

Ein erweiterbares Architekturkonzept zur aktiven Lernermodellierung für das Web-gestützte Lernen

Holger Langner, Falk Schmidsberger, Werner Dilger

Professur für Künstliche Intelligenz

Fakultät für Informatik

Technische Universität Chemnitz

D-09107 Chemnitz

{hol, fasc, wdi}@informatik.tu-chemnitz.de

1 Kurzfassung

Dieser Artikel befasst sich mit dem Entwurf eines Konzepts zur Realisierung von Lernerassistenzfunktionen für das Web-gestützte Lernen. Die Offenheit von Web-gestützten Lernumgebungen, die Heterogenität von Lerninhalten und Nutzerprofilen und das Erfordernis der kommunikativen Vernetzung vereinzelter Lerner werden dabei als Anforderungen verstanden, die das Web-based Learning weniger als eine untergeordnete Variante des Lernens mit Intelligenten Tutorsystemen charakterisieren, sondern vielmehr als ein eigenständiges Anwendungsfeld, das spezifische Anforderungen an Lernerassistenzkonzepte stellt. Im Vordergrund stehen daher Verfahren, die einen benutzerbezogenen Zugang zu vernetzten Informationsbeständen erleichtern sollen. Ausgehend von der These, dass die Skalierbarkeit solcher benutzeradaptiver Funktionen im Hinblick auf die verfügbaren Nutzungsdaten und den jeweiligen Zweck eine wichtige Voraussetzung für ihren sinnvollen praktischen Einsatz darstellt, schlägt dieser Artikel ein offenes, erweiterbares Architekturkonzept zur flexiblen, Lernszenario-spezifischen Integration von benutzeradaptiven Techniken als Ausgangspunkt für ihre praktische Erprobung vor.

2 Einleitung: Anforderungen des Web-based Learning

In den vergangenen Jahren haben Systeme für das Web-Based Learning (WBL) zunehmende Aufmerksamkeit erlangt. Dabei wird deutlich, dass hierbei nicht lediglich das softwaretechnische Problem im Vordergrund steht, bestehende *Intelligent Tutoring Systems (ITS)* im Internet verfügbar zu machen, sondern dass WBL als ein eigenständiges Anwendungsfeld in Erscheinung tritt, welches charakteristische Entwicklungsaspekte beinhaltet. Zum einen stellt das Web-basierte Lernen spezifische Anforderungen an Konzepte für die Computerunterstützung individueller und gemeinschaftlicher Lernprozesse. Zugleich eröffnet insbesondere die mediale Vernetzung von Lernern neue Entwicklungsperspektiven, die letztlich zu einer erweiterten Sichtweise auf die Problematik des computerunterstützten Lernens insgesamt führen können, indem sie über die kognitiven Aspekte individueller Lern- bzw. Problemlöseprozesse hinaus auch soziale Aspekte des gemeinschaftlichen Lernens aus Wissensnetzwerken einbeziehen.

Wesentliche Herausforderungen ergeben sich aus der prinzipiellen Offenheit von WBL-Systemen im Hinblick auf Lehrinhalte und potentielle Nutzergruppen. Bei klassischen ITS stehen i.A. die inhaltliche, formale Struktur der jeweiligen Lerndomäne und die Konzeption einer dazu pas-

senden didaktischen Strategie für die Vermittlung der entsprechenden Lerninhalte in einem engen Zusammenhang. Dies zeigt sich besonders dort, wo Tutorsysteme die Rolle eines menschlichen Lehrers übernehmen, etwa indem sie den Lernerfortschritt auf der Grundlage von Domänen- bzw. Lernprozessmodellen analysieren und durch Abgleich mit einem idealen Plan für die Lösung des betreffenden Lernproblems moderieren (siehe z.B. *LispTutor* [Anderson *et al.*, 1989]). Die Repräsentation der Lehrinhalte und die Komponenten für die benutzerbezogene Lernerunterstützung erscheinen dann nach außen hin als konzeptionell geschlossene Einheit.

Ein System für das WBL hingegen ist meist in Form einer offenen Lernplattform realisiert, die Beiträge unterschiedlicher Autoren miteinander inhaltlich in Beziehung bringt. Das *Data-Mining Tutor*-System (DaMiT) [DaMiT, 2003] z.B. vernetzt Inhalte aus unterschiedlichen Bereichen der Themengebiete „Data-Mining“ und „Knowledge-Discovery“. Einzelne Lernmodule werden hier von etwa einem halben Dutzend verschiedener Hochschulen und industriellen Partnern in Form von Lehrtexten, übungsorientierten Kursmodulen und Demonstrationssoftware erarbeitet und fortlaufend erweitert.

Von einer entwurfsseitigen Unterordnung der Repräsentation der Lehrinhalte unter ein vorab festgelegtes didaktisches Prinzip kann man in diesem Fall nicht mehr sprechen. Vielmehr muss eine Integration heterogener Lehrinhalte nachholend, während der Nutzungszeit des Systems erfolgen. Diese Problemstellung lässt sich zum einen auf der Ebene der Datenformate betrachten. Waren hier frühere WBL-Systeme noch recht beschränkt in ihren Möglichkeiten, Lehrmaterialien dynamisch auf spezifische Lernziele hin zu kombinieren und zu präsentieren (siehe z.B. einen Kurzüberblick über einzelne Lernsysteme in [Huyen-Diep, 2002]), so sind heute in starkem Maße Ansätze aus dem Umfeld der semantischen Datenintegration für die Repräsentation von Lehrangeboten erschlossen worden. Aktuelle Entwicklungen werden hier vom Einsatz präsentationsunabhängiger Datenformate (wie z.B. XML, RDF) in Form von Metadaten-Standards wie etwa *IMS* oder *SCORM* zur domänenunabhängigen Annotation von web-gestützten Lehr-/Lernmaterialien bestimmt ([SCORM, 2002], [IMS, 2001], [Nejdl *et al.*, 2001]).

Ein weiterer Schwerpunkt besteht in der Integration von externen Applikationen in ein WBL-System. Bei diesen Applikationen kann es sich z.B. um interaktive Simulationen oder bereits um eigenständige Komponenten für das Online-Tutoring (siehe z.B. PAT Online Tutor [Ritter, 1997]) handeln.

WBL-Plattformen stellen auch bzgl. der potentiellen Nutzerschaft offene Systeme dar. Dass ein solches System

als Werkzeug für alle Mitglieder einer Lerngruppe innerhalb einer einheitlichen Unterrichtsform verwendet wird, ist eher ein Spezialfall. In der Regel adressieren WBL-Systeme mit ihrem Angebot vereinzelte Lerner mit jeweils unterschiedlichen Lernzielen, Vorkenntnissen und Wissenserwerbsstrategien. So richtet sich das Angebot des bereits angesprochenen DaMiT-Systems zunächst an Interessenten aus der Industrie, die das System nutzen, um das ökonomische Potential des Einsatzes von Data-Mining-Technologie im jeweiligen Geschäftsfeld abzuschätzen und die dazu neben problembezogenem Wissen über die Möglichkeiten und Grenzen entsprechender Verfahren auch einen Überblick über die Fähigkeiten existierender Applikationen benötigen. Weitere Adressaten sind darüberhinaus jedoch auch im akademischen Umfeld zu finden, wo DaMiT im Rahmen von computerunterstützten Lehrveranstaltungen zur Vermittlung von Grundlagenwissen in den Bereichen Data-Mining und Maschinelles Lernen eingesetzt werden soll.

Für viele der frühen ITS ist die Betrachtung des computerunterstützten Lernens als Auseinandersetzung eines einzelnen Lerners mit einem vorgegebenen Lernstoff vorherrschend. Daraus ging unmittelbar der Wunsch nach Techniken für eine Domänen- bzw. Lernermodellierung sowie nach der Delegation relativ komplexer didaktischer Vermittlungsprozesse an entsprechende Tutoring-Komponenten hervor, so etwa in Form von Funktionen für die Problemlöseassistenten. Diese Zielstellung ist im Falle des WBL zunächst etwas in den Hintergrund getreten. Das Interesse richtet sich hier stärker darauf, vereinzelt Lernern Zugangsmöglichkeiten zu einem offenen Korpus von vernetzten, einer steten Weiterentwicklung unterliegenden Lehrinhalten zu verschaffen. Darüberhinaus wird das Problem, auf der Grundlage einer tiefgründigen Modellierung von Lehrinhalten und Lernprozessen eine zielführende didaktische Strategie zur Vermittlung des Lernstoffs zu konstituieren, durch die ausgeprägte Heterogenität der potentiellen Nutzerschaft weiter verschärft. Den Ausgangspunkt für den Entwurf von Lernassistentenfunktionen bildet daher im Falle des WBL weniger die Vermittlung eines für sich stehenden Lerninhalts an einen Standard-Lernertyp. Stattdessen werden insbesondere die Differenzen zwischen Lernern und Lernergruppen als zentrale Anknüpfungspunkte für das Design von Lernassistentenkonzepten wahrgenommen. Diesem Trend folgen unmittelbar WBL-Systeme, die Lehrinhalte und Instruktionen differenziert nach spezifischen Stereotypen von Lernern mit Bezug auf Vorkenntnisse, Aneignungsstrategien (wie etwa „instruktiv“, „beispielorientiert“ usw.) oder Zugehörigkeit zu einer bestimmten Interessentengruppe anbieten (z.B. Chemnitz Internet Grammar [NeMeA, 2001]).

Das Stereotyp-orientierte Design stellt wiederum nur einen Ausschnitt aus einem sehr vielfältigen Repertoire an Techniken dar, die einen Benutzer-angepassten Zugang zu computerisierten Informationen ermöglichen sollen und prinzipiell auch für den Einsatz in WBL-Systemen infrage kommen. Hier sind neben den für Hypertextumgebungen spezifischen Anpassungstechniken (*Adaptive Hypermedia Systems*) [Brusilovsky, 1999], [Brusilovsky, 2001] vor allem Verfahren zum Information-Retrieval und Information Filtering sowie Collaborative Filtering (*Recommender Systems*) [Perugini and Gonçalves, 2002], [Griffith and O’Riordan, 2000], [Huang, 2000] zu nennen, die ihrerseits auf einer Vielzahl unterschiedlicher Verfahren aus den Bereichen Maschinelles Lernen und Wissensrepräsentation

beruhen.

Diese Personalisierungstechniken stellen aber keineswegs die letzte Lösung des Problems der Lernerunterstützung dar, sondern decken vielmehr nur spezifische Teilprobleme wie etwa die gezielte Informationssuche oder das Finden von Kommunikationspartnern ab. Angesichts der Entwicklung von ITS und dem dort erreichten Entwicklungsstand im Hinblick auf eine tiefgründige Lernermodellierung einerseits, und den Perspektiven, die sich aus einer möglichen Vernetzung von Lehrinhalten und Lernern innerhalb von Wissensnetzwerken andererseits ergeben, stellt sich vielmehr die Frage, wie die Potentiale beider Ansätze im Rahmen des WBL miteinander verknüpft werden können.

Der vorliegende Artikel skizziert hierfür zunächst mögliche Ansatzpunkte für die Realisierung von Assistentenfunktionen im Rahmen des WBL. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Verfahren, die einen personalisierten i.S.v. benutzeradaptiven Zugang zu vernetzten Informationsbeständen erleichtern sollen. Ihre Potentiale und Grenzen sollen dazu zunächst zur Diskussion gestellt werden. Motiviert wird die Arbeit durch die These, dass im Gegensatz zur Vorstellung von einer umfassenden Lerneranpassung, die ausgehend von einem monolithischen Lernermodell erfolgt, die Kombination unterschiedlicher Verfahren sowie ihre Skalierbarkeit bzgl. des jeweiligen Anwendungskontext wichtige Voraussetzungen für eine bessere Nutzbarkeit darstellen. Die nachfolgenden Abschnitte schlagen daher ausgehend von einem Überblick über benutzeradaptive Verfahren und deren Grenzen eine erweiterbare verteilte Architektur zur Integration unterschiedlicher Lernermodellierungsfunktionen vor, die es leichter ermöglichen soll, die Nutzbarkeit von Personalisierungstechniken für eine aktive Lernszenario-bezogene Lernerassistenz im Praxiseinsatz zu untersuchen.

3 Benutzerbezogene Lernassistenten für das WBL

3.1 Ansatzpunkte für den Einsatz von Lernassistentenfunktionen im Rahmen des WBL

In diesem Abschnitt sollen mögliche, für das WBL spezifische Ansatzpunkte für den Einsatz von benutzerbezogenen Verfahren für die Lernerunterstützung skizziert werden.

Als Startpunkt hierfür werden WBL-Systeme als offene Hypermediaumgebungen betrachtet, mit deren Hilfe Tutoren und Lerner als soziale Akteure miteinander medial vernetzt werden können. Man kann sie daher auch als Wissensnetzwerke oder „Learning Communities“ in Form von virtuellen sozialen Netzwerken bezeichnen. Als wesentliche Akteure treten hier Lehrer, Lerner und künstliche Assistenten in Erscheinung. Lehrer fungieren als Autoren des eigentlichen Lehrangebots und darüberhinaus als Quellen für Meta-Wissen über Lernprozesse. Ein Lerner ist Adressat von Lerninhalten sowie Partner anderer Akteure (als Ansprechpartner für andere Lerner, als kritischer Lerner o.ä.). Künstliche Assistenten können gespeicherte Informationen schnell für den Nutzer zugänglich machen und stellen darüberhinaus als eine weitere Ressource ihre Rechenleistung zur Verfügung, mit deren Hilfe sie z.B. große Datenmengen filtern, explizit vorgegebene Lernermodelle emulieren oder eigenständig Erklärungsmodelle für wiederkehrende Muster in Lehrinhalten und Nutzungsdaten generieren können.

Ausgehend von dieser Perspektive verändert sich auch die Art und Weise, wie der Zusammenhang zwischen menschlichem Lerner und computerisierten Methoden für die Lernerunterstützung betrachtet wird. Eine Assistenzkomponente tritt dem menschlichen Lerner nicht mehr vornehmlich als ein elaborierter Dialogpartner in dem Sinne gegenüber, dass er Teilaspekte eines menschlichen Tutors idealisiert als geschlossene Einheit nachbildet. Vielmehr handelt es sich bei Assistenzfunktionen ebenfalls um im Netzwerk verteilte Ressourcen (siehe auch [Dolog and Nejd, 2003]), die spezifische Dienste anbieten und nach einem „mixed-initiative“-Prinzip in Teilprozesse des individuellen Wissenserwerbs wie etwa die Suche nach relevanten Lerninhalten bzw. Ansprechpartnern oder die Unterstützung bei der Problemlösung eingreifen. Ein Lerner delegiert dann nicht mehr komplette Teilaspekte des Lernens an einen einzigen künstlichen Tutor, sondern nutzt die innerhalb des Wissensnetzwerks verfügbaren Dienste, je nach aktuellem Anwendungszweck.

Ausgehend von dieser Sichtweise lassen sich mögliche Ansatzpunkte für den Einsatz von Techniken für die benutzerbezogene Erschließung von Lernumgebungen skizzieren, die im folgenden grob nach Anforderungsbereichen gegliedert sind.

1. medialer Zugang zu den eigentlichen Inhalten

Die Betonung liegt im Falle des WBL darauf, dass die Kompetenz von Lehrern, was ihr Domänenwissen sowie Meta-Wissen über Lernprozesse angeht, nicht nur auf einem einzigen, sondern auf möglichst vielfältigen Wegen in das Lernsystem einfließen. Lehrinhalte stehen nicht für sich allein, sondern werden seitens der Autoren fortlaufend weiterentwickelt werden darüberhinaus vom Lerner je nach dem aktuellen Lernziel ständig neu rekontextualisiert. Die Möglichkeit, Lehrinhalte unter Einbeziehung von Meta-Wissen flexibel strukturieren zu können, stellt dafür eine wesentliche Voraussetzung dar. Wünschenswert ist darüberhinaus, dass ein Lernsystem verschiedene Zugangsmöglichkeiten für die aktive Moderation von Lernprozessen durch Kommunikation im Rahmen von kollaborativen Szenarien zwischen Lehrern und Lernern bzw. zwischen Lernern untereinander erlaubt. Die bereits einleitend erwähnten Techniken im Umfeld der „semantischen Datenintegration“ bieten hier gute Ansatzpunkte, um Bestände von Lehrinhalten zweckspezifisch dynamisch zu reorganisieren und für eine benutzerbezogene Informationsrecherche zu erschließen. Desweiteren bietet sich der Einsatz von benutzeradaptiven Techniken zumindest experimentell überall dort an, wo das Meta-Wissen eines Lehrers über ein bestimmtes Lernproblem aufgrund der Komplexität der Lösung nicht mehr konsistent in einem expliziten Modell beschrieben werden kann.

2. Orientierung in der Lernumgebung als medialer Raum

Da WBL-Systeme komplexe Informationsnetzwerke darstellen, ist auch mit dem Auftreten von Problemen zu rechnen, wie sie bereits im Zusammenhang mit dem Wissenserwerb aus Hypertextumgebungen bekannt sind. Vor allem Probleme des Orientierungsverlustes wurden dabei mehrfach als kritisch identifiziert („lost in hyperspace“, siehe z.B. [Naumann *et al.*, 2001]). Benutzeradaptive Techniken sind hier geeignet um den Lernern unter dem Stichwort Orientierungshilfen bei der Exploration komplexer Wissensnetzwerke zu geben (siehe z.B. die unter dem Stichwort „content awareness“ zusammengefassten Assistenzfunktionen bei [Furugori *et al.*, 2002]). Der Zugang zu

Informationen ist dabei nicht auf einzelne deskriptive inhaltliche Anfragen beschränkt, sondern sollte kontextspezifisch d.h. z.B. History-basiert möglich sein [Wexelblat, 1998] und auch Techniken des Information Filtering beinhalten.

Innerhalb gemeinschaftlich genutzter Wissensnetzwerke ergeben sich Möglichkeiten, auch die Ziele, Kompetenzen und Aktivitäten anderer Nutzer als Informationsquellen zu erschließen und an den einzelnen Lerner zu vermitteln („collaboration awareness“ [Furugori *et al.*, 2002]). Von Interesse sind hierbei vor allem Verfahren des Collaborative Filtering, die im Rahmen von an Gebrauchsmustern orientierten Zugangsverfahren zu Informationen oder in Form von „Match-Making“-Funktionen zum Finden kompetenter Ansprechpartner eine Rolle spielen.

3. Mechanismen zur Selbststeuerung des Lernprozesses

Auch die Verläufe und Zwischenresultate individueller Wissenserwerbsprozesse stellen Informationsquellen für Assistenzfunktionen dar, mit deren Hilfe ein Lerner über seinen persönlichen Lernstil reflektieren kann und deren Erschließung die Selbstmotivation zur Ausprägung eines individuellen, zielführenden Lernstils fördern.

4. Lernszenario- bzw. Task-bezogene Unterstützung

Ein Lerner sollte von einem WBL-System wohl nicht erwarten, dass dieses ihn umfassend modellieren und ihm daraufhin Entscheidungen über nächste Lernschritte vollständig abnehmen kann in dem Sinne, dass es faktisch die Rolle eines Tutors übernimmt. Zielstellung sollte es stattdessen sein, stärker auf die Assistenz bei konkreten Lerner-Tasks im Rahmen eines mixed-initiative-Ansatzes der Lernerunterstützung zu fokussieren. Anstelle einer in der Praxis eher zweifelhaft erscheinenden vollständigen Delegation menschlicher Aufgaben bei der Steuerung von Lernprozessen aufgrund von Meta-Wissen liegt hier der Schwerpunkt darauf, den menschlichen Stärken bei der konstruktiven Selbststeuerung von Lernprozessen den nötigen Spielraum zu lassen und die Stärken des Computers konsequenter dafür zu nutzen, dem Lerner vielfältig anpassbare Assistenzfunktionen anzubieten, mit deren Hilfe er selbständig aus einer konkreten Lernsituation heraus seinen Lernprozess aktiv weitergestalten kann.

Hier kann es sich um vielfältige Assistenzfunktionen handeln, die innerhalb eines flexiblen erweiterbaren Konzepts zweckspezifisch differenziert und im Sinne eines „Best-Practice“-Ansatzes kombiniert werden sollten.

3.2 Benutzeradaptive Techniken: ein kurzer Überblick

Als Ziel *Benutzer-adaptiver Techniken* stellt sich im weitesten Sinne, wiederkehrende Muster innerhalb der Nutzungsdaten eines Systems, die erst im Laufe von dessen Lebenszeit verfügbar sind, für eine personalisierte Steuerung von Prozessen der Informationserschließung aufzugreifen, um damit eine quasi selbstgesteuerte Weiterentwicklung des Systemverhaltens über die eigentliche Designphase hinaus zu erzielen. Derartige Hintergrund-Daten können zunächst überall dort erhoben werden, wo Nutzer ihre Interessen und Präferenzen explizit äußern. Deskriptive Suchanfragen, Bookmarks oder Kommentare zum inhaltlichen Wert eines bestimmten Informationsangebots stellen dafür brauchbare Datenquellen dar. Darüberhinaus werden unterschiedliche Ansätze aus dem Bereich des Maschinellen Lernens eingesetzt, um aus der Inhaltsstruktur und wiederkehrenden Gebrauchsmustern von Dokumenten sowie aus den Interaktionshistorien von Benutzern auch im-

plizite Präferenzen abzuleiten. Der aktuelle Stand der Forschung bietet dazu vielfältige Verfahren. Weit verbreitet sind Techniken des *content-based Information Retrieval*, bei denen die deskriptive Beschreibung von Dokumenten in Form von Kontextvektoren erfolgt (zum Vector Space Model siehe z.B. [Baeza-Yates and Ribeiro-Neto, 1999]), um damit Dokumentenähnlichkeiten zu repräsentieren. Diese Informationen können nicht nur für die gezielte Informationssuche genutzt werden, sondern auch für das *Information Filtering* d.h. die Identifizierung relevanter Inhalte, ausgehend von einem kontinuierlich über längere Zeit erhobenen Profil des jeweiligen Nutzers [Griffith and O’Riordan, 2000]. So wird z.B. im Lernerassistenzsystem *PIVoT (Physics Interactive Video Tutor)* [Niemczyk, 2003] aus vorangegangenen Navigationspfaden das Nutzerinteresse in Form eines Stichwortvektors extrahiert, um daraus fortlaufend Vorschläge für relevante Lerninhalte zu generieren. Solche syntax-basierten Dokument-Deskriptoren stellen nicht die einzige Datenquelle für adaptive Verfahren dar. So wird etwa in [Henze and Nejdil, 2002] ein Konzept vorgestellt, bei dem zur Filterung in Metadaten zur Beschreibung von *Learning Objects* enthaltene Topic-Informationen herangezogen werden.

Besondere Bedeutung haben darüberhinaus Verfahren zum *Collaborative Filtering* (siehe z.B. [Perugini and Gonçalves, 2002]) erlangt, die explizit oder implizit erhobene Ratings anderer Nutzer verwenden, um Vorschläge für relevante Inhalte zu generieren. *GroupLens* als Beispiel für solche *Recommender Systems* filtert interessante NetNews-Artikel auf der Grundlage der Bewertungen anderer Nutzer heraus [Resnick *et al.*, 1994]. *SiteSeer* wiederum analysiert die Bookmarks anderer Benutzer, um relevante Dokumente zu identifizieren [Rucker and Polanco, 1997].

3.3 Grenzen von benutzeradaptiven Techniken

Die im vorherigen Abschnitt benannten Techniken spiegeln einen Ausschnitt aus einem relativ umfangreichen Repertoire an benutzeradaptiven Verfahren wieder, die zunächst einmal die Analyse eines breiten Spektrums unterschiedlicher Arten von Nutzungsdaten erlauben. Unter welchen konkreten Bedingungen der Einsatz benutzeradaptiver Techniken tatsächlich etwas zur besseren Nutzbarkeit des betreffenden Systems beiträgt, ist jedoch nach wie vor eine weitgehend offene Frage. Einerseits zeigen verschiedene Untersuchungen, dass die Einbeziehung dieser Verfahren den Einarbeitungs- und Interaktionsaufwand seitens des Nutzers deutlich verringern und ein entsprechendes System damit im Vergleich zu klassischen Benutzeroberflächen insbesondere für neue Nutzer leichter zugänglich machen kann (z.B. [Kim and Carroll, 2002]). Andererseits sind auch die Grenzen von adaptiven Ansätzen sichtbar geworden, vor allem, was die Möglichkeit angeht, das Verhalten des Lerners innerhalb eines monolithischen Modells zu erfassen, das sehr viele Aspekte des Lernerverhaltens umfassend und gleichzeitig so tiefgründig beschreiben soll, wie es im Falle der explizit entworfenen Lernermodelle in einigen ITS möglich ist. So zeigt etwa die Evaluation adaptiver Benutzeroberflächen in [Hoyle and Lueg, 1997], dass Nutzer stets komplexe situative Entscheidungen treffen, die von Adaptionstechniken stets nur partiell erfasst und nur innerhalb enger Grenzen konsistent erklärt werden können. Betreffen zwangsläufig auftretende Fehlentscheidungen das Verhalten des Systems in unterschiedlichen Bereichen der Interaktion, so führt dies auf Seiten des Nutzers schnell zu einem Verlust des Vertrauens in die

Fähigkeiten der personalisierten Komponenten insgesamt. Daher fordern die Autoren: „... (to create) agents which provide active support for the task at hand without attempting to reinvent the wheel - or the user“. Die Re-Evaluation von Lernsystemen in [Höök and Svensson, 1999] zeigt zudem, wie positive Effekte von adaptiven Assistenzfunktionen für das Lernen dadurch herabgesetzt werden, dass sie durch ihre Aktivität mit anderen Interaktionstasks in Konflikt geraten. In obiger Studie ist es z.B. eine „Adaptive Navigation Support“-Funktion, die die Aneignung der Struktur von Hypertextumgebungen seitens des Nutzers auf der Grundlage seines räumlichen Gedächtnisses unterdrücken und damit die Orientierung eher erschweren kann.

Vor diesem Hintergrund sollten die Fähigkeiten von benutzeradaptiven Techniken jenseits der klassischen Vorstellung von einer möglichst umfassenden Abbildung des Nutzers in einem komplexen Modell neu bewertet werden. Insbesondere ergeben sich für die hier vorgestellte Arbeit zwei Folgerungen:

1. Eine umfassende Lernermodellierung auf der Grundlage eines monolithischen Lernermodells ist wenig aussichtsreich. Stattdessen sollte das Augenmerk stärker auf die Unterstützung spezifischer Nutzertasks durch Kombination unterschiedlicher Verfahren im Sinne eines „Best-Practice“-Ansatzes, ausgehend von einer erweiterbaren Architektur des Assistenzsystems gerichtet werden.

2. Benutzeradaptive Techniken können dort vorteilhaft sein, wo es darum geht, den Lernern Orientierungshilfe bei der Exploration komplexer Wissensnetzwerke zu geben. Die möglichen Potentiale entsprechender Verfahren sollten dazu ausgehend von einer Analyse der konkreten Lernsituation und der daran beteiligten Interaktionsaufgaben betrachtet werden.

Die nachfolgenden Abschnitte sollen diesen Folgerungen Rechnung tragen. Dazu wird zunächst das Konzept für ein Lernerassistenzsystem vorgestellt, das nicht auf einen „One-fits-All“-Ansatz abzielt, sondern auf die Analyse einzelner Verfahren in Bezug auf mögliche Anwendungszwecke und ihre Integration in ein erweiterbares Assistenzsystem. Anschließend wird anhand eines Lernszenarios innerhalb des DaMiT-Systems dargestellt, auf welche Weise dort benutzeradaptive Funktionen zum Einsatz kommen können.

4 Personalisierte Lernerassistenz auf der Grundlage aktiver, verteilter Lernermodellierung

4.1 Aktive, verteilte Lernermodellierung

Unter dem Begriff „*Active Learner Modelling*“ [McCalla *et al.*, 2000] werden aktuelle Ansätze zur Lernermodellierung zusammengefasst, bei denen die Unterstützungsfunktion durch Kombination mehrerer Lernermodelle realisiert wird, von denen jedes einzelne mit seinem Ein-/Ausgabeverhalten nur einen kleinen Ausschnitt aus den Kontextinformationen abdeckt, die für die Entscheidung für einen bestimmten Lernschritt bzw. -inhalt relevant sind. Man kann daher hier auch von „*Purpose-Based Learner Modelling*“ [Niu, 2002] sprechen i.S.v. von Anwendungskontext- bzw. Lernaufgaben-spezifischen Lernermodellen, die nicht mehr als ein ausschnittthaftes und angenähertes Abbild des Lerners selbst verstanden werden, sondern einfach als Funktionen, die aus einem spezifischen Satz von Nutzungsdaten eine spezifische Aussage, etwa über die Relevanz von Inhalten in Bezug auf ein

Lernziel oder über die Ähnlichkeit zweier Lerner bzgl. ihres Wissensstandes in einem bestimmten inhaltlichen Bereich generieren können.

Das Resultat einer Lernermodellierungs-Funktion kann dann in einen spezifischen Gebrauchskontext innerhalb des Systems gebracht werden, so etwa durch Verknüpfung mit einer Funktion für das Information Filtering, die eine Liste relevantester Lehrinhalte anbietet, oder mit einer Match-Making-Funktion, die den Lerner auf andere Nutzer hinweist, die als mögliche Ansprechpartner bei der Lösung der momentanen Lernaufgabe infrage kommen.

Lernermodelle und Nutzerdaten müssen dabei nicht ausschließlich serverseitig realisiert sein, sondern liegen u.U. klientenseitig vor. Damit richtet sich bei der Entwicklung von Nutzermodellen das Augenmerk zunehmend auf die Problematik der Integration heterogener Lernerdaten und zweckspezifisch skalierbarer Lernermodelle.

4.2 Architektur des Lernerassistenzsystems

Abbildung 1 zeigt ein Architekturkonzept die Realisierung von Komponenten zur aktiven, verteilten Lernerunterstützung am Beispiel des bereits angesprochenen DaMiT-Systems.

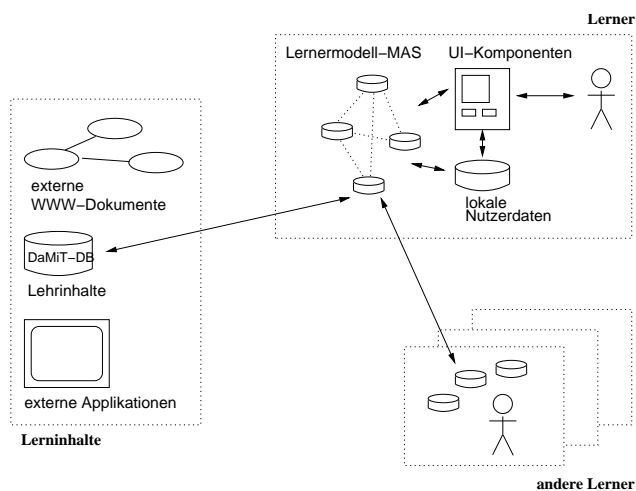


Abbildung 1: Verteiltes Lernerassistenzkonzept für DaMiT

Das Lehrangebot von DaMiT umfasst Lehrtexte, Beispiele, Demonstrationsvideos und -Applets sowie teilweise offene, Übungsaufgaben zu unterschiedlichen Gebieten des Data-Mining und Knowledge-Discovery. Diese umfassen inhaltlich neben Grundlagenwissen zur statistischen Lerntheorie und zu Verfahren des Maschinellen Lernens auch konkrete Algorithmen sowie Fallbeispiele und Demo-Applikationen. Die Lerninhalte des DaMiT-Systems werden dabei von einem zentralen Server zur Verfügung gestellt. Darüberhinaus sollen künftig auch externe Webdokumente sowie entfernte Applikationen wie z.B. ein Data-Mining-Tool integrierbar sein, um interaktive Lernszenarien zu realisieren.

Auf seiten der Klienten stehen Komponenten für die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) zur Verfügung, die die Präsentation von Lerninhalten erlauben. Dabei wird es sich neben dem üblichen Standard-Webbrowser auch um ein Tool auf der Basis des bei uns in der Entwicklung befindlichen Prototypen „VisualWeb“ handeln, mit dessen Hilfe die Interaktionsgeschichte des Nutzers und

andere Nutzerprofilen sowie Resultate von personalisierten Assistenzfunktionen visualisiert und dynamisch manipuliert werden können. Zugleich zeichnen MMI-Komponenten Nutzerdaten wie z.B. Navigationspfade oder explizite Rückmeldungen des Nutzers auf die Aktionen des Assistenzsystems auf.

Die Speicherung nutzerspezifischer Daten wird für experimentelle Zwecke über die bisherige zentrale Speicherung hinaus auch Klienten-seitig erfolgen. Dabei soll vorrangig untersucht werden, inwieweit ein schrittweiser dynamischer Aufbau des Assistenzsystems durch die Integration von relativ lose gekoppelten Komponenten realisiert werden kann. Voraussetzung ist u.a. eine über die ad-hoc-Repräsentation von Nutzerdaten hinausgehende datenbankseitige Integration heterogener Nutzerprofil-Formate, die von verschiedenen benutzeradaptiven Funktionen gemeinsam genutzt werden können. Einen Ausgangspunkt hierfür bietet die Nutzung bestehender Standards für die Lernermodellierung wie z.B. *PAPI* [IEEE, 2000] oder *IMS LIPS* [IMS, 2002] darstellen (siehe z.B. [Dolog and Nejd, 2003] oder auch [Niemczyk, 2003], [Heckmann, 2002] für verschiedene Konzepte).

Die über diesen Nutzerdaten operierenden benutzeradaptiven Funktionen für die Lernerunterstützung sollen mithilfe von agentenorientierten Konzepten realisiert werden, wobei sich die Bezeichnung „agentenorientiert“ auf unterschiedliche Aspekte bezieht.

So stellen adaptive Funktionen eigenständige Komponenten dar, die zur Laufzeit zu einem bestehenden System hinzugefügt werden können. Jede adaptive Funktion verarbeitet eine spezifische Art von Nutzerdaten und nutzt dazu in der Regel die personalisierten, auf dem Klientenrechner lokal verfügbaren Nutzerprofile, kann darüberhinaus aber auch selbständig den zentralen Server oder andere Klienten auf der Suche nach benötigten Daten kontaktieren. Eine einzelne Lernermodellierungsfunktion sollte im Idealfall ihre jeweiligen Interaktionskomponenten zur Erhebung der von ihr benötigten Nutzerdaten in das bestehende System integrieren können. Dabei kann es sich etwa um eine Dialogkomponente für die Abfrage des Nutzers nach dessen Kenntnissen und Vorlieben handeln oder um eine Browsererweiterung, die Navigationspfade aufzeichnet.

Aus Sicht des Nutzers treten Lernermodelle als Lernaufgaben- bzw. -situationsspezifische Assistenzfunktionen in Erscheinung, die entweder rein passiv auf direkte Anfragen reagieren oder pro-aktiv während eines Szenarios im Hintergrund fortwährend den Nutzerzustand mitverfolgen und Vorschläge generieren. Sie nutzen dabei die Datenschnittstelle der „VisualWeb“-basierten MMI-Komponente, um ihre Resultate zu visualisieren.

Der Entwurf der benutzeradaptiven Funktionen erfolgt dazu ausgehend von einer Analyse einzelner Lern- und Interaktionsaufgaben aus Nutzersicht und von ihrer Einordnung in eine Task-Taxonomie, wofür die jeweils nötigen Eingabedaten, die Resultat-Items sowie der mögliche Anwendungskontext zu spezifizieren sind. In der Literatur finden sich unterschiedliche, aus einem szenario-orientierten Design heraus entstandene, task-spezifische Kategorisierungen von Assistenzfunktionen. Beispielsweise wird in [McCalla et al., 2000] zwischen *Reflection*, *Validation*, *Matchmaking* als unterschiedlichen funktionalen Lernermodell-Kategorien unterschieden.

Desweiteren von Bedeutung ist die Möglichkeit, einzelne Assistenzfunktionen abstrakt im Sinne von organisationalen Beziehungen innerhalb eines Multi-Agentensystems

(MAS) (siehe z.B. [Ferber, 1999]) miteinander zu verknüpfen. Bisher spielen Techniken zur dynamischen Kombination mehrerer adaptiver Funktionen mit dem Ziel einer besseren Modellierungsleistung im Rahmen von hybriden Recommender Systems eine Rolle (z.B. [Good *et al.*, 1999]). Auf der Grundlage eines solchen Ansatzes kann untersucht werden, inwieweit Probleme einzelner Lernermodelle (wie etwa das Kaltstartproblem bei Verfahren des Collaborative Filtering) vermindert und darüberhinaus Assistenzfunktionen auf die Unterstützung einer konkreten Task hin spezialisiert werden können. Vorstellbar ist z.B., dass Assistenzfunktionen innerhalb einer egalitären Ordnung um die Aufmerksamkeit der Nutzer konkurrieren und je nach ihrer Akzeptanz seitens der Nutzer an Reputation gewinnen bzw. verlieren. Die Autoren von [Mudgal and Vassileva, 2000] demonstrieren einen ähnlichen Ansatz für eine dynamische „Learning Economy“ von Lehr-Ressourcen, der auf einem Verhandlungsmodell zwischen personalisierten Lernerassistenten beruht. Das Design des Assistenzsystems aus der Perspektive von MAS heraus stellt somit möglicherweise eine aussichtsreiche Perspektive für die Adaption des Gesamtsystems auf der Makro-Ebene lose gekoppelter Modellierungsfunktionen dar.

4.3 Ein mögliches Lernszenario

Wie bereits angesprochen, können benutzeradaptive Funktionen kaum einen Ersatz für ein tiefgründiges domänen-spezifisches Lernermodell darstellen. Sie sind stattdessen vor allem dazu geeignet, die Orientierung des Nutzers in gemeinschaftlich genutzten Informationsnetzen zu erleichtern. Für eine Anwendung dieser Verfahren sind daher vor allem offene Lernprobleme interessant. Deren didaktisches Ziel besteht nicht im Finden der einzig optimalen Lösung, sondern dient letztlich der Vermittlung von Fähigkeiten zur selbständigen konstruktiven Koordination komplexer Problemlöseprozesse. Das individuelle Lernen erscheint hier als ein konstruktiver, in den Hintergrund virtueller sozialer Netzwerke eingebetteter explorativer Prozess, der sich eine Vielzahl von Informationen zunutze macht, die von anderen Lernern, Lehrern und künstliche Assistenten im Verlaufe ihrer rollenspezifischen Aktivitäten hervorgebracht werden. Ein solches Lernszenario im Rahmen des WBL-Systems DaMiT soll als Beispiel für die mögliche Anwendung von benutzeradaptiven Assistenzfunktionen dienen. Gegenstand der betrachteten Lernaufgabe ist das konstruktive Erstellen von Klassifikationsmodellen. Dabei soll ein Lerner aus einer gegebenen Menge von Trainingsdatensätzen mithilfe vorgegebener Lernverfahren (wie etwa *Decision-Tree-Learning*) induktiv ein Vorhersagemodell konstruieren, das auf unbekanntem Testdatensätzen validiert wird. Dazu steht ihm ein Data-Mining-Tool zur Verfügung, mit dem er interaktiv arbeiten kann.

Die Übungsaufgabe ist offen in dem Sinne, dass ein idealer Lösungsweg im Regelfall nicht angegeben werden kann. Die Qualität des generierten Vorhersagemodells hängt vielmehr von der sinnvollen Koordination vieler Konstruktionsschritte ab. Dazu gehören Datenvorverarbeitung, die Auswahl geeigneter Verfahren und ihrer Anwendungsparameter sowie Methoden zur Analyse, Validierung und iterativen Verfeinerung von Zwischenresultaten. Für eine gute Lösung ist neben einem unterschiedlich tiefen Grundlagenwissen aus verschiedenen Bereichen des DaMiT-Lehrangebots auch implizites Erfahrungswissen nötig. Die Lernaufgabe bietet verschiedene Ansatzpunkte für den

Einsatz benutzeradaptiver Funktionen. So ist denkbar, dass eine Assistenzfunktion das Resultat des Lerners online mit anderen Lösungen vergleicht und damit eine Rückmeldung über den Wissensstand des Lerners ermöglicht. Daran anknüpfend könnte eine Match-Making-Funktion auf Lerner mit besseren Resultaten und auf Unterschiede bzgl. ihrer Vorkenntnisse bzw. Lernhistorie zu der des betreffenden Lerners hinweisen. Die Analyse solcher Unterschiede macht es möglicherweise für den individuellen Lerner leichter, Wissenslücken zu erkennen und diese zielgerichtet zu schließen. Zu diesem Zweck sollen ihm Assistenzfunktionen zur Seite stehen, die entsprechende Vorschläge für Lerninhalte nach dem Motto „andere Lerner, die diese Problemstellung erfolgreich lösten, haben im Unterschied zu Ihnen vorher folgende Lernmodule absolviert...“ generieren. Auch die Meta-Daten-Annotationen von Lerninhalten bzgl. ihrer inhaltlichen didaktischen Einbettung in die Struktur des Lernangebots vorliegt, können für Assistenzfunktionen herangezogen werden. Diese können dann z.B. auf spezifische Vorkenntnisse hinweisen, die für die Lösung eines Lernproblems nötig sind, oder dem Lerner Orientierungshilfe dahingehend bieten, welche Lehrinhalte zum Grundlagenwissen gehören und welche eher dazu dienen, problemspezifisch vertieftes Wissen zu vermitteln.

Zur Realisierung dieses Anwendungsszenarios ist die prototypische Integration eines bestehenden Data-Mining-Tools als Webkomponente geplant (siehe z.B. *PrudSys Discoverer*® [prudSys AG, 2002] oder *Xelopes* [xelopes, 2003]). Dies erlaubt eine Aufzeichnung der Konstruktionsschritte, die die einzelnen Lerner zur Erzeugung von Klassifikationsmodellen unternehmen. Die Integration dieser Daten soll dann im weiteren als Grundlage für Untersuchungen zu der Frage dienen, inwieweit benutzeradaptive Techniken auch für die Unterstützung gemeinschaftlicher Problemlöseprozesse eingesetzt werden können.

5 Zusammenfassung

In diesem Artikel wurden ausgehend von den spezifischen Anforderungen des WBL mögliche Ansatzpunkte für den Einsatz benutzeradaptiver Verfahren im Rahmen von LernerAssistenzfunktionen dargelegt. Den Ausgangspunkt dafür bildete die Betrachtung von WBL-Systemen als gemeinschaftlich genutzte Wissensnetzwerke. Daran anknüpfend wurden Potentiale und Grenzen von Personalisierungstechniken für die Erschließung derartiger vernetzter Informationsbestände zur Diskussion gestellt. Als Folgerungen ergaben sich dabei, dass deren Vorteile weniger in Form einer umfassenden Lernermodellierung, sondern vielmehr durch Kombination unterschiedlicher Techniken für die Unterstützung spezifischer Teilprobleme im Rahmen eines szenario- bzw. aufgabenorientierten Designs zum Tragen kommen. Für die praktische Realisierung dieses Ansatzes wurde das Konzept einer verteilten und erweiterbaren Architektur für die Realisierung entsprechender Assistenztechniken vorgestellt. Der Artikel schließt mit der Darstellung eines Lernszenarios, das den experimentellen Rahmen für einen aufgabenbezogenen Einsatz von benutzeradaptiven Assistenzfunktionen bilden kann. Darauf aufbauend soll anhand einer Evaluationsstudie untersucht werden, in welchem Maße ein solcher Ansatz, auch im Vergleich zur klassischen monolithischen Lernermodellierung, durch die Nutzer akzeptiert und für die Ausprägung effektiver Aneignungsstrategien erschlossen wird.

Literatur

- [Anderson *et al.*, 1989] J. R. Anderson, F. G. Conrad, and A. T. Cornett. Skill acquisition and the Lisp Tutor. *Cognitive Science*, 13:467–505, 1989.
- [Baeza-Yates and Ribeiro-Neto, 1999] R. Baeza-Yates and B. Ribeiro-Neto. *Modern Information Retrieval*. Addison-Wesley, 1999.
- [Brusilovsky, 1999] Peter Brusilovsky. Adaptive and intelligent technologies for web-based education. *Künstliche Intelligenz, Special Issue on Intelligent Systems and Teleaching*, 4:19–25, 1999.
- [Brusilovsky, 2001] Peter Brusilovsky. Adaptive hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11:87–110, 2001.
- [DaMiT, 2003] DaMiT. Webseite des DaMiT-Projekts. <http://damit.dfki.de>, 2003.
- [Dolog and Nejd, 2003] Peter Dolog and Wolfgang Nejd. Challenges and benefits of the semantic web for user modelling. In *Proceedings of the Workshop on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH 2003)*, May 2003.
- [Ferber, 1999] Jacques Ferber. *Multi-Agent Systems. An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, 1999.
- [Furugori *et al.*, 2002] Nobuko Furugori, Hirota Sato, Hiroaki Ogata, Yoji Ochi, and Yoneo Yano. COALE: Collaborative and Adaptive Learning Environment. In *CSCW'02*. Boulder, USA, January 2002.
- [Good *et al.*, 1999] Nathaniel Good, J. Ben Schafer, Joseph A. Konstan, Al Borchers, Badrul M. Sarwar, Jonathan L. Herlocker, and John Riedl. Combining collaborative filtering with personal agents for better recommendations. In *AAAI/IAAI*, pages 439–446, 1999.
- [Griffith and O’Riordan, 2000] Josephine Griffith and Colm O’Riordan. Collaborative filtering. Technical report, NUIG-IT-160900, Department of Information Technology, National University of Ireland, Galway, September 2000.
- [Heckmann, 2002] D. Heckmann. Proposal for a User Modeling Markup Language. In *ABIS-Workshop 2002: Personalization for the mobile World*, „LLA02: Learning - Teaching - Adaptivity“, Hannover, Germany, October 2002.
- [Henze and Nejd, 2002] Nicola Henze and Wolfgang Nejd. Knowledge modeling for open adaptive hypermedia. In *2nd International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web Based Systems, May 29-31, 2002, Malaga, Spain*, March 2002.
- [Höök and Svensson, 1999] Kristina Höök and Martin Svensson. Evaluating adaptive navigation support. In Alan J. Munro, Kristina Höök, and David Benyon, editors, *Social Navigation of Information Space*, pages 237–249. Springer Verlag, London, 1999.
- [Hoyle and Lueg, 1997] Michelle A. Hoyle and Christopher Lueg. Open Sesame! A Look at Personal Assistants. In *Proceedings of the International Conference on the Practical Application on Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (PAAM 97)*, pages 51–60. London, April 1997.
- [Huang, 2000] Lan Huang. A survey on web information retrieval technologies. Technical report, Department of Computer Science, State University of New York, February 2000.
- [Huyen-Diep, 2002] Nguyen-Thi Huyen-Diep. Konzeption eines multimedialen Lernsystems unter Verwendung eines semistrukturierten Datenbanksystems. Master’s thesis, Technische Universität Chemnitz, March 2002.
- [IEEE, 2000] IEEE. IEEE P1484.2/D7, 2000-11-28. Draft Standard for Learning Technology. Public and Private Information (PAPI) for Learners (PAPI Learner). <http://ltsc.ieee.org/wg2/>, November 2000.
- [IMS, 2001] IMS. IMS Learning Resource Meta-Data Information Model Version 1.2.1 Final Specification. http://www.imsproject.org/metadata/imsmdv1p2p1/-imsmd_infov1p2p1.html, September 2001.
- [IMS, 2002] IMS. IMS Learner Information Package Specification. <http://www.imsproject.org/profiles/index.cfm>, 2002.
- [Kim and Carroll, 2002] Kibum Kim and John M. Carroll. An empirical study of web personalization assistants: Supporting end-users in web information systems. In *2002 IEEE Symposium on Human Centric Computing Languages and Environments*. Arlington, USA, September 2002.
- [McCalla *et al.*, 2000] Gordon McCalla, Julita Vassileva, Jim Greer, and Susan Bull. Active Learner Modelling. In Gilles Gauthier, Claude Frasson, and Kurt VanLehn, editors, *Intelligent Tutoring Systems 2000, Lect. Notes in Computer Science 1839*, pages 53–58. Springer Verlag, June 2000.
- [Mudgal and Vassileva, 2000] Chhaya Mudgal and Julita Vassileva. Multi-Agent Negotiation to Support an Economy for Online Help and Tutoring. In Gilles Gauthier, Claude Frasson, and Kurt VanLehn, editors, *Intelligent Tutoring Systems 2000, Lect. Notes in Computer Science 1839*, pages 83–92. Springer Verlag, June 2000.
- [Naumann *et al.*, 2001] A. Naumann, J. Waniek, and J.F. Kreams. Knowledge acquisition, navigation and eye movements from text and hypertext. In U.D. Reips and M. Bosnjak, editors, *Dimensions of Internet Science*, pages 293–304, 2001.
- [Nejd *et al.*, 2001] W. Nejd, B Wolf, Ch. Qu, S Decker, M Sintek, A. Naeve, M Nilsson, M Palmér, and T. Risch. EDUTELLA: A P2P Networking Infrastructure Based on RDF. <http://edutella.jxta.org/reports/edutella-whitepaper.pdf>, November 2001.
- [NeMeA, 2001] NeMeA. Learner Behaviour on the Internet: The Internet Grammar of English. <http://www.tu-chemnitz.de/phil/InternetGrammar/>, 2001.
- [Niemczyk, 2003] Stefan Niemczyk. *An Adaptive Domain-Independent Agents-Based Tutor for Web-Based Supplemental Learning Environments*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, February 2003.
- [Niu, 2002] Xiaolin Niu. Purpose-based learner modeling. In *Proceedings of the 2001-2002 Graduate Symposium, CS Dept., University of Saskatchewan, Canada*, April 2002.

- [Perugini and Gonçalves, 2002] Saverio Perugini and Marcos André Gonçalves. Recommendation and personalization: A survey. *Journal of Intelligent Information Systems*, May 2002.
- [prudSys AG, 2002] prudSys AG.
<http://www.prudsys.com/Produkte/Softwarepakete/-Discoverer/>, 2002.
- [Resnick *et al.*, 1994] Paul Resnick, Neophytos Iacovou, Mitesh Suchak, Peter Bergstrom, and John Riedl. GroupLens: An Open Architecture for Collaborative Filtering of Netnews. In *Proceedings of ACM 1994 Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pages 175–186. Chapel Hill, NC, 1994.
- [Ritter, 1997] Steven Ritter. PAT Online: A Model-tracing tutor on the World-wide Web. In *Proceedings of the Workshop „Intelligent Educational Systems on the World Wide Web“, 8th World Conference of the AIED Society, Kobe, Japan, August 1997*.
- [Rucker and Polanco, 1997] James Rucker and Marcos J. Polanco. SiteSeer: Personalized navigation for the web. *Communications of ACM*, 40(3):73–75, March 1997.
- [SCORM, 2002] SCORM. Advanced distribution learning network. sharable content object reference model (scorm). <http://www.adlnet.org/Scorm/scorm.cfm>, 2002.
- [Wexelblat, 1998] Alan Wexelblat. History-rich tools for social navigation. In *CHI'98 Summary, ACM Press*, 1998.
- [xelopes, 2003] XELOPES Bibliothek.
<http://www.xelopes.de>, 2003.