

Das E-Chalk System:
Stand der Entwicklung

Gerald Friedland
Lars Knipping
Raúl Rojas
Ernesto Tapia

11. Februar 2003

Zusammenfassung

Jetzt ist die Kreide elektronisch. Mit einem speziellen Stift arbeitet der Vortragende an dem projizierten Tafelbild. E-Chalk ermöglicht es, den Vortrag in das Internet zu stellen, von wo er mit einem Browser jederzeit abgespielt werden kann. Zusätzlich zu den normalen Zeichenfunktionen können in die Tafel auch Bilder aus dem Internet eingefügt werden. Der Dozent hat einen algebraischen Server zur Verfügung, der über eine Handschrifterkennung Formeln auswertet oder Funktionen zeichnet. Der Zuschauer im Internet kann den gesamten Ablauf der Vorlesung verfolgen: Er empfängt den Ton, die Entstehung des Tafelbildes, sowie optional ein kleines Videobild des Dozenten.

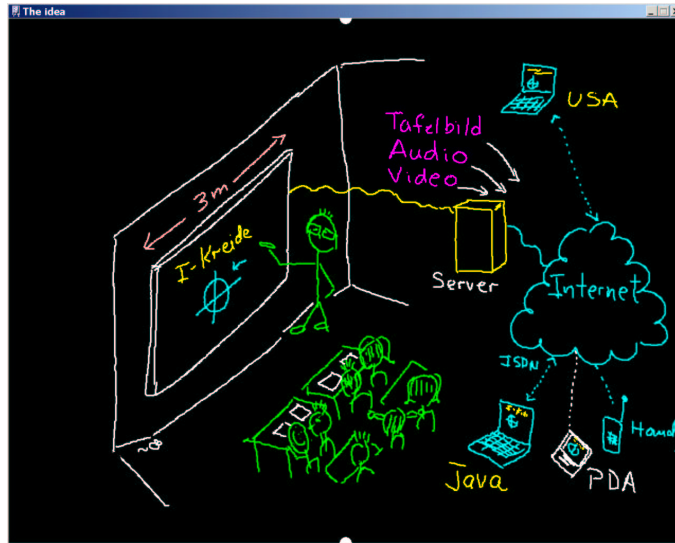


Abbildung 1: Eine E-Chalk Skizze des E-Chalk Systems.

1 Was ist E-Chalk?

Die Kreidetafel ist im Mathematikunterricht wie auch in anderen Fächern seit langer Zeit unübertroffen. Bei einem Tafelvortrag können die Teilnehmer die Entwicklung der Gedanken verfolgen, statt mit dem Endergebnis gleich erschlagen zu werden. Die Idee von E-Chalk ist es, die pädagogischen Vorteile der Tafel ins Computerzeitalter zu retten und für den Fernunterricht nutzbar zu machen.

Im Präsenzunterricht mit E-Chalk schreibt der Dozent direkt auf einem stiftaktiven Bildschirm (Whiteboard, Rückprojektor) oder auf einem Digitalisiertablett. Bilder und Animationen können in das Tafelbild integriert werden. Ohne zusätzlichen Aufwand wird die Vorlesung gespeichert und/oder live über das Internet übertragen. Das System überträgt Audio, Video und Tafelbild einer Vorlesung, wobei die zugeschalteten Studenten nur einen konventionellen Internet-Browser ohne zusätzliches Plugin benötigen. Fernhörer können das Tafelbild auch ausdrucken, da zusätzlich eine PDF-Datei als statische Darstellung erzeugt wird.

Für Anwender, die eine Nachbearbeitung von E-Chalk Vorlesungen wünschen, wurde das Programm Exymen entwickelt. Es erlaubt beispielsweise die Aufnahmen nachzuvertonen oder kleinere Fehler in Ton und Tafelbild zu korrigieren.

2 Stand der Technik

Im folgenden geben wir einen Überblick über die für den Fernunterricht verwendeten Systeme, wobei in der Praxis fast immer nur auf konventionelle Video-Encoder und Player zurückgegriffen wird. Dies reduziert die Fernvorlesungen auf die bloße Aufnahme und Wiedergabe von Videos.

2.1 Kommerzielle Systeme

Videokonferenzsysteme

Will man eine Vorlesung übertragen, wird oft eine Videokonferenzlösung verwendet. Videokonferenzsysteme sind aber nicht speziell für die Lehre konzipiert worden. Das Konzept geht von einer symmetrischen Kommunikation aus und nimmt eine äquivalente Ausstattung aller Teilnehmer an. Es wird ein großer Aufwand in die Übertragung von Audio und Video gesteckt, überzeugende Konzepte zur Übertragung der lehrspezifischen Information, wie etwa Tafelanschrieb, fehlen dagegen.



Abbildung 2: Dozent vor einem Rückprojektor mit E-Chalk.

Windows Media Encoder, Real Encoder, Quicktime

Kommerzielle Encoder sind vor allem für die Übertragung und Archivierung von Video und Audiodaten konzipiert worden, z.T. mit zeitsynchronisierter Anzeige von Folien (PowerPoint, Webseiten). Letzteres erfordert jedoch einen erheblichen Vorbereitungsaufwand. Video selbst ist ungeeignet für die Darstellung von Tafel- oder Folieninhalten, da Videokompressionen gerade die hochfrequenten Bildanteile reduzieren, womit die harten Übergänge von Hintergrund zu Schrift verloren gehen.

Macromedia Flash Communication Server

Die Firma Macromedia bietet den Macromedia Flash Communication Server MX (MFCS) an, ein Softwaresystem zur Erstellung von Streamingprogrammen. Experimentell haben wir mit dem System die Hauptfunktionalitäten von E-Chalk nachgebildet. Flash ist aber für die Entwicklung komplexer Anwendungen schlecht geeignet.

2.2 Akademische Projekte

Authoring-on-the-Fly

Eines der ältesten und bekanntesten Projekte im Teleteaching-Bereich in Deutschland ist das „Authoring-on-the-Fly“ (AOF) Projekt von Prof. Dr. Thomas Ottmann. In diesem System werden Folien und Ton mit Mbone-Werkzeugen [3] übertragen. Die Übertragung wird auch zum asynchronen Abspielen gespeichert. Es ist deutlich mehr Vorbereitung vor der Übertragung notwendig als mit E-Chalk. Zudem muss der Empfänger eine spezielle Empfangssoftware installiert haben [7, 9].

Information Spaces

Terry Winograd hat an der Stanford-Universität das Konzept der „Informationsräume“ untersucht. Ein Labor wurde mit Rückprojektionswänden und einem Funknetz ausgestattet, in dem es möglich ist, über einen Laptop oder direkt an den Wänden die dargestellte Information zu manipulieren. Der Informationsraum ist nicht speziell für die Lehre, sondern für die computergestützte, kollaborative Arbeit ausgelegt, es gibt jedoch Berührungspunkten mit unserem Projekt [8, 20, 21].

Auch in Deutschland wird über die Büroumgebung der Zukunft geforscht und über mögliche „Roomware“-Komponenten nachgedacht. Am IPSI, ein Institut der GMD/FHG, wurde das Konzept des Büroraumes der Zukunft entwickelt [18].

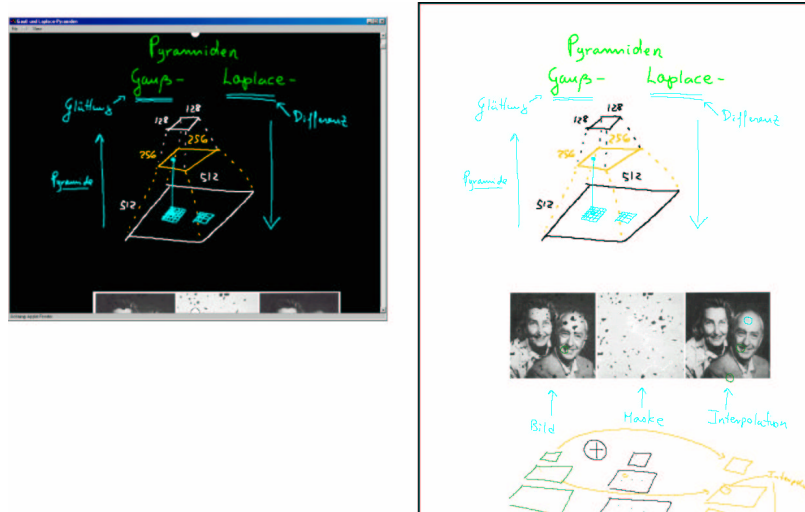


Abbildung 3: Links eine Ansicht des Tafelbildes, rechts die dazugehörige Seite in der PDF-Datei.

Eclass

Am Georgia Institute of Technology wurde bis zum Jahr 2000 ein Projekt durchgeführt, bei dem archivierte Vorlesungen als vier Datenströme mit dem Real-Encoder übertragen wurden: ein Videostream, ein Audiostream, ein „Padstream“ (für ein Tafelbild) und ein URL-Stream. Das Tafelbild wurde aber nicht als dynamisches Bild gespeichert, sondern als statische Folien, die in einer Nachbereitungsphase in HTML-Seiten umgewandelt wurden [1].

3 Die Komponenten des E-Chalk Systems

3.1 Der E-Chalk Server

Wir wollen dem Dozenten die Umgebung bieten, an die er gewöhnt ist. Der Vortragende sollte in der Lage sein, den Klassenraum zu betreten und ohne zusätzlichen Aufwand eine Vorlesung an einer Tafel zu starten. E-Chalk bietet jedoch mehr als eine herkömmliche Kreidetafel. Audio und Video des Lehrenden können übertragen und archiviert werden. Er kann Bilder von der Festplatte oder aus dem Internet an die Tafel heften. Die Tafel kann mathematische Anfragen bearbeiten (basierend auf einer Schnittstelle zu einem Algebrasystem, wie z.B. Mathematica von Wolfram Research, die zum Teil über Handschrifterkennung ansprechbar ist) [14, 15, 16, 17].

Ist die Live-Übertragung einer Vorlesung abgeschlossen, sind die Daten derart gespeichert, dass die Vorlesung unmittelbar mit einem Webbrowser abgespielt werden kann. Ein PDF-Konverter hat das Tafelbild in eine Adobe PDF-Datei übersetzt, so dass der Nutzer das Tafelbild auch ausdrucken kann.

Die gesamte Software (Tafelprogramm, Audio- und Videokodierung, Streamingkomponenten, PDF-Konverter) ist von uns in Java entwickelt worden. Wir verwenden das System sowohl unter MS-Windows als auch unter Linux.

Geeignete Peripheriegeräte

Um die E-Chalk Software wie eine Tafel im Präsenzunterricht einsetzen zu können, benötigt man ein stiftbasiertes Eingabemedium und eine großflächige Anzeige. Wir haben bereits folgende Gerätekombinationen eingesetzt:

- Digitalisiertablets mit LCD-Projektoren
Der Dozent schreibt auf einem Tablett während das Bild auf eine Wand projiziert wird.



Abbildung 4: Eine E-Chalk Vorlesung im Browser abgespielt.

Digitalisiertablets sind vergleichsweise preiswert und leicht portabel. Der Dozent kann auch beim Schreiben zum Publikum gewandt sein. Es gibt bereits sogar Tablets mit eingebautem Bildschirm, was die Hand-Auge-Koordination erleichtert.

- Digitalisierende Whiteboards
 Verschiedene Firmen vertreiben digitalisierende Whiteboards. Dies sind große, aufrecht montierte Digitalisiertablets (bis ca. 2m Diagonale), auf die ein LCD-Projektor das Computerbild wirft.
- Rückprojektoren mit Eingabestift
 Der Einsatz eines Rückprojektors als Großbildschirm hat den Vorteil, dass niemand im Strahl des Projektors stehen kann. Kontrast und Luminanz des Tafelbildes sind viel höher als bei LCD-Projektoren, daher können Rückprojektoren ohne Verdunkelung des Raumes genutzt werden. Nachteile sind ihr großes Gewicht und ihre hohen Anschaffungskosten.

3.2 Der E-Chalk Client

Der E-Chalk Client besteht wie der E-Chalk Server aus mehreren Komponenten. Wenn der Betrachter einer Vorlesung die Webseite des angebotenen Kurses mit seinem Browser öffnet, startet die Wiedergabe in Form von sich synchronisierenden Java Applets. Mit einer Konsole kann in der Aufzeichnung zeitlich navigiert werden. Das Audiosystem benutzt eine verlustbehaftete Kompression und eine Pufferung [4], um eine unterbrechungsfreie Übertragung zu gewährleisten. Für die Übertragung von Audio und dynamischem Tafelbild¹ reicht ein ISDN Kanal², für Video wird der zweite Kanal benötigt.

Diese Komponente des E-Chalk Systems ist in erster Linie dafür gedacht, einen Eindruck des Geschehens im Klassenraum zu verschaffen bzw. Mimik und Gestik des Dozenten zu vermitteln. Die eigentlichen Inhalte der Vorlesung werden auf der Tafel übertragen. Zur Kompression des Videos wird ein einfacher, auf Differenzbildern und JPEG basierender Codec benutzt.

Da als Empfangssoftware ausschließlich Java-Applets verwendet werden, muss der Empfänger lediglich über einen Java-fähigen Browser verfügen. Er braucht keinerlei spezielle Empfangssoft-

¹Der Bandbreitenbedarf des Tafelbildes ist im Vergleich zu dem des Sprachsignals vernachlässigbar, da die Aktionen auf der Tafel als Vektordaten kodiert werden.

²Verwendet der Sender eine niedrige Audioqualität, so kann die benötigte Bandbreite auf bis zu 20kBit/s gedrückt werden.

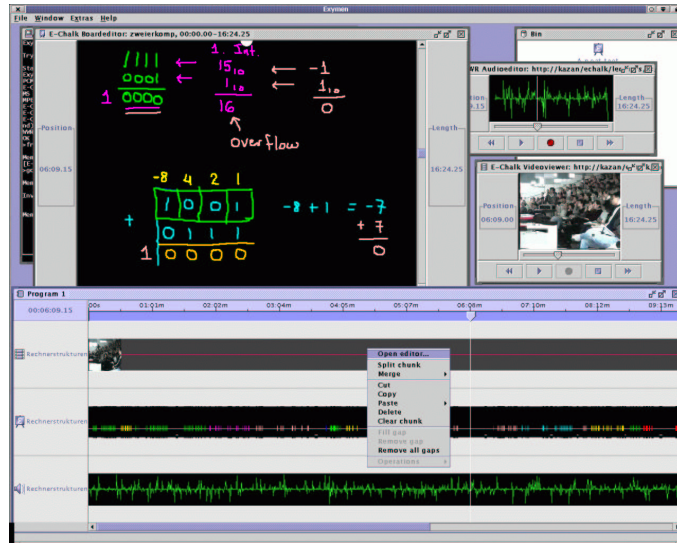


Abbildung 5: Ansicht des E-Chalk Editors.

ware zu installieren³. Zudem ist diese Lösung komplett plattformunabhängig.⁴

3.3 Exymen

Exymen ist ein Editor für beliebige Medienformate⁵, der von uns zur Bearbeitung von E-Chalk Vorlesungen entwickelt wurde [6]. Kleinere Fehler in Ton und Tafelbild können herausgenommen, vergessene Vorlesungsabschnitte eingefügt und gelungene Teile einer Vorlesung wiederverwendet werden. Auch erlaubt er, aufgenommene Vorlesungen zu kürzen, zu übersetzen oder mit externem Bild- und Tonmaterial zu ergänzen. Exymen ist ein Werkzeug, das Audio- und Videodateien, sowie Vektor- und Eventformate bearbeiten kann und dabei die gleiche Plattformunabhängigkeit und Flexibilität erreicht, wie sie die E-Chalk Komponenten besitzen.

4 Praxiserfahrungen und Kooperationen

An der Informatik der FU Berlin wird E-Chalk seit dem Sommersemester 2001 regelmäßig für Vorlesungen eingesetzt. Einerseits waren viele Dozenten, selbst in der Informatik, gegenüber einer neuen Technologie wie E-Chalk zunächst zurückhaltend eingestellt. Andererseits ist das Feedback der Studierenden durchweg positiv. Anfänger nehmen die Internetvorlesungen als selbstverständlich an, höhere Semester sind von dem Angebot angenehm überrascht und nutzen die Aufnahmen vor allem zur Prüfungsvorbereitung⁶. Wir erfuhren auch von Schülern, die sich für Hausarbeiten mit E-Chalk-Vorlesungen in ein Thema einarbeiteten.

Neben privaten Fortbildern befindet sich E-Chalk unter anderem in den folgenden akademischen Einrichtungen im Einsatz:

- Erich-Höppner-Oberschule Berlin, Dirk Kwee

³Die psychologische Hürde sich erstmalig eine solche Fernvorlesung anzusehen wäre sehr hoch, wenn der Anwender vorher eine Softwareinstallation durchführen müsste [10].

⁴Durch die Verwendung von Applets als Empfangssoftware ist sogar möglich das Übertragungsformat zu ändern, ohne dass der Fernhörer etwas davon bemerkt. Die von E-Chalk generierten Seiten enthalten einfach neue Empfangs-Applets.

⁵Exymen stellt eine offene Programmierschnittstelle (API) zur Verfügung, die es erlaubt, den Editor beliebig für Multimediaformate und Bearbeitungseffekte zu erweitern. Auch die Behandlung der Formate von E-Chalk ist über diese Schnittstelle realisiert.

⁶Besonders gefiel uns eine Rückmeldung, die uns ein Student der Fachhochschule Trier zusammen mit einer Flasche Wein als Dankeschön schickte. Er hatte seine Diplomprüfung über Neuronale Netze mit E-Chalk vorbereitet.

- Fachhochschule für Wirtschaft Berlin, Prof. Dr. Siegfried Zseby
- GIOVE Projekt, Altes Museum Berlin⁷
- Schule des Sehens, Kunstgeschichtliche Institute verschiedener Universitäten⁸
- Technische Universität Berlin, Institut für Mathematik

Mit der Hosei Universität, Tokio, dem Mills College, Oakland und der Stanford University, Kalifornien laufen Kooperationen zu verteilten Vorlesungen mit E-Chalk. Daneben hat die Chemieabteilung des Deutschen Museums München kürzlich ein Projekt „Besucher-Experimente“ beantragt, bei dem E-Chalk eingesetzt werden soll.

Im November 2002 wurde das Projekt mit dem European Academic Software Award ausgezeichnet.

5 Ausblick

Experimentell haben wir in E-Chalk die folgenden Erweiterungen eingebaut:

Applets Der Dozent kann ein interaktives Java-Applet aus dem Netz auf der Tafel plazieren und es dort regulär benutzen. Auf der Empfängerseite verhält sich das Applet genauso wie auf der Senderseite. Es ist allerdings schwierig, fremde Programme aus dem Internet auf der Tafel sicher laufen zu lassen.

CGI Eine weitere Möglichkeit externe Programme direkt auf der Tafel anzusprechen ist eine Schnittstelle zu CGI-Skripten. Es werden sowohl Texte als auch Bilder als Antwort akzeptiert. Dadurch ist es auf der Tafel möglich, z.B. live Anfragen an eine Suchmaschine im Internet zu stellen. Das Ergebnis wird direkt auf der Tafel angezeigt.

Datenbank Wir verfügen über eine Schnittstelle zur Datenbank Oracle, mit der Vorlesungen automatisch auf einen zentralen Datenbankserver übertragen werden können. Der Zuhörer kann in der Datenbank suchen und Vorlesungen direkt aus ihr abspielen [5].

Handschrifterkennung Der Griff zur Tastatur bedeutet für den Vortragenden eine Unterbrechung seines Arbeitsflusses. Für das Arbeiten mit der Tafel sollte die Oberfläche für die Bedienung mit dem Stift optimiert sein⁹, so wie der Bildschirm-Desktop an die Bedienung mit Maus und Tastatur angepaßt ist. Daher haben wir von Anfang an eine Handschrifterkennung in das System eingebaut [19, 12]. Diese frühe Version der Handschrifterkennung kann jedoch nur einfache arithmetische Ausdrücke behandeln. Wir arbeiten an einer Erkennung für Text und komplexe mathematische Formeln, die in naher Zukunft in E-Chalk integriert werden soll.

Mittelfristig sollen Tafelfunktionen auch durch Gesten angesprochen werden können. Entwickler werden das E-Chalk System mit eigenen Modulen erweitern können¹⁰. Beispielsweise könnten Interpreter für Programmiersprachen, Schaltkreissimulatoren oder Übersetzungsprogramme als Assistenten durch Gesten aktiviert und direkt in der Tafel benutzt werden.

⁷Bei diesem Projekt wird keine Tafel benutzt, sondern Folien wurden zeitsynchronisiert mit gesprochener Erläuterung im Browser abgespielt. Auch solche Folienvorträge können mit E-Chalk erstellt werden. Als Autorenwerkzeug dient hierbei Exymen. Siehe <http://www.giustiniani.org>.

⁸Die Schule des Sehens ist Projekt der kunstgeschichtlichen Institute der Universitäten in Berlin (FU), Bern, Dresden, Hamburg, Marburg, München (LMU) und des Lehrstuhls für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie in München. Auch hier werden vertonte Folienvorträge erstellt. Siehe <http://www.schule-des-sehens.de>.

⁹Zum Beispiel ist die Notwendigkeit von Doppelklicks zu vermeiden, da diese mit dem Stift deutlich schwieriger auszuführen sind als mit der Maus.

¹⁰Der Erweiterungsmechanismus wird, wie auch schon in Exymen, auf einer Implementation des OSGI Standards [11] beruhen (<http://oscar-osgi.sourceforge.net>). Dieser ursprünglich aus dem Bereich des Ubiquitous Computing stammende Mechanismus erlaubt im laufenden Betrieb Module („Komponenten“) aus dem Internet zu laden, zu erneuern und zu entfernen. Komponenten können sogar fremde Komponenten erweitern.

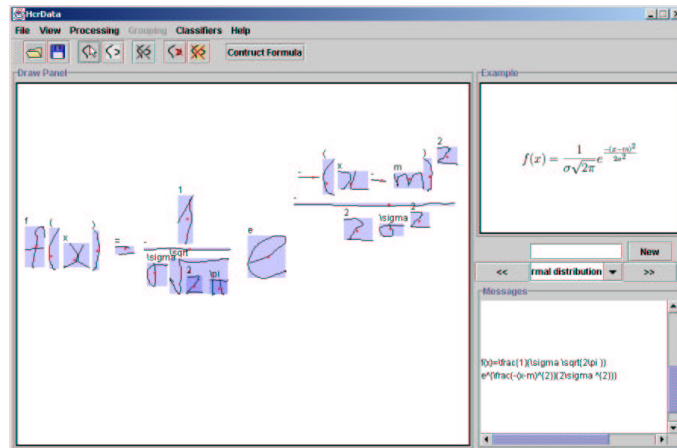


Abbildung 6: Handschrifterkennung mit der Formel der Normalverteilung.

Desweiteren arbeiten wir an einer weiteren Verbesserung der Audio- und Videokompression. Eine Softwareunterstützung für die Aussteuerung der Audioaufnahmegeräte wird entwickelt.

Es gibt ein psychologisches Problem, das E-Chalk Vorlesungen mit Video und konventionelle Fernvorlesung (Folien mit Video) teilen. Die Aufmerksamkeit des Fernhörer wird von zwei Bildschirmbereichen zugleich verlangt. Jeder Mensch hat aber nur ein Zentrum der Aufmerksamkeit [2, 13]. Daher haben wir ein Promotionsprojekt begonnen, in welchem das Videobild des Dozenten vom Hintergrund getrennt werden soll. Dann kann das Dozentenbild derart über die Tafel gelegt werden, dass der Eindruck entsteht der Dozent arbeite direkt auf dem Bildschirm des Fernhörer. Mimik und Gestik erscheinen im direkten Bezug zum Tafelbild. Bei Bedarf kann das Dozentenbild semitransparent oder ausgeschaltet werden.

6 Fazit

Mit dem hier vorgestellten System ist es möglich, Fernvorlesungen praktisch als Nebenprodukt des Präsenzunterrichts zu erstellen. Bei herkömmlichen Autorensystemen ist der Faktor zwischen Erstellungszeit und Dauer der Lerneinheit typischerweise im zweistelligen Bereich.¹¹ Die Fernvorlesung ersetzt nicht die Präsenzveranstaltung, sondern unterstützt sie. E-Chalk hilft dem Studierenden beim Nachbereiten des Stoffes und stellt ihm ein lebendiges und exaktes Skript zur Verfügung, bei dem auch die Nebenbemerkungen des Vortragenden nicht verloren gehen. Langfristig erhoffen wir uns von einem breiten Einsatz eine grundlegende Verbesserung der Lehre.

Auch der Fernhörer muss keinen technischen Aufwand treiben, um die Veranstaltung zu verfolgen. Er muss keine spezielle Software installieren, sondern benutzt lediglich seinen Browser. Alle wesentlichen Informationen, in Form von Ton und dynamischen Tafelbild, kann er unter geringen Bandbreitenerfordernissen empfangen.

Die Tafel ist eine neue Schnittstellenmetapher. Derzeit beherrscht der Desktop die Bildschirmoberfläche des Computers. Diese ist jedoch für den kleinen, persönlichen Bildschirm konzipiert, der sich in die physikalische Schreibtischumgebung einfügt. In der Lehrsituation, in der ein großer Bildschirm von vielen Beteiligten betrachtet werden soll, ist die Tafel die geeignete Metapher.

Hier bleibt die Beziehung zwischen Lehrmedium, Dozent und Schülern erhalten, wie sie sich im Unterricht über Jahrhunderte bewährt hat. Das Publikum kann verfolgen, wie der Vortragende das Thema an der Tafel entwickelt. Die technische Realisierung des Unterrichtswerkzeugs orientiert sich an den pädagogischen Bedürfnissen, statt das Werkzeug von der vorgefundenen technischen Entwicklung bestimmen zu lassen.

¹¹ Gewöhnlich wird bestenfalls ein Faktor von 20 als untere Grenze angesehen. Zum Teil wird für Produktionen von computerbasierten Kursen sogar mit 600 Stunden Produktionsaufwand pro Stunde Lerneinheit gerechnet.

7 Beteiligte Autoren

Die folgenden Personen sind an der Entwicklung des E-Chalk Systems beteiligt:

Prof. Dr. Raúl Rojas Leiter des Projekts.

Dipl.-Inform., Dipl.-Math. Lars Knipping Entwickelt die Tafel und den PDF-Konverter, sowie diverse Teilkomponenten.

Dipl.-Inform. Gerald Friedland Entwickelt die Audio- und die Videokomponente, das Nachbearbeitungswerkzeug Exymen, sowie diverse Teilkomponenten.

Ernesto Tapia, M.S. Entwickelt die Handschrifterkennung.

Marry-Ann Brennan, B.S. Entwickelte einen Prototyp des PDF-Konverters, sowie ein Java Media Framework Plugin für Exymen.

Dipl.-Inform. Wolf-Ulrich Raffel Entwickelte einen ersten Prototyp der Tafel als Diplomarbeit.

A Webseiten und Literatur

Unsere Webseiten sind:

- E-Chalk Homepage: <http://www.ekreide.de>
- Exymen Homepage: <http://www.exymen.org>
- E-Chalk Audio Komponente: <http://www.javaradio.de>
- E-Chalk Video Komponente: <http://www.javavideo.de>

Literatur

- [1] G. Abowd, „Classroom 2000: An Experiment with the Instrumentation of a Living Educational Environment“. Special issue on Pervasive Computing, Volume 38, Number 4, S. 508-530, Oktober 1999.
- [2] B. J. Baar, „A Cognitive Theory of Consciousness“, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1988.
- [3] H. Eriksson, „MBone: The Multicast Backbone“, Communications of the ACM, Volume 37, Number 8, S. 54-60, August 1994.
- [4] G. Friedland, T. Lasser, „World Wide Radio - Audio Live-Übertragung im Internet“, Bundeswettbewerb Jugend forscht 1998, Stiftung Jugend forscht e.V., Hamburg 1998.
- [5] G. Friedland, L. Knipping, R. Rojas, „E-Chalk Technical Description“, Technical Report B-02-11, Fachbereich Mathematik und Informatik, Freie Universität Berlin, Mai 2002.
- [6] G. Friedland, „Towards a Generic Cross Platform Media Editor: An Editing Tool for E-Chalk“, Diplomarbeit, Fachbereich Mathematik und Informatik, Freie Universität Berlin, Mai 2002.
- [7] W. Hürst, R. Müller, „The AOF (Authoring on the Fly) system as an example for efficient and comfortable browsing and access of multimedia data“. Proceedings of HCI International 2001, 9th International Conference on Human-Computer Interaction, New Orleans, FL, August 2001.
- [8] B. Johanson, A. Fox, T. Winograd, „The Interactive Workspaces Project: Experiences with Ubiquitous Computing Rooms“, IEEE Pervasive Computing 1(2), S. 67-75, April-Juni 2002.
- [9] R. Müller, T. Ottmann, „Electronic Note-Taking, Systems, Problems, and their Use at Universities“. In H. H. Adelsberger, B. Collis, J. M. Pawlowski (Hrsg.), „Handbook on Information Technologies for Education & Training“, Springer-Verlag, S. 121-138, Heidelberg 2002.
- [10] J. Nielsen, „Designing Web Usability“, New Riders Publishing, Indianapolis 2000.
- [11] „OSGi Service Platform (Release 2)“, edited by OSGi, IOS Press, Amsterdam 2002.
- [12] J. C. Platt, „Fast training of support vector machines using sequential minimal optimization“. In B. Schölkopf, C. J. C. Burges, and A. J. Smola (Hrsg.) „Advances in Kernel Method - Support Vector Learning“, MIT Press, S. 185-208, Cambridge, MA, 1999.
- [13] J. Raskin, „The Humane Interface“, Addison-Wesley, Boston, MA, 2000.
- [14] R. Rojas, L. Knipping, U. Raffel, G. Friedland, „Elektronische Kreide: Eine Java-Multimedia-Tafel für den Präsenz- und Fernunterricht“, Technical Report B-17/2000, Fachbereich Mathematik und Informatik, Freie Universität Berlin, Oktober 2000.

- [15] R. Rojas, L. Knipping, U. Raffel, G. Friedland, „Elektronische Kreide: Eine Java-Multimedia-Tafel für den Präsenz- und Fernunterricht“, Informatik: Forschung und Entwicklung, Volume 16, Issue 3, S. 159-168, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, September 2001. Auch in Beck, Sommer (Hrsg.): Tagungsband der Learntec, Vol. 2, S. 533-539, Karlsruhe, Oktober 2001.
- [16] R. Rojas, L. Knipping, G. Friedland, B. Frötschl, „Ende der Kreidezeit - Die Zukunft des Mathematikunterrichts“, DMV Mitteilungen 02/2001, Deutsche Mathematiker-Vereinigung e.V., S. 32ff, Berlin, Februar 2001.
- [17] R. Rojas, L. Knipping, G. Friedland, U. Raffel, C. Zick, Elektronische Kreide - Eine Java-Multimedia-Tafel für den Präsenz- und Fernunterricht, GMW-Forum 2001, Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft e.V., Siegen 2001.
- [18] N. A. Streitz, P. Tandler, C. Müller-Tomfelde, S. Konomi, „Roomware: Towards the Next Generation of Human-Computer Interaction based on an Integrated Design of Real and Virtual Worlds“. In J. Carroll (Hrsg.): Human-Computer Interaction in the New Millenium, Addison-Wesley, S. 553-578, 2001.
- [19] E. Tapia, R. Rojas, „Recognition of Handwritten Digits in the E-Chalk System using Support Vector Machines“, Technical Report B-14/2002, Fachbereich Mathematik und Informatik, Freie Universität Berlin, 2002.
- [20] T. Winograd, „Architectures for Context“, Human-Computer Interaction Journal, Volume 16, Number 2-3, Mahwah, NJ, 2001.
- [21] T. Winograd, „Interaction Spaces for 21st Century Computing“. In J. Carroll (Hrsg.): „Human-Computer Interaction in the New Millenium“, Addison-Wesley, 2001.