MathletFactory: Komponentenframework und Autorenumgebungen für mathematische Applets interaktiver eLearning-Plattformen

Volker Enss (enss@rwth-aachen.de)
Matthias Holschneider (hols@math.uni-potsdam.de)
Sabina Jeschke (sabina@math.tu-berlin.de)
Tim Paehler (paehler@iram.rwth-aachen.de)
Ruedi Seiler (seiler@math.tu-berlin.de)

Abstract: Neue Medien und Neue Technologien schaffen die technischen Grundlagen für einen breiten Einsatz visuell-orientierter Unterrichtsmaterialien und für die Integration interaktiver Komponenten in den Lernprozess. Java-Applets, die gerade die Potentiale kombinieren, sind deshalb von herausragender Bedeutung für anspruchsvolle eLearning-Umgebungen. Für die mathematische Ausbildung spielen Interaktivität und Visualisierung eine besondere Rolle, weil sie in der Lage sind, die hier notwendigen Veränderungen in der Unterichtsmethodik umfassend zu unterstützen. Der Einsatz von Applets erweitert zudem die möglichen Verifikationsmethoden von Nutzereingaben in intelligenten Übungsumgebungen.
Aus der Forderung, mit Hilfe von Applets Mathematik bzw. ihre abstrakten Objekte und Konzepte tatsächlich "erfahrbar" zu machen, leiten sich weitreichende Forderungen an das Softwaredesign ab, die insbesondere konzeptionelle Trennung des abstrakten Objektes von seinen verschiedenen Präsentationsformen, Interaktionsmechanismen zwischen den mathematischen Objekten und Design der Klassenbibliothek betreffen. Eine weitere wesentliche Herausforderung liegt im Authoringprozess. In dieser Arbeit stellen wir die wesentlichen Konzepte der MathletFactory (Teilprojekt des Plattformprojekts Mumie) vor.

1 Einleitung

Mathematik stellt eine der treibenden Kräfte des technologischen Fortschritts dar, und ihre Rolle für die Gesellschaft nimmt weiter an Bedeutung zu, weil sich die Breite der Anwendungsgebiete – und damit der Kreis der Anwender – immer mehr vergrößern. Hochentwickelte Computeralgebra- und Softwarepakete führen auf neue Möglichkeiten mathematischer Modellierung, Simulation und Visualisierung komplexer Abläufe in Natur- und Ingenieurwissenschaften. Der intelligente und angemessene Einsatz der neuen Werkzeuge entlastet von aufwendigen Routine-Rechnungen, erfordert jedoch eine höhere intellektuelle und mathematische Leistung, weil dabei häufig anspruchsvolle Algorithmen scheinbar black-box-artig zum Einsatz kommen: Der Anwender muss in der Lage sein, die Korrektheit des gewählten mathematischen Modells zu beurteilen, und er muss die Qualität der Resultate – durch einfache Approximation und Kontextwissen – überblicken und

einschätzen können. Diese enorme Steigerung mathematischer Leistungsfähigkeit und die beschriebene Erweiterung ihrer Forschungsmethodik führt folgerichtig auf veränderte Anforderungen an die mathematische Ausbildung – insbesondere auch, um den Bedürfnissen der immer größer werdenden Gruppe der Mathematik-Anwender aus Ingenieur-, Computer- und Wirtschaftswissenschaften gerecht zu werden [JKS04a].

Diese neuen Anforderungen an die Ausbildung müssen sich in einer stärkeren Verschiebung von der bloßen Inhaltsvermittlung hin zu proaktivem Lernen niederschlagen [MV98], [Ves78]. Dabei spielen Interaktivität und Visualisierung eine zentrale Rolle:
Die Visualisierung abstrakter Sachverhalte trägt maßgeblich zu einem tieferen Verständnis mathematischer Konzepte bei. Der Einsatz von Visualisierungen ist nicht auf die bloße Verdeutlichung von mathematisch-naturwissenschaftlichen Daten und Fakten beschränkt, sondern erlaubt die Darstellung der strukturellen Eigenschaften von Objekten und Methoden. Räumliches Denkvermögen und visuelle Vorstellungskraft werden trainiert. Darüber hinaus fördern Visualisierungen insbesondere bei Anfängern die Motivation, weil sie eine *schnelle* erste Anschauung eines bis dahin unbekannten Gegenstandes ermöglichen.
Die Interaktivität der – mathematische Objekte und Konzepte repräsentierenden – Wissensbausteine ermöglicht in Ergänzung dazu die Realisierung von Lernszenarien, die an Experimenten orientiert sind. Dieses "Experimentierende Lernen" gilt als eine der wirksamsten Formen des Lernens. Experimentierende Lernszenarien bewirken insbesondere eine sehr aktive Einbeziehung der Lernenden in den Lernprozess, und das wiederum sichert Lernerfolge schneller und insbesondere nachhaltiger ab. Um selbständige und qualifizierte "Anwendung" mathematischer Konzepte zu vermitteln, müssen die didaktischen Modelle verändert werden: Den modernen Lerntheorien zufolge ist der eigentliche Lern- und Verständnisprozess eine selbst-gesteuerte Aktivität; Lernende müssen die Phase des reinen "Konsums" von Informationen (Bücher, Vorlesungen) überwinden, um sich stattdessen aktiv und selbständig mit den Lerninhalten auseinanderzusetzen [JKS04a].

Applets sind zudem in der Lage, die Umsetzung intelligenter Übungszenarien zu unterstützen, die ihrerseits die Realisierung explorativer, selbst-gesteuerter, experimentierender Lernszenarien ermöglichen: Gegenwärtig beinhalten die bestehenden Wissenssysteme kein systematisches, konsistentes Konzept für eine umfassende Integration "intelligenter" Validierungs- und Verifikationsverfahren. Die Mehrheit der derzeit existierenden eLearning-Umgebungen verfügt lediglich über Multiple Choice Techniken, einfache stringchecker oder vergleichbar einfache Mechanismen, die aber keine Validierung komplexerer Antworten zulassen und damit eine enorme Einschränkung an die möglichen Fragestellungen darstellen. An Konzepten für tatsächlich "intelligente", user-adaptive Feedback-Mechanismen (z.B. linguistische Analyse einer Antwort im free-style) wird derzeit an vielen Orten gearbeitet, bisher aber noch ohne breit einsetzbare Ergebnisse. Parametrisierbare Applets stellen hier eine interessante Möglichkeit dar, die o.g. klassischen Validierungsmethoden zu erweitern. Als ein "Seiteneffekt" führt der Einsatz von Applets als Validierungswerkzeuge zu einer eher konstruktiven Re-Formulierung der Aufgabenstellung, was insbesondere in der Ausbildung von Studierenden anwendungsorientierter Disziplinen ein didaktischer Vorteil ist.

2 MathletFactory – Technisches Konzept

Die Entwicklung von Applets ist aufwendig und technisch anspruchsvoll. Die notwendigen technischen Kenntnisse können nicht bei jedem Dozenten vorausgesetzt werden – nur sie jedoch verfügen i.a. über die fachliche und didaktische Kompetenz. Umgekehrt liegen die notwendigen technischen Kenntnisse bei den Technikern, denen jedoch gerade aber die fachliche und didaktische Kompetenz fehlt [Jes04].
Das führt zur Notwendigkeit von Authoringumgebungen für (mathematische) Applets, die die Dozenten bei der Entwicklung von Applets effizient unterstützen: Die MathletFactory ist ein Editierwerkzeug zur vereinfachten Entwicklung von Applets und zur Modifikation bereits bestehender. Sie basiert auf einer großen Anzahl bereits vorgefertigter Basisklassen, die von Autoren zu Applets komponiert werden können. Die MathletFactory stellt somit einerseits eine mathematische Klassenbibliothek, andererseits ein interaktives Entwicklungs-Framework mit hoher Wiederverwendbarkeit (engl. reusability) der Einzelkomponenten dar [Pae05].

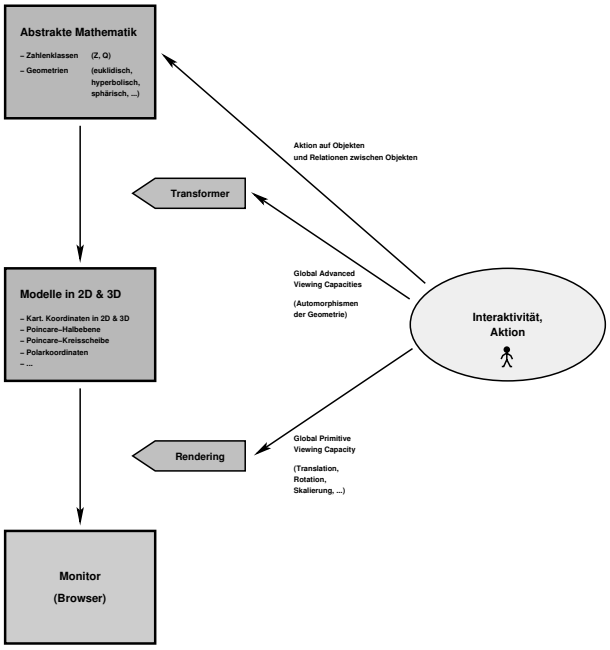

Abbildung 1: MathletFactory Rendering Kette

Die Klassenstruktur der MathletFactory fusst auf den fachlogischen Strukturen und Relationen der Mathematik. Die Klassen berücksichtigen dabei die mathematischen Eigenschaften der Objekte, die sie modellieren. Der Nutzer kommuniziert mit den mathematischen Objekten sowie Relationen durch visuelle Interaktion, die mittels einer Familie von Event-Handlern verarbeitet wird.
Das Handler-Konzept ist so konstruiert, dass bei einem Event das zugehörige Objekt zum Master wird: Updater-Ketten steuern die Anpassungen der weiteren beteiligten Objekte und Relationen einer Szene, die notwendig werden, um die verschiedenen Relationen und Abhängigkeiten zu berücksichtigen.

Die Architektur ist durch die strikte Trennung von mathematischem Inhalt und Interaktions- und Darstellungsschicht gekennzeichnet (sog. Model-View-Controller Muster): Die eigentlichen mathematischen Objekte werden getrennt von der Geometrie aufgefasst, un-

ter der sie später betrachtet werden. Hier können – neben euklidischer Geometrie – auch andere Geometrien, etwa sphärische oder hyperbolische, generisch visualisiert werden.

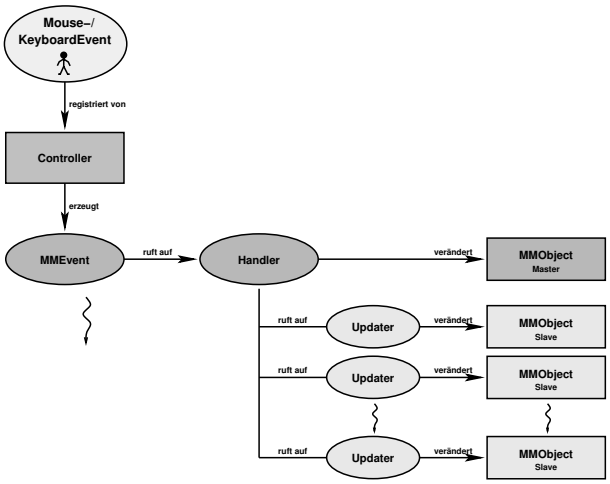

Abbildung 2: MathletFactory Updater Modell

Die Darstellung eines mathematischen Objektes bei gegebener Geometrie (Rendering) ist wiederum von der mathematischen Modellierung abgegrenzt und stellt den dritten Schritt in der dargestellten Kette dar: Ein Modell aus Controllern, Handlern und Updatern organisiert das Zusammenspiel von Benutzer und den mathematischen Objekten: Durch den Benutzer ausgelöste Events (Veränderungen v. Objekten oder Relationen) werden von einem Controller empfangen und an den zugehörigen Handler weitergegeben. Der Handler bewirkt die Veränderung des Objektes. Über eine Liste von Updatern werden die abhängigen Objekte und Relationen angepasst.

3 MathletFactory aus Nutzer- und Autorensicht

Alle Applets der MathletFactory verfügen über eine einheitliche Grundstruktur, die die mathematischen Objekte und ihre Repräsentationen, die Verarbeitung von mathematischen Ausdrücken der symbolischen Repräsentationen sowie die Darstellungs- und Interaktionstechniken umfasst:

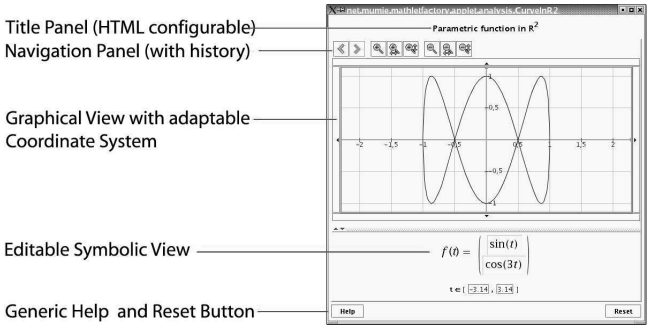

Abbildung 3: Standard-Design der Applets der MathletFactory

Abb. 4 zeigt zwei Demo-Applets, die mit Hilfe der MathletFactory entwickelt wurden: Die vorliegende Konfiguration kann vom Nutzer durch Auswählen eines Punktes und "Ziehen" desselben verändert werden, das Ergebnis (die mathematischen Konsequenzen) werden sofort sichtbar.

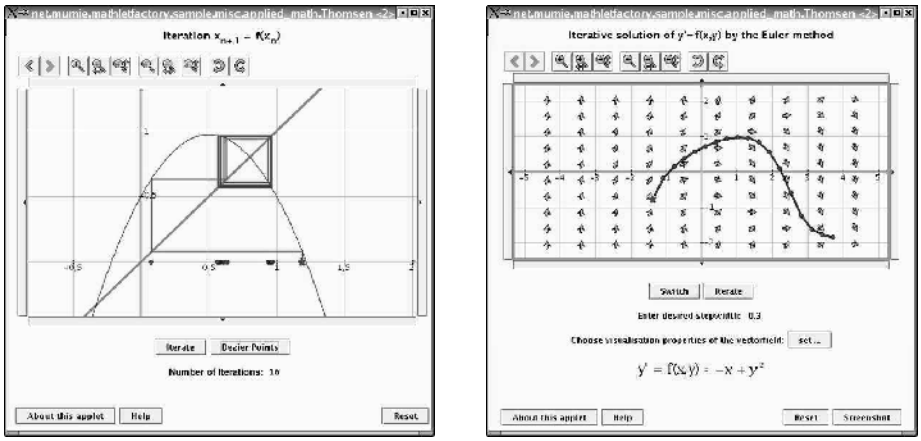

Abbildung 4: Demo Applets: iterierte Abbildung (links), Euler Integration (rechts).

Die mathematischen Objekte werden – je nach Kontext und Lernziel – in verschiedenen Repräsentationen zur Verfügung gestellt: Dabei kommen *symbolische* Repräsentationen zum Einsatz, wenn die abstrakte mathematische Fachsprache im Vordergrund stehen soll, *ikonische* Repräsentationen dienen der Wahrnehmung und Speicherung der Objekte als visuelle Objekte, und *enaktive* Repräsentationen ermöglichen eine sehr direkte Interaktion (vergl. Bruners EIS Schema der kognitiven Psychologie, [Bru66]).

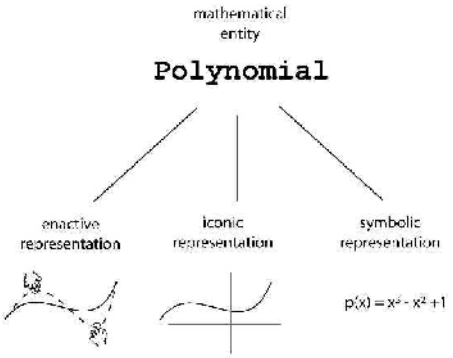

Abbildung 5: Verschiedene Repräsentationen

Der Authoring-Prozess basiert derzeit auf der Basis einer MathletFactory-spezifischen "Java-Macro-Sprache". Das stellt zwar eine deutliche Vereinfachung gegenüber der Programmierung des gesamten Codes dar, jedoch setzt auch die Anwendung einer solchen Macro-Sprache eine nicht geringe technische (i.W. Java-) Kompetenz voraus. Zudem sind mathematische Experimente in Echtzeit auf diese Weise nicht möglich, obwohl gerade das für den Unterrichtseinsatz wünschenswert wäre. Vor diesem Hintergrund werden aktuell visuell orientierte Authoringprozesse und Kompositionsmechanismen für die Mathlet-

Factory insbesondere auf der Grundlage der Softwareumgebung Oorange [Oor], entwickelt, die die graphische Programmierung insbesondere in mathematischen Anwendungen ermöglicht.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die MathletFactory ist ein Teilprojekt des Projektes Mumie (Multimediale Mathematikausbildung für Ingenieure), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Mumie [Mum, DJSS03] ist eine – derzeit noch im Prototyp-Stadium befindliche – multimediale eLearning-Plattform der nächsten Generation, die vor allem für die Wissensgebiete Mathematik und Naturwissenschaften entwickelt wird. Die Entwicklung wird gemeinsam von den Universitäten TU Berlin, TU München, RWTH Aachen und Universität Potsdam betrieben.

Die MathletFactory bietet neben einer Sammlung mathematischer Klassen ein Baukastensystem zur schnellen Erstellung hochinteraktiver mathematischer Lern- und Demonstrationsapplets. Mittels der Trennung von Mathematik und Darstellung sowie der Bereitstellung einer generischen Darstellungs- und Interaktionsarchitektur wird ein hochgradig flexibles und erweiterbares System zur Verfügung gestellt, mit dem sich in kürzester Zeit Applets mit komplexen mathematischen Zusammenhängen erstellen und anpassen lassen. Die mit der MathletFactory erstellten Applets wurden bereits in vielfachen universitären und außeruniversitären Lernszenarien angewandt und evaluiert. Eine Sammlung von über 200 Applets dokumentiert dabei die Breite des abgedeckten mathematischen und naturwissenschaftlichen Spektrums.

Betrachtet man die Anwendung der MathletFactory-Applets, so ist vor allem der Aspekt der Integration von herausgehobener Wichtigkeit. Während die Applets bereits von Beginn an über Parameter mit umgebenden Webseiten kommunizieren konnten, weisen die jüngsten Entwicklungen verstärkt in Richtung einer tiefer gehenden Einbettung in umfassende Lernsysteme hin. Hierbei ist insbesondere die Implementation intelligenter und personalisierter Übungsaufgaben-Applets zu nennen, die es dem Lernenden erlaubt, mathematisch anspruchsvolle Problemstellungen interaktiv zu bearbeiten und bei seinem Lösungsweg direkt Rückmeldung zu erhalten. Eine kursbegleitende Evaluation hierzu wird derzeit im Rahmen des Mumie-Systems von der TU-Berlin durchgeführt.

Literatur

[Bru66] J.S. Bruner. *Towards a Theory of Instruction*. Harvard University Press, 1966.

[DJSS03] N. Dahlmann, S. Jeschke, R. Seiler und U. Sinha. MOSES meets MUMIE: Multimedia-based Education in Mathematics . In Freddy Malpica, Andrés Tremante und Nicoletta Sala, Hrsg., *International Conference on Education and Information Systems: Techno-*

logies and Applications, Seiten 370–375, Orlando, Fla., 2003. International Institute of Informatics and Systemics.

[Jes04] S. Jeschke. *Mathematik in Virtuellen Wissensräumen – IuK-Strukturen und IT-Technologien in Lehre und Forschung*. Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin, April 2004.

[JKS04a] S. Jeschke und R. Keil-Slawik. Next Generation in eLearning Technology – Die Elektrifizierung des Nürnberger Trichters und die Alternativen. Informationsgesellschaft. Alcatel SEL Stiftung, 2004.

[JKS04b] S. Jeschke, M. Kohlhase und R. Seiler. eLearning-, eTeaching- & eResearch-Technologien – Chancen und Potentiale für die Mathematik. *DMV-Nachrichten*, Juli 2004.

[Mum] Mumie community. Mumie. `http://www.mumie.net`.

[MV98] H. R. Maturana und F. J. Varela. *The Tree of Knowledge*. Boston, MA: Shambhala, 1998.

[Oor] Oorange: The Oorange development environment. `http://www.oorange.de`.

[Pae05] T. Paehler. *Design, Implementation and Application of a Reusable Component Framework for Interactive Mathematical eLearning Sites*. Dissertation, RWTH, Aachen, März 2005.

[Ves78] F. Vester. *Denken, Lernen, Vergessen*. dtv, 1978.