bewertung von Lerninhalten durch die Befragung von Personalverantwortlichen wird ein didaktisches System ‚Internetworking‘ konzipiert, das exemplarisch bei der Durchführung des gleichnamigen E-Learning-Kurses evaluiert wird und dessen Komponenten sukzessive verfeinert werden. Zeitgleich finden der Entwurf und die prototypische Entwicklung von Informatiksystemen, die zur Unterstützung des Lehr-Lernprozesses eingesetzt werden, statt. Die Informatik hat dabei eine Doppelfunktion: Informatik ist der Bildungsgegenstand und Informatiksysteme sind das Bildungsmedium. Das wird im dritten und vierten Abschnitt genauer dargestellt.

2. INTERAKTION IM E-LEARNING

2.1 DER BEGRIFF INTERAKTION

Im Duden *Informatik* fand sich der Begriff ‚Interaktion‘ bis 2006 überhaupt nicht. Es handelt sich somit um keinen Fachbegriff der Kerninformatik.⁷ Allerdings wurde unter dem Stichwort ‚Dialogbetrieb‘ die Bedeutung der ‚interaktiven‘ Systemeigenschaft erklärt:

Dialogbetrieb: Die Form des Gesamtauftrags ist nicht von vornherein festgelegt, sondern kann vom Benutzer *interaktiv*, d.h. in unmittelbarer Reaktion auf Ergebnisse der Teilaufträge, ständig verändert werden.⁸

Diese Dialogarbeit des Menschen mit einem interaktiven Informatiksystem und die damit verbundenen Bildungsanforderungen sind Forschungsgegenstand der ‚Didaktik der Informatik‘. Die typischen Interaktionsprobleme wurden von Ven-

-
- 6 Comer/Droms: Computernetzwerke und Internets; Kurose/Ross: Computer Networking; Tanenbaum: Computer networks.
 - 7 Kerninformatik umfasst die Teilgebiete Theoretische, Technische und Praktische Informatik.
 - 8 Claus/Schwill: Duden Informatik, S. 93. Hervorhebung im Original.

tura-Meyer bereits 1985 in ihrer Dissertation beschrieben und erwiesen sich als außerordentlich zeitbeständig:

Wo bin ich? Der Bildschirm sieht nicht wie erwartet aus. Was kann ich hier tun? Die Menge der ausführbaren Befehle ist unklar. Wie kam ich hierhin? Vielleicht wurde eine falsche Taste gedrückt. Wohin kann ich sonst noch gehen, und wie komme ich dorthin? Die Möglichkeiten des Systems sollen erforscht werden.⁹

Deshalb werden Interaktionsprobleme in der Lehrerbildung thematisiert und Empfehlungen für die stufenweise Heranführung von Anfängern an die Dialogarbeit mit interaktiven Informatiksystemen gegeben, die in Unterricht oder Weiterbildung umgesetzt werden können:

Die Schüler durchlaufen Stufen der Dialogarbeit. Sie können:

- Ausgaben des Systems richtig interpretieren,
- Ausgaben des Systems richtig vorhersehen,
- Eingaben zum Steuern des Systems so planen, dass die gewünschten Ausgaben geliefert werden,
- Ergebnisse im Anwendungskontext bewerten und verantwortungsbewusst einsetzen.¹⁰

Bezugspunkt ist hier nicht das Informatiksystem in seiner Einheit aus Hardware, Software und Vernetzung, sondern der Mensch, der die folgenden vier kognitiven Lernphasen durchläuft: Interpretieren, Vorhersehen, Planen, Bewerten/Verantworten. Wir verwenden den Begriff Interaktion für eine wohldefinierte Menge kognitiver Eigenschaften des Menschen (Fähigkeiten und Fertigkeiten) die im Bildungsprozess erworben werden, um interaktive Informatiksysteme für die eigenen Ziele sinnvoll und effizient anzuwenden. Folgerichtig wird in die vierte Auflage des Dudens *Informatik* von 2006 ‚Interaktion‘ als eigenes Stichwort aufgenommen mit der folgenden Formulierung, die sich so bereits im Lehrbuch *Didaktik der Informatik*¹¹ von 2004 findet:

Interaktion, allgemein das aufeinander bezogene Handeln zweier oder mehrerer Personen. In der Informatik bezeichnet man als Interaktion alle Aktionen des Menschen bei der Anwendung eines Informatiksystems und dehnt den Begriff auch auf Geräte aus, die ebenfalls interagieren können. Lange Zeit wurde in der Informatik der Begriff Kom-

9 Ventura-Meyer: Einsatz und Programmierung des Computers als Werkzeug für den Unterricht, S. 33.

10 Schubert/Schwill: Didaktik der Informatik, S. 231-232.

11 Schubert/Schwill: Didaktik der Informatik, S. 227.

munikation synonym zu Interaktion verwendet und es wurde ausschließlich von *Mensch-Maschine-Kommunikation* (Abk. MMK) oder Datenkommunikation gesprochen. Zunehmend setzen sich in der Fachliteratur jedoch die Begriffe *Mensch-Maschine-Interaktion* bzw. *Mensch-Computer-Interaktion* (engl. human-computer-interaction, Abk. HCI oder computer-human-interaction, Abk. CHI) und Datenaustausch durch. Damit soll deutlich gemacht werden, dass der Kommunikationsbegriff menschliche Partner voraussetzt. Die Arbeit des Menschen mit Informationssystemen zeigt neue Wechselbeziehungen, die man mit dem Begriff Interaktion unterscheiden möchte (Kommunikationssystem). In der englischen Literatur werden diese Begriffe häufig weiterhin synonym verwendet.¹²

Schulmeister geht einen Schritt weiter und verbindet den Begriff Interaktion im E-Learning mit den psychologischen Lerntheorien, die Stufen des Handelns (z.B. konkretes und abstraktes Handeln) der Lernenden unterscheiden: „Als Interaktion verstehe ich das Handeln mit dem Objekt, dem Gegenstand oder Inhalt der Seite.“¹³ ‚Objekt‘ steht für das Lernobjekt, ‚Gegenstand‘ für den Lerngegenstand und ‚Seite‘ für die Webseite, mit der die Lerninhalte sichtbar gemacht werden. Da viele Webseiten lediglich digitale Dokumente präsentieren und kein oder nur sehr eingeschränktes Handeln im Sinne der Lerntheorie zulassen, hält er die Bewertung der Interaktivität der Lernmaterialien für unverzichtbar und entwickelte dafür eine Taxonomie, die im nächsten Abschnitt vorgestellt wird.

2.2 STUFENKONZEPTE DER INTERAKTION

Schulmeisters Motivation zur Entwicklung eines Stufenkonzepts der Interaktion (vgl. Tab. 1) resultiert aus seiner Kritik am existierenden Standard zur Beschreibung von Lernressourcen (Lernobjekten) auf Metaebene, die im Rahmen computergestützten Lehrens und Lernens genutzt werden kann (IEEE, 2002):

Einige Deskriptoren werden durch Listen in Form von Quasi-Skalen gebildet. So soll beispielsweise der Grad der Interaktivität eines Lernprogramms durch eine Liste von ‚sehr niedrig‘ bis ‚sehr hoch‘ beschrieben werden. Eine derart formale Skalierung vernebelt die wirklichen Verhältnisse eher als sie zu beschreiben [...].¹⁴

Er betont, dass die Stufe I ‚Objekte betrachten und rezipieren‘ auch Stufe 0 genannt werden kann, da keine Interaktion stattfindet. Das bedeutet nicht, dass er in der Veranschaulichung von Abstraktem (z.B. Sachverhalte, Strukturen, Pro-

¹² Claus/Schwill: Duden Informatik, S. 322. Hervorhebung im Original.

¹³ Schulmeister: „Interaktivität in Multimedia-Anwendungen“, S. 2.

¹⁴ Schulmeister: Virtuelle Universität – Virtuelles Lernen, S. 149.

zesse) nicht den ‚didaktischen Mehrwert‘ sehen würde. Er verweist dabei auf den Zugang zu realen Daten und Objekten, den Wissenschaftsbereiche wie z.B. Zeitgeschichte, Archäologie und Biologie benötigen. Insgesamt ordnet er den hohen Stufen auch die höchsten Erwartungen an die Lerneffizienz zu:

Bezogen auf die Stufen der Interaktivität lassen sich nun Folgerungen ziehen: Mit dem Ansteigen des Interaktivitätsniveaus wird der Ereignisraum vielfältiger, der Darstellungsraum wird variantenreicher und der Bedeutungsraum wächst.¹⁵

Das belegt er mit Beispielentwicklungen und den zugehörigen Lernstrategien, die diese prinzipiell unterstützen können. Der Sichtenwechsel auf den Lerngegenstand (Stufe II), die Hypothesenprüfung im entdeckenden Lernen (Stufe IV) und die Visualisierung der eigenen Gedanken durch Konstruktion von ausführbaren Modellen (Stufe V) sind solche speziellen Lernstrategien. Zugleich räumt er ein, dass empirische Studien den von ihm vermuteten Zusammenhang zwischen Interaktionsstufe und Lerneffizienz überprüfen müssen.

Stufe	Bezeichnung	Beschreibung	Beispiele
I	Objekte betrachten und rezipieren	Illustration oder Information, Inhalt bleibt konstant	Standbilder Nukleinsäuren, Zusammenhang zweier Variablen
II	Multiple Darstellungen betrachten und rezipieren	verschiedene Sichten auf denselben Gegenstand möglich, keine Änderung der Daten	Auswahl zwischen Datenreihen, Video und Text zum Erlernen der Gebärdensprache
III	Die Repräsentationsform variieren	Einfluss auf die Darstellung, Multimediaobjekt bleibt konstant	Drehen und Zoomen von 3D Objekten, Darstellungsparameter variieren
IV	Den Inhalt der Komponente beeinflussen: Variation durch Parameter- oder Datenvariation	wissenschaftliche Konzepte und kognitive Fehler der Lernenden sind modelliert	Simulationen mit Parameterwahl
V	Das Objekt bzw. den Inhalt der Repräsentation konstruieren und Prozesse generieren	Werkzeuge zur Konstruktion von Objekten oder Modellen	Cinderella, Editor für Mind-Maps
VI	Konstruktive und manipulierende Handlungen mit situations-abhängigen Rückmeldungen	Nutzereingabe wird vom Programm ausgewertet und verändert den Lernprozess	kontextsensitive Hilfe, Expertensystem (Lernbiographie auswerten)

Tab. 1: Taxonomie von Multimedia-Komponenten nach Schulmeister.

¹⁵ Schulmeister: „Interaktivität in Multimedia-Anwendungen“, S. 16.

Die Studien im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts „SIMBA – Schlüsselkonzepte der Informatik in verteilten multimedialen Bausteinen unter besonderer Berücksichtigung der spezifischen Lerninteressen von Frauen“, das im BMBF-Programm „Neue Medien in der Hochschullehre“ von 2001-2004 gefördert wurde, führten zu einem ähnlichen Stufenkonzept der Interaktion¹⁶:

Missverständlich wird die konstruktivistische Lerntheorie so interpretiert, als wäre sie besonders leicht mit E-Learning zu realisieren. [...] Informatiksysteme ermöglichen sehr unterschiedliche Niveaustufen der Interaktion, z.B.:

1. Navigation im Lernmaterial,
2. Eingabe von digitalen Notizen des Lernenden zum Lernmaterial,
3. Eingabe von Aufgabenlösungen: auswählen von Werten aus einer fester Menge oder Interpreter für freie Eingaben erforderlich,
4. Planen und Umsetzen von Explorationsstrategien,
5. Planen und Durchführen von Software-Experimenten.

Softwaretechnische Konzepte für E-Learning sind nach wie vor ein komplizierter Forschungsgegenstand. Vorerst gilt: schlechte Didaktik ist leicht zu programmieren und anspruchsvolle Didaktik ist schwer oder überhaupt nicht programmierbar.¹⁷

Die Stufen 1 und 2 entsprechen bei Schulmeister I bis III, die Stufen 3 und 4 der IV, die Stufe 5 der V. Die empirischen Studien zeigten die Bedeutung der Annotationen der Lernenden zum Lernmaterial. Deshalb wurde die Stufe 2 eingeführt. Ebenso deutlich wurde, dass exploratives Lernen eine Lernstrategie darstellt, die explizit vermittelt werden muss, also nicht automatisch mit den Handlungen der Stufe 3 verbunden ist. Deshalb wurde die Stufe 4 eingeführt. Beide Stufenkonzepte eignen sich sehr gut, um vorliegendes Lernmaterial mit Metadaten zu beschreiben und zu bewerten. Sie sind aber in dieser Detaillierung eher hinderlich, wenn ein neues Lernszenario entworfen wird.

In der E-Learning-Praxis findet man ein robust einsetzbares Stufenkonzept der Interaktion:

1. Stufe: Kommunikation zwischen Menschen mittels Informatiksystemen,
2. Stufe: Interaktionen mit Informatiksystem ohne Einwirkung auf den Lerngegenstand,
3. Stufe: Interaktionen mit Informatiksystemen mit Einwirkung auf den Lerngegenstand,

¹⁶ Schubert: „Didaktische Empfehlungen für das Lernen mit Informatiksystemen“.

¹⁷ Schubert: „Didaktische Empfehlungen für das Lernen mit Informatiksystemen“, S. 9.

4. Stufe: Interaktionen mit Informatiksystemen mit lernerbezogener Rückmeldung.

Die Stufen werden im Folgenden kurz erläutert.

1. Stufe. Kommunikation und Kooperation mittels Informatiksystem: Die notwendige, aber fehlende persönliche Kommunikation bzw. Kooperation zwischen den Lernenden und Lehrenden wird mit Kommunikations- bzw. Kooperationsystemen auf die Ebene der Telekommunikation- bzw. -kooperation übertragen. Diese Defizite sind seit Jahren ein unvermindert aktueller Forschungsgegenstand im E-Learning, wie die folgenden Beispiele zeigen:

- Salmon¹⁸ schlägt ein 5-Stufenmodell vor, um die Kooperation mittels so genannter „E-tivities“ zu fördern.
- Kienle¹⁹ evaluierte in verschiedenen CSCL-Systemen²⁰ die Wirksamkeit der Aushandlungsunterstützung, um Rückschlüsse auf deren Gestaltung zu ziehen.
- Haake²¹ entwickelte so genannte „Computer-Supported Collaborative Scripts“, um deren Einfluss auf die Bildungsergebnisse in der Fernlehre zu erforschen.

Dabei zeigte sich, dass sich das Lernen durch Projektarbeit mit CSCL-Systemen besonders erfolgreich gestaltet. Die Projektgruppen dokumentieren ihren Lernprozess über eine Versionsverwaltung der Zwischenergebnisse mit einem Informatiksystem, z.B. einer Groupware. Für alle Gruppenmitglieder wird transparent, wer den Lernprozess wie gestaltet und wie die Komplexität verteilt wurde.

2. Stufe. Interaktion mit Informatiksystem ohne Einwirkung auf den Lerngegenstand: Das Informatiksystem muss den Lernenden ermöglichen, erkannte Bedarfe für Lernziele durch eine einfache Strukturierung des Lerngegenstandes zu erreichen, indem auf alle Komponenten eines E-Learning-Angebotes wahlfrei zugegriffen werden kann. Die Lernziele und der erforderliche, geschätzte Zeitbedarf sind zu den Lerneinheiten, meist in Form von Lernmodulen, anzugeben. Die Lernenden bestimmen dann ihren Lernablauf selbst, indem sie ihre Lernziele und die zugehörigen Lerninhalte auswählen, wiederholen oder durch Zusatzangebote vertiefen. Es müssen Möglichkeiten der Überprüfung des persönlichen Lernerfolges angeboten werden, die aber in eine andere Interaktionsstufe einzuordnen sind. Für die Navigation sind geeignete Orientierungshilfen anzubieten, z.B. Gliederung, Glossar oder Graphen der möglichen Lernpfade. Die Visualisierung von abstrakten Zusammenhängen oder komplizierten Prozessen gehört ebenfalls in diese Stufe. Dabei empfiehlt sich der Sichtenwechsel auf den Lerngegenstand, d.h. die Ler-

18 Salmon: E-tivities.

19 Kienle: „Zur Gestaltung der Aushandlungsunterstützung in CSCL-Systemen“.

20 CSCL = computer-supported collaborative learning.

21 Haake: „Computer-Supported Collaborative Scripts“.

nenden können zwischen verschiedenen Darstellungsformen (Lebensweltbezug durch Video oder Foto, Grafiken oder Diagramme, Text in der jeweiligen Fachsprache) wählen.

3. Stufe. Interaktion mit Einwirkung auf den Gegenstand: Mit dieser Interaktionsstufe werden typische Abschnitte des Lernprozesses für E-Learning überhaupt erst ermöglicht, z.B.:

- bei der Vorbereitung auf einen Lerngegenstand: die Sicherung des Ausgangsniveaus, indem das Vorwissen reaktiviert wird,
- bei der Arbeit am neuen Stoff: die Anwendung des Gelernten,
- bei der Arbeit am bekannten Stoff: das Wiederholen und Üben,
- bei der Kontrolle und Bewertung des Lernerfolges: das Lösen von Testaufgaben.

Der Übungsprozess kann vielfältiger und attraktiver werden, wenn der Beispielvorrat umfangreich genug ist (Datenbank), die Lösungswege gut dokumentiert wurden und die Klassifikation der Aufgaben den Transfer der Lösungen unterstützt. Die Lernenden können ihren Lernfortschritt selbst kontrollieren bzw. vor Prüfungen trainieren, vorausgesetzt die Testanforderungen sind dafür anspruchsvoll genug. Die Lernenden können Zugang zu entfernten Bereichen, z.B. Experimenten an anderen Standorten erhalten. Es sind Aktionen möglich, um Gedankenexperimente anschaulich durchzuführen. Mit Informatiksystemen kann experimentiert werden. Wir bezeichnen einen Rechnereinsatz nicht automatisch als Experiment. Das Testen von Programmen nach der Versuch-Irrtum-Strategie, leider häufig zu beobachten, ist kein Experiment. Wie in Naturwissenschaft und Technik setzt ein Experiment mit einem Informatiksystem eine Hypothese voraus, die überprüft wird nach einer definierten und wiederholbaren Vorgehensweise. Wir empfehlen Experimente daher für das Erlernen der Wirkprinzipien.

4. Stufe. Interaktionen mit Informatiksystemen mit lernerbezogener Rückmeldung: Solche Informatiksysteme werden wissensbasiert bzw. ‚intelligent‘ genannt. Sie bieten Adaptivität an, d.h. ein solches System passt sich an den Lernenden an, z.B. Konfiguration der Oberfläche, Auswahl des Schwierigkeitsgrades, Auswahl des Lernweges, Modifikation des Lernmaterials. In Abhängigkeit von den Handlungen der Lernenden gibt das System Rückmeldungen (Hilfestellungen, alternative Lernpfade). Das Informatiksystem verwaltet dazu Daten über den Lernprozess (Lernermodellierung, Fehlermodellierung, Speicherung der Lernbiografie), die mit einer Diagnosekomponente ausgewertet werden, um die Fortsetzung des Lernprozesses zu ermitteln. Die automatische Testauswertung gehört auch in diese Stufe. Im einfachsten Fall werden Auswahlfragen nach dem Multiple-Choice-Verfahren verwendet. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass die Gefahr der Fehleinschätzung der Lernenden durch das Informatiksystem existiert. Da das System den Lernprozess steuert, tritt nicht selten Frustration bei den Lernenden auf. Einem

hohen Entwicklungsaufwand steht daher Unsicherheit über den Bildungseffekt gegenüber.

Im didaktischen System ‚Internetworking‘ kommt die dritte Interaktionsstufe zum Einsatz. Nachdem im Abschnitt 3 das Internet als Bildungsgegenstand zusammengefasst wird, leiten wir in den Abschnitten 4 und 5 die Gestaltungsanforderungen an das Lehr-Lernmaterial aus den Interaktionsstufen ab.

3. DAS INTERNET ALS BILDUNGSGEGENSTAND

Die Betrachtung der Struktur des Internet lässt die Komplexität der Informatiksysteme, die auf ihm basieren, erahnen. Berufstätige kennen meist nur das Ein- und Ausgabeverhalten von Internetanwendungen, welches aber nur Anfang und Ende eines Kommunikationsprozesses im Internet ist. Die dazwischen stattfindenden Kommunikationsschritte fehlen. Die Begriffe Client und Server sind als Konzept und Funktionsbeschreibung von Software zu verstehen. Konkrete Software ist mit diesen Begriffen in Verbindung zu bringen, damit eine eigenständige Informationsbeschaffung zum Thema Internet und der gedankliche Austausch über Informatiksysteme im Internet für Berufstätige möglich werden. Die Lernenden sollen sich nicht nur an bisherigen Erfahrungen mit einer speziellen Software orientieren, sondern eine Softwareklasse eigenständig anwenden. Dazu müssen sie den Funktionsumfang einer solchen Softwareklasse und ihre Anwendung einschließlich ihrer Grenzen kennen. In vielen Situationen reicht z.B. das Client-Server-Prinzip nicht aus, um das Verhalten eines Webbrowsers zu verstehen. Der oft auftretende Fall, dass eine Webseite nicht angezeigt wird, ist nicht durch das Client-Server-Prinzip, sondern durch das Verständnis der Protokolle nachvollziehbar. Deshalb sind das Verstehen von Protokollen allgemein und die grundlegende Kenntnis von eingesetzten Protokollen für das Verstehen der inneren Struktur von internetbasierten Anwendungen notwendig. Die Konzepte müssen nicht nur separat verstanden, sondern vernetzt werden. Ein wichtiges Thema bei der Internetnutzung im beruflichen Umfeld ist zudem die Informationssicherheit, da viele sensible Daten über Rechnernetze ausgetauscht werden und der Ausfall von bestimmten Komponenten zu erheblichen Schäden führen kann. Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit sind Qualitätskriterien für Informatiksysteme, die der Anwender kennen muss. Lernziel ist auch die Aneignung von Schutzmechanismen für konkrete Bedrohungen, speziell geht es um das Hinterfragen der Internetanwendungen in Bezug auf die genannten Kriterien und des Wissens über Datenübertragungsprozesse. Der Mitarbeiter muss wissen, wann er Daten, für die er verantwortlich ist, wem gibt oder geben darf, ohne die Vertraulichkeit zu verletzen bzw. ohne andere Systeme und Daten in Gefahr zu bringen. Mit diesem Wissen sollte der Lernende selbst in der Lage sein, sich über die Gefahren zu informieren und Gegenmaßnahmen anzuwenden. Wir betrachten im nächsten Abschnitt näher, wie das Internet als Bildungsmedium zum Verstehen der Datenübertragung genutzt wird.

4. DAS INTERNET ALS BILDUNGSMEDIUM

4.1 DIE ERSTE INTERAKTIONSSTUFE

Eine theoretische Analyse des Bildungsgegenstandes Internet führte zur fachlich begründeten und didaktisch motivierten Auswahl von Lernzielen und Lerninhalten. Erwartet wird, dass die Umsetzung des Bildungsangebotes mit dem Internet als Medium die Teilnahme erleichtert. Offen war die Frage, ob die zeitliche Verbindung von Lernen und Arbeit gelingt. Die nötige Erfahrung im Umgang mit Internet-basierten Anwendungen der ersten Interaktionsstufe, die im E-Learning-Kurs genutzt werden, besitzen die Berufstätigen durch deren Einsatz im Arbeitsalltag. Ein wichtiger Aspekt des E-Learning ist aber auch der des selbstorganisierten Lernens. Hier kann man aufgrund der heterogenen Zielgruppe keine Aussagen über deren Erfahrungen im selbstorganisierten Lernen machen. Deshalb wurde eine Lernprozessstruktur gewählt, die den Lernenden eine Unterstützung in der Organisation der Lernphasen bietet, jedoch nicht zu stark einschränkt. Infolge dessen werden die Lernmaterialien im Kurs zu Lernpaketen zusammengefasst, welche wöchentlich gesendet werden. Für die Verteilung der Aufgaben und die Einsendung der Lösungen an den Betreuer wird die erste Interaktionsstufe angewendet. Der Lernaufwand pro Woche wird auf durchschnittlich zwei Stunden geschätzt. Dieser Aufwand variiert im Laufe des Kurses, so dass sich folgende Belastungskurve ergibt (vgl. Abb. 1).

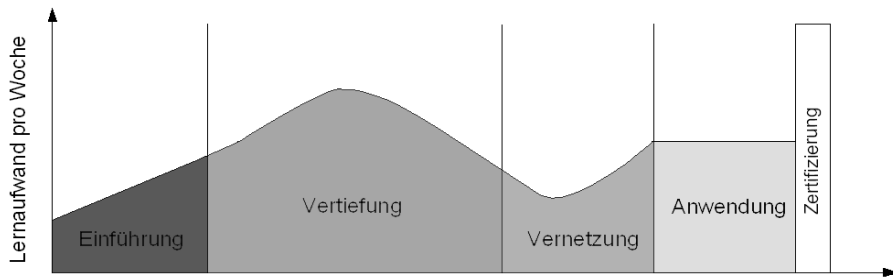


Abb. 1: Belastungskurve bei der Durchführung des E-Learning-Kurses Internetworking.

In der ersten Phase ist der wöchentliche Lernaufwand etwas geringer, um den administrativen Aufwand für die Lernenden zu berücksichtigen. Da die Gruppe der Lernenden bezüglich der Vorkenntnisse heterogen ist, wird zudem eine gemeinsame Wissensgrundlage geschaffen und vorhandenes Wissen aktiviert. Darauf aufbauend folgt eine Belastungsphase, in der sich die Lernenden grundlegende Informatikkenntnisse aneignen. Zur Sicherung der Lernfortschritte wird in der dritten Phase mit der Wiederholung und Vernetzung von erworbenen Kenntnissen fortgefahren. Abgeschlossen wird der Lernprozess mit einer Projektaufgabe, welche den Lernenden die Möglichkeit gibt, nochmals gemeinsam das neu erwor-

bene Wissen in einer komplexen Aufgabe ihrer beruflichen Tätigkeit einzusetzen. Die gemeinsame Bearbeitung bietet die Möglichkeit, sich mit den anderen Lernenden über die Lerninhalte auszutauschen. Während der Kursdurchführung gibt es mehrere Präsenzveranstaltungen (Blended Learning), um den sozialen Prozess des Lernens zusätzlich zur ersten Interaktionsstufe zu fördern. Insgesamt läuft der E-Learning-Kurs aufgrund der Komplexität und Vielfältigkeit des Bildungsgegenstandes Internetworking über den Zeitraum eines halben Jahres. Die Lernpakete, welche in den Phasen 1 bis 3 eigenverantwortlich organisiert bearbeitet werden, bestehen aus den drei Komponenten: Lesestoff mit Animationen zu komplexen Zusammenhängen, Selbsttest, Anwendungsaufgabe in der eigenen Berufstätigkeit. Der Lesestoff mit Animationen zu komplexen Zusammenhängen dient dem Erwerb von Wissen. Ein Selbsttest ermöglicht den Lernenden ihren Lernfortschritt zu ermitteln und den Lernprozess individuell zu gestalten. Abgerundet wird das Lernpaket durch eine Anwendungsaufgabe in der eigenen Berufstätigkeit, die von den Lernenden den Einsatz des neu erworbenen Wissens erfordert, um den Kompetenzerwerb zu fördern. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Anwendungsaufgabe ist, dass die Lösung an den Betreuer gesendet wird, und der Lernende eine Antwort mit korrigierenden Erklärungen und Unterweisungen zur Steuerung des Lernprozesses erhält. Die Anwendungsaufgabe hat die Funktion der Festigung und motiviert auch der Kommunikation zwischen den Lernenden und den Lehrenden. Die Betreuung ist das Mittel zur Entwicklung einer sozialen Beziehung trotz der räumlichen Ferne. Für die Lehrenden sind die Rückmeldungen wichtig, um den Lernerfolg bzw. Lernschwierigkeiten zu erkennen. Falls der Lernerfolg schwer erreicht wird, kann der Lernprozess modifiziert werden. Neben der Anpassung des Lerntempos können Lernphasen wiederholt werden und auch die Lerninhalte der folgenden Pakete können sich an den Bedürfnissen der Lernenden ausrichten. Zusätzlich zu den Rückmeldungen der Anwendungsaufgabe, welche in die Evaluierung der didaktischen Aufbereitung des Lerngegenstandes einfließen, werden bei sämtlichen Präsenzveranstaltungen Befragungen durchgeführt, die zur Verfeinerung der Konzeption des Kurses herangezogen werden. Es wird sowohl der Bildungsgegenstand als auch das Bildungsmedium evaluiert. In der ersten Umsetzung wurde der Kurs in einem mittelständischen Unternehmen im Siegerland durchgeführt.

4.2 INFORMATIKENTWICKLUNGEN FÜR DIE ZWEITE BIS VIERTE INTERAKTIONSSTUFE

E-Learning ist ein sehr spannendes und vielfältiges Anwendungsgebiet von Informatiksystemen. Dies ist bedingt durch die vielen Anwenderprofile: Lernender, Lehrender, Betreuer, Autor von Lernmaterialien und Administrator. Man kann zwischen Informatiksystemen unterscheiden, die den Lernprozess unterstützen (didaktische Funktion) und die den Lernprozess organisieren (administrative Funktion). Allerdings ist die Trennung bei der Implementierung dieser Funktionen

nicht scharf. Auch sind die Rollen nicht disjunkt, da beispielsweise ein Lehrender auch gleichzeitig Autor von Lernmaterialien sein kann. Für den E-Learning-Kurs ‚Internetworking‘ wurden Lernmaterial, z.B. die Animation zum E-Mail-Versand (zweite Interaktionsstufe), und Werkzeuge entwickelt, die Lernende und Lehrende unterstützen. Ein Werkzeug ist das Framework für die Generierung von Selbsttests. Multiple-Choice-Tests bieten ein Mittel, um Wissen abzuprüfen und automatisiert Lernergebnisse auszuwerten. Die Implementierung erfolgte mit modularem Aufbau. Die sich ändernden Antworten, Fragen und Hilfestellungen werden mit Metadaten der ‚Extensible Mark-up Language (XML)‘ beschrieben und mit Attributen für die automatisierte Auswertung versehen. Die Speicherung erfolgt außerhalb des Quellcodes in Textdateien. Dieses Framework hat für Lernende und Lehrende Vorteile. Der Lernende ist an die Anwendung gewöhnt und kann sich auf die Fragen konzentrieren. Der Lehrende kann sich auf den Inhalt der Fragen konzentrieren und Änderungen an Fragen können leicht, außerhalb des Quellcodes durchgeführt werden. Zu jeder Frage im Multiple-Choice-Test ist es möglich, Lernhilfen zu geben. Die Anzeige der Lösungen erfolgt nicht direkt, sondern der Lernende erhält einen Hinweis über den Erfolg seiner Antworten und kann den Test auf Wunsch wiederholen und korrigieren (dritte Interaktionsstufe). Bei der Auswertung werden die Antwortmöglichkeiten zusätzlich zur Angabe der Korrektheit noch erklärt (vierte Interaktionsstufe).

4.3 GESTALTUNGSANFORDERUNGEN AN LEHR-LERNMATERIALIEN

Eine Einführung zu diesem Thema geben Kerres und Handke.²² Es muss immer bedacht werden, welche Vorteile der Lernende durch die multimediale Aufbereitung hat, und diese Vorteile müssen auch dem Lernenden ersichtlich sein, um die Akzeptanz der Lernmaterialien zu fördern. Der didaktische Mehrwert multimedialer Lernmaterialien wird durch wirkliche Interaktivität oder Visualisierung erzielt. Diese Eigenschaften sind gezielt einzusetzen, um eine Unterstützung des Lernprozesses zu erreichen. Vom Entwickler multimedialer Lehr-Lernmaterialien werden deshalb sehr unterschiedliche Kenntnisse gefordert. Der Entwickler muss den Lerninhalt kennen, den Lerninhalt didaktisch bearbeiten, mit der Gestaltung von multimedialen Dokumenten vertraut sein, mit den Werkzeugen zur Erstellung von multimedialen Dokumenten arbeiten können und die Auswirkungen des Medieneinsatzes beurteilen können. Die Erstellung von hochwertigen Materialien ist infolge dessen eine anspruchsvolle Aufgabe, die auch entsprechende Kosten verursacht. Deshalb ist der ‚didaktische Mehrwert‘, den der Einsatz von multimedialen Dokumenten im Lernprozess erreicht, gegen den Aufwand, den die Herstellung eines solchen Dokumentes erfordert, abzuwägen.

22 Kerres: Multimediale und telemediale Lernumgebungen; Handke: Multimedia im Internet.

Expertenwissen	Beispiel für Fehler	Beispiel für Folgen
Fachwissen	falsche Auswahl	Kompetenzprobleme
Didaktische Gestaltung	falsche Aufbereitung	Lernschwierigkeiten
Mediengestaltung	falsche Strukturierung	von Abneigung bis Ablehnung
Technikgestaltung	Interaktionshindernisse	von Verzögerung bis Abbruch

Tab. 2: Fehlermöglichkeiten im Entwicklungsprozess.

Diese wirtschaftliche Betrachtung des Lehr-Lernmaterials ist beim Medieneinsatz zusätzlich zur didaktischen und technischen Betrachtung durchzuführen. Die Gestaltung von Lehr-Lernmaterialien ist eine Aufgabe, die nicht nur Kenntnisse aus verschiedenen Fachgebieten, sondern auch die Bereitschaft, sich mit neuen Themen auseinander zu setzen, erfordert. Gestaltungsmängel haben unweigerlich Konsequenzen für den Lernprozess und führen eventuell zum Scheitern (vgl. Tab. 2).

5. BEISPIEL ‚PROTOKOLLE IM INTERNET‘

5.1 KOMPETENZGEWINN

Am Beispiel ‚Protokolle im Internet‘ wird der Kompetenzgewinn durch die Interaktionsstufen aufgezeigt. Es gibt für verschiedene Internetdienste auf Anwendungsebene spezielle Protokolle, die deren Funktionen widerspiegeln. Die Mehrzahl nutzen aber auf Transport- und Internetschicht die Protokolle ‚Transmission Control Protocol / Internet Protocol (TCP/IP)‘, so dass Fehler auf diesen Ebenen unabhängig sind von der Anwendungsschicht. Problematisch bei der Aneignung von Wissen zur Funktionsweise von Protokollen ist aber, dass diese abstrakt und nicht an den Benutzungsoberflächen der gängigen Internet-basierten Anwendungen einsehbar sind. Deshalb bietet es sich an, die Funktionsweise von Protokollen zu visualisieren. Im nächsten Kapitel stellen wir ein Java-Applet vor, das den Lerngegenstand ‚Protokolle im Internet‘ visualisiert und den Lernenden mittels Interaktion aktiv in den Lernprozess einbindet. Das Verstehen von Protokollen als grundlegendes Konzept des Datenaustausches im Internet ist unterstützend beim Nachvollziehen von Kommunikationsbeziehungen im Internet (Schwerpunkt B). Das ‚Hypertext Transfer Protocol‘ (HTTP) bietet einen einfachen Zugang zur Thematik. Die meisten Berufstätigen kennen es beispielsweise aus der Adresszeile eines Web-Browsers, da beim Aufrufen einer Web-Seite deren ‚Uniform Resource Locator‘ (URL) dort eingetragen wird. Die meisten Anwender wissen aber nicht, was ‚http‘ zu bedeutet hat und wozu es gebraucht wird. Kenntnis des Leistungsumfanges eines Protokolls ist hilfreich, um beispielsweise eine sichere Verbindung mit einem sicheren Hypertext-Übertragungsprotokoll ‚Hypertext Transfer Protocol Secure‘ (HTTPS) von einer unsicheren Verbindung zu unterscheiden.

5.2 DIE DRITTE INTERAKTIONSSTUFE

Ein wichtiger Qualitätsfaktor von multimedialen Lernmaterialien ist die dritte Interaktionsstufe, da sie das aktive Handeln mit dem Lernmaterial ermöglicht. Im Internet werden verschiedene Protokolle nicht isoliert, sondern verschachtelt angewendet. Dies erhöht die Komplexität und damit die kognitiven Anforderungen, die an den Lernenden gestellt werden. Eine Simulation der Arbeitsweise von Protokollen im Internet, wie es das hier vorgestellte Java Applet (vgl. Abb. 2) anbietet, ist für Lernende eine Unterstützung, um die Datenkommunikation im Internet und die darauf aufbauende Telekommunikation zwischen Menschen zu verstehen.

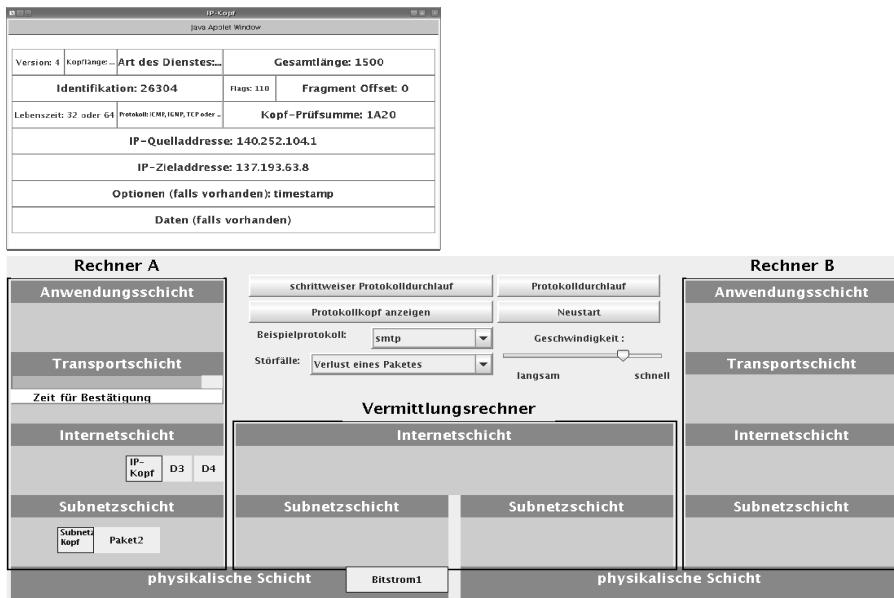


Abb. 2: Java-Applet Protokolle im Internet mit Informationen zum Paketheader in separatem Fenster.

Die Lernenden können die Parameter der Simulation modifizieren, z.B. das Anwendungsprotokoll und die Störfaktoren. Damit der Lernende nicht überfordert wird, sollte der simulierte Lerngegenstand mithilfe didaktisch motivierter Kriterien in seiner Komplexität reduziert werden. Abstrakte und komplizierte Zusammenhänge können sichtbar gemacht werden oder wahlweise mithilfe des Ausblendens von Details vereinfacht werden, wobei es nicht zu einer falschen Darstellung kommen darf (didaktisches Prinzip der Wissenschaftlichkeit). Das Applet stellt den Nachrichtenaustausch als simulierten Prozess dar, blendet aber die verwendeten Befehle nicht ein. In der Darstellung werden ausgewählte Lerninhalte farblich hervorgehoben, um die Aufmerksamkeit des Lernenden zu steuern.

Die Darstellung muss nicht wirklichkeitsgetreu sein, sondern schematisierend modelliert werden, um den Lernenden das Verständnis des Lerngegenstandes zu vereinfachen. Deshalb wurde im Beispiel das Schichtenmodell, welches das Zusammenspiel verschachtelter Protokolle mittels Modell und Komplexitätsreduktion strukturiert darstellt, gewählt. Ein Protokoll wird einer Schicht zugeordnet. Durch die vertikale Anordnung der Schichten wird die Abhängigkeit der aufeinander folgenden Schichten verdeutlicht. Dies entspricht der Schachtelung der Protokolle. Auch die horizontale Anordnung von an der Kommunikation beteiligten Rechnern verdeutlicht den gleichen Ablauf des Prozesses auf unterschiedlichen Rechnern. Ein simulierter Prozess kann zeigen, wann welche Schicht im Ablauf aktiv ist. Neben dem zeitlichen Ablauf werden verschiedene Perspektiven auf den Lerngegenstand angeboten. Diese inhaltliche Redundanz ist im Lernprozess wichtig, da sie alternative Zugänge bietet.

6. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Erprobung des E-Learning-Kurses erfolgte in einem mittelständischen Unternehmen. Bei den Vorbereitungen zum Kurs zeigte sich, dass es kaum frei verfügbare Unterlagen gab, die für die Vermittlung von Informatikkonzepten an Berufstätige geeignet sind. Infolge dessen war der Aufwand für das Erstellen der einzelnen Lernpakete sehr aufwendig, da hier eigene Lerntexte geschrieben wurden. Das wesentliche, von den Teilnehmern geäußerte Lernhindernis war der Zeitmangel. Daraus resultierten Wissenslücken und Kurskorrektur. Ein Gruppengespräch zwischen Forschern (hier auch Betreuern) und Lernenden brachte Klärung weiterer Lernhindernisse und vier wesentliche Schlussfolgerungen. (1) Die Erweiterung der ersten Interaktionsstufe ist erforderlich, z.B. durch die Bereitstellung eines Forums, mit dem sich die Lernenden intensiver austauschen können. Die Betreuer erhalten so zusätzlich zur wöchentlichen Aufgabenlösung einen Überblick über den Verlauf des Lernprozesses der Gruppe. (2) Die Anwendung des didaktischen Systems ‚Internetworking‘ erfordert die Überführung der bisher erarbeiteten Aufgaben in Aufgabenklassen nach den Interaktionsstufen, um den Lehrenden und Lernenden mehr Orientierung für die Organisation des Lernprozesses zu geben. (3) Für die Zielgruppe der berufstätigen Informatikanwender ist ein spezifischer Zugang zur Fachsprache der Informatik zu entwickeln. (4) Die dritte Interaktionsstufe kann für ausgewählte Aufgabenklassen eine innovative Form der Lernerfolgskontrolle unterstützen. Dabei wird folgender Zusammenhang genutzt: Eine Simulation basiert immer auf einem oder mehreren Modellen. Die Lernenden modifizieren in der dritten Interaktionsstufe entweder die Parameter oder das Modell der Simulation. Somit hängt die Qualität der Interaktion mit dem Lerngegenstand, der Lernerfolg, direkt von der Qualität des Modells (reduzierte Abbildung des Lerngegenstandes) ab.

LITERATURVERZEICHNIS

- Claus, Volker/Schwill, Andreas: Duden Informatik. Ein Fachlexikon für Studium und Praxis, Mannheim 2006.
- Comer, Douglas/Droms, Rolph: Computernetzwerke und Internets, München 2003.
- Freischlad, Stefan/Schubert, Sigrid: „Towards High Quality Exercise Classes for Internetworking“, in: Benzie, David/Iding, Marie (Hrsg.): Proceedings of IFIP-Conference on ‚Informatics, Mathematics and ICT: A golden triangle‘, June 27-29, Boston, MA 2007 (CD-ROM).
- Haake, Jörg: „Computer-Supported Collaborative Scripts: Einsatz computergestützter Kooperationskripte in der Fernlehre“, in: Eibl, Christian u.a. (Hrsg.): DeLFI 2007. 5. e-Learning Fachtagung Informatik, Bd. P-111, Reihe ‚Lecture Notes in Informatics‘ der Gesellschaft für Informatik, Bonn 2007, S. 9-20.
- Handke, Jürgen: Multimedia im Internet: Konzeption und Implementierung, München 2003.
- IEEE Standards Department (Hrsg.): Draft Standard for Learning Object Metadata, 2002, <http://ltsc.ieee.org/wg12/20020612-Final-LOM-Draft.html>, 28.01.2008.
- Kerres, Michael: Multimediale und telemediale Lernumgebungen. Konzeption und Entwicklung, München 2001.
- Kienle, Andreas: „Zur Gestaltung der Aushandlungsunterstützung in CSCL-Systemen“, in: Eibl, Christian u.a. (Hrsg.): DeLFI 2007. 5. e-Learning Fachtagung Informatik, Bd. P-111 (Reihe ‚Lecture Notes in Informatics‘ der Gesellschaft für Informatik), Bonn 2007, S. 257-268.
- Kurose, James/Ross, Keith, Computer Networking: A Top-down Approach Featuring the Internet, Amsterdam 2001.
- Salmon, Gilly: E-tivities – der Schlüssel zu aktivem Online-Lernen, Zürich 2004.
- Schubert, Sigrid (Hrsg.): Didaktik der Informatik in Theorie und Praxis. Bd. P-112, (Reihe ‚Lecture Notes in Informatics‘ der Gesellschaft für Informatik), Bonn 2007.
- Schubert, Sigrid/Schwill, Andres: Didaktik der Informatik. Heidelberg 2004.
- Schubert, Sigrid: „Didaktische Empfehlungen für das Lernen mit Informatiksystemen“, in: Schwill, Andres (Hrsg.): Grundfragen multimedialer Lehre, Potsdam 2003, S. 3-16.
- Schulmeister, Rolf: „Interaktivität in Multimedia-Anwendungen“, 2005, <http://www.e-teaching.org/didaktik/gestaltung/interaktiv/InteraktivitaetSchulmeister.pdf>, 28.01.2008.
- Schulmeister, Rolf: Virtuelle Universität – Virtuelles Lernen, München 2001.

- Schwidrowski, Kirstin: „Introducing Internetworking in Vocational Training“, in: Abbott, Chris/Lustigova, Zdena (Hrsg.): Information Technologies for Education and Training, Proceedings of iTET 2007, Prag 2007, S.154-161.
- Tanenbaum, Andrew: Computer networks, Upper Saddle River, NJ 1996.
- Ventura-Meyer, Andrea: Einsatz und Programmierung des Computers als Werkzeug für den Unterricht, ETH Zürich 1985 (Diss.).
- Voß, Siglinde: Modellierung von Standardsoftwaresystemen aus didaktischer Sicht, Technische Universität München 2006 (Diss.).