

Verknüpfung von Mathematik und ingenieurwissenschaftlichen Anwendungsfächern mit Hypertext und Computeralgebra¹

Burkhard Alpers, Fachhochschule Aalen, balper@fh-aalen.de

Abstract: In diesem Beitrag wird ein Konzept vorgestellt, um die Verknüpfung von Mathematikvorlesungen und deren Nutzung in Anwendungsvorlesungen durch interaktive Lernmaterialien auf der Basis von Hypertext und Computeralgebra zu unterstützen. Struktur und Einsatz bisher entwickelter Materialien zur Festigkeitslehre und zur Regelungstechnik sowie deren Evaluation werden dargestellt.

1. Einleitung: Probleme und Lösungsansatz

Studenten haben häufig Probleme, die in der Mathematik von Mathematikern gelehrt Konzepte in den ingenieurwissenschaftlichen Anwendungsfächern wiederzuerkennen und zu nutzen. Im Grundstudium wird zudem die benötigte Mathematik teilweise noch gar nicht behandelt, im Hauptstudium ist sie bereits wieder vergessen.

Dies führt oft zu einer negativen Einstellung seitens der Studenten gegenüber der Mathematik, die sie eher als intellektuelle Zwangsübung im Grundstudium betrachten denn als notwendige Basis für eine formalisierte Modellbildung, die Planung und Berechnung erlaubt. Stattdessen trifft man bei nicht wenigen Studenten auf eine passive "Einsetzmentalität", sodass sie lediglich vorgegebene Werte in eine Formel einsetzen möchten, ohne den Bezug zwischen mathematischen Eigenschaften und Manipulationsmöglichkeiten und ihren Anwendungsentprechungen zu kennen und zu nutzen. Hiervon sind im Grundstudium des Maschinenbaus, in dem der Verfasser die Mathematikvorlesungen abhält, vor allem die folgenden mathematikintensiven Fächer betroffen:

- Technische Mechanik
- Festigkeitslehre
- Physik
- Elektrotechnik

Im Hauptstudium nach dem 1. Praxissemester sind viele mathematische Begriffe und Verfahren nicht mehr präsent. Dies ist insbesondere bei den folgenden mathematikintensiven Fächern problematisch, bei denen ohne Kenntnis der benötigten mathematischen Modelle nur ein oberflächliches Verständnis möglich ist:

- Steuern und Regeln
- Maschinendynamik
- Meßtechnik, Meßdatenverarbeitung
- FEM

¹ Die in diesem Beitrag dargestellten Ergebnisse wurden im Rahmen eines Projekts erarbeitet, das im LARS-Programm des Landes Baden-Wuerttemberg gefördert wurde.

Um den oben benannten Problemen durch den Einsatz von Lernmaterialien zu begegnen, wurde ein mediendidaktisches Konzept nach dem Vorschlag von [Kerres] entwickelt (vgl. [Alpers1]). Diesem liegen im wesentlichen folgende Ansätze zugrunde:

- Die Materialien sollen eine explizite und verfolgbare Verknüpfung zwischen Anwendungsmodellierung und zugrundeliegender Mathematik bereitstellen. Medientechnisch bietet sich für die Realisierung einer solchen Anforderung Hypertext geradezu an.² Damit kann sich ein Student "auf Mausklick" den mathematischen Hintergrund vergegenwärtigen.
- Neben dokumentarischem Hypertext, der als Aktivität lediglich Klicken und Lesen erlaubt, soll das Lernangebot auch eine weitergehende aktivierende Komponente enthalten, die den Umgang mit Begriffen und das Experimentieren unterstützt. Hierfür bieten sich Computeralgebra-Systeme (CAS) an³, in denen Aufgabenumgebungen mit Hilfestellungen mit adäquatem Aufwand realisiert werden können.
- Die zielgerichtete mathematische Wiederauffrischung soll durch Lernmaterialien erleichtert werden, die alle für ein konkretes Anwendungsfach des Hauptstudiums benötigte Mathematik in der Notation des Anwendungsfachs enthält.

Gemäß diesem Ansatz sind Materialien für die Fächer "Festigkeitslehre I" (Grundstudium) und "Steuern und Regeln I, II" (Hauptstudium) erstellt worden. In den folgenden Abschnitten werden diese bezüglich Struktur, Einsatzmöglichkeiten und bisherigen Resultaten nur kurz umrissen, da sie von den WWW-Seiten des Verfassers heruntergeladen und im Detail betrachtet werden können.⁴

2. Das "Lernprogramm" Festigkeitslehre I

Nach den im ersten Abschnitt genannten Ansätzen besteht das "Lernprogramm" Festigkeitslehre aus einem dokumentarischen Hypertextteil und einer aktivierenden Aufgabenumgebung⁵.

Der Hypertextteil enthält als "roten Faden" alle Ergebnisse der vierstündigen Vorlesung Festigkeitslehre I, die im 1. Semester im Studiengang Maschinenbau abgehalten wird. Auf diese Themen kann über eine Hypertextliste zugegriffen werden. Werden bei der Beschreibung eines Themas aus der Festigkeitslehre mathematische Begrifflichkeit, Notation oder Lösungsverfahren verwendet, so gibt es einen Link zu den Mathematikseiten. Letztere liefern keinen Gesamtüberblick über die Mathematik des 1. und 2. Semesters, sondern nur den jeweils benötigten Teilaspekt. Damit wird natürlich die Mathematik immer nur "scheibchenweise" und nicht in ihrem logischen Aufbau präsentiert, eine entsprechende Mathematikvorlesung ist also keineswegs obsolet.

² Zum didaktischen Potential von Hypertext, auf das hier nicht ausführlicher eingegangen werden kann, vgl. [Kerres] und [Issing].

³ Zum didaktischen Potential von Computeralgebra-Systemen vgl. [Heugl].

⁴ Vgl. <http://www.fbm.fh-aalen.de>, Rubrik Professoren, Alpers, Arbeitsgebiete.

⁵ Vgl. zur näheren Beschreibung auch [Alpers2].

Zur Illustration sei das Anwendungsthema Auflagerreaktionen vorgestellt (vgl. Abbildung 1). Bei einem belasteten Balken sind hier die Lagerreaktionskräfte im Loslager A und im Festlager B zu berechnen.

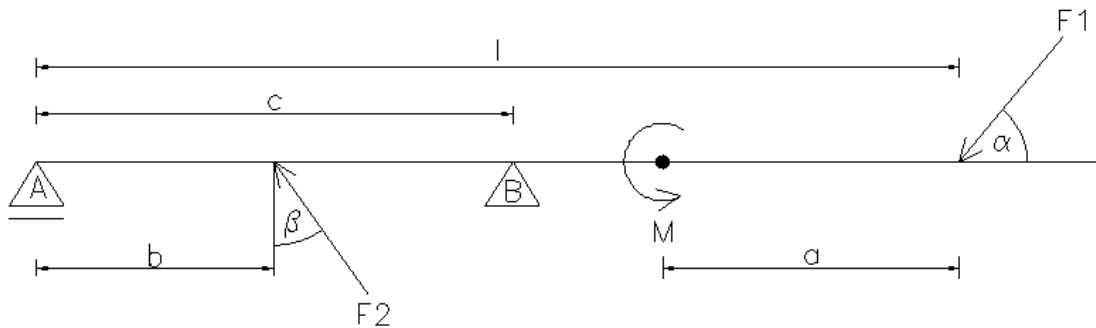


Abbildung 1: Auflagerreaktion

Hierzu werden zunächst die angreifenden Kräfte in (festzulegende) x- und y-Komponenten zerlegt, wofür trigonometrische Ausdrücke benötigt werden. Letztere kann der Benutzer unmittelbar per Link aufrufen, da sie in den Mathematikthemen bereitgestellt werden. Die Aufgabe wird gelöst, indem für die Gleichgewichtsbedingungen die Summe der Kräfte in x-Richtung bzw. y-Richtung sowie die Summe der Momente 0 gesetzt wird. Die hier benötigte Summennotation ist insbesondere für Studenten des 2. Bildungswegs ungewohnt, sodass auch hier ein Link zur mathematischen Erläuterung zur Verfügung steht. Schließlich ist das zugrundeliegende mathematische Modell ein lineares Gleichungssystem, auf dessen mathematische Beschreibung und Lösungsverfahren verwiesen wird.

Im Hypertext werden auch Verweise auf die Aufgaben der CAS-Aufgabenumgebung angeboten, die beim Mausklick (bei geeigneter Browserkonfiguration) das Starten von Maple (TM) mit dem entsprechenden Aufgabenworksheet bewirken. Bei den Aufgaben handelt es sich um die üblicherweise in der Vorlesung Festigkeitslehre I gestellten. Ein solches Worksheet enthält die Aufgabenbeschreibung, eine Sektion für die Bearbeitung und eine Lösungssektion. Für einzelne Schritte stehen textuelle Hilfen in einem Hilfe-Worksheet zur Verfügung. Daneben eignet sich die CAS-Umgebung besonders gut, um auch tutorielle Prozeduren zu implementieren, die den Check von Zwischenergebnissen ermöglichen und Hinweise auf Fehler geben⁶. Dies soll wiederum am Beispiel Auflagerreaktionen illustriert werden. Die Gleichgewichtsgleichungen der in Abbildung 1 dargestellten Konfiguration lauten:

$$Bx - F1x - F2x = 0 \quad , \quad Ay + By - F1y + F2y = 0, \quad F2y * b + By * c - F1y * l + M = 0$$

Mit der Prozedur "check_gleichungen(Aufg_Nr);" kann der Student seine eigenen Gleichungseingaben mit der korrekten Gleichungsmenge vergleichen lassen, und er bekommt Information über fehlerhafte Gleichungen, sodass er

⁶ Zur ausführlicheren Beschreibung der Implementierung von tutoriellen Prozeduren in CAS vgl. [Alpers3]. CAS-Lösungsprozeduren für Aufgaben der linearen Algebra, die das schrittweise Weiterarbeiten nach Hinweisen erlauben, finden sich auch in [Deeba].

diese noch einmal näher untersuchen kann. Das Grundprinzip solcher Prozeduren besteht darin, dass nur soviel an Information gegeben wird, wie für eine sinnvolle Weiterarbeit nötig ist ("coached problem solving").

Als Begleitmaßnahme beim Einsatz der Materialien wurden die Studenten in Zusatzsitzungen in das CAS Maple eingeführt, das auch in begrenzten Exemplaren leihweise zu Verfügung stand. Zudem dienten Demonstrations-sitzungen dazu, den sinnvollen Umgang insbesondere mit der CAS-Aufgaben-umgebung zu zeigen. Das Lernprogramm Festigkeitslehre wurde im SS 99 von 10 (von insgesamt 11) und im WS 99/00 von 30 (von 75) Erstsemestern im Maschinenbau genutzt. Während im SS die Studenten die Mathematikverweise weniger nutzten, da sie - wie sich in der Mathematik Klausur gezeigt hat - außergewöhnlich gute Mathematikkenntnisse aufwiesen, nutzten die im Durchschnitt schwächeren Studenten des WS die Mathematikverweise stärker, taten sich dafür aber bei der zusätzlichen CAS-Nutzung schwerer. Insgesamt wurde das Programm überwiegend als nützlich angesehen, jedoch ist die Festigkeitslehre gegenüber dem "Problemfach" Technische Mechanik eher unkritisch.

3. Mathematische Wiederauffrischungsmaterialien für "Steuern und Regeln I, II"

Die Wiederauffrischungseinheit "Mathematik für Steuern und Regeln I, II" enthält eine kurze Beschreibung aller mathematischen Begriffe, Sachverhalte und Verfahren, die im Rahmen der entsprechenden Vorlesung benötigt werden (z.B. Verhaltensmodellierung mit Funktionen, Funktionsgleichungen, Differentialgleichungen, Laplace-Transformation). Zudem werden Beispiele, die vom Benutzer variiert werden können, und Aufgaben mit Lösungen zum Verständnistraining angeboten. Das Ziel dieser Einheit besteht darin, daß sich die Studenten des 5. bzw. 6. Semesters gerade die benötigte Mathematik in Erinnerung rufen, um sich im Rahmen der Vorlesung besser auf die Anwendungssachverhalte und -modellierung konzentrieren zu können.

Die Beschreibungen und Aufgaben sind als Arbeitsblätter (Worksheets) mit dem CAS Maple erstellt worden. Die Studentenversion von Maple V Release 4 wird leihweise in beschränkter Anzahl zur Verfügung gestellt (mit Begleitbuch).

Es gibt im wesentlichen zwei Möglichkeiten der Nutzung des Angebots:

- Die Worksheets können einfach als **Textdokumente** betrachtet und als solche durchgearbeitet werden. Dafür ist eine Installation von Maple, das Laden des Start-Worksheets und von dort aus weiterer Worksheets und ggf. das Ausdrucken erforderlich. Der Aufwand bei dieser Alternative ist gering, da eine Einarbeitung in Maple nicht erforderlich ist.
- Die Worksheets können als **interaktive Dokumente** betrachtet werden, an denen man Veränderungen vornimmt, um die Auswirkungen zu studieren. Solche Veränderungen können Abänderungen in den bestehenden Maple-Kommandozeilen und die Eingabe von neuen Zeilen (etwa zur Konstruktion und Untersuchung neuer Funktionen) sein. Dazu ist natürlich eine Einarbeitung in Maple mit Hilfe von ebenfalls zu Verfügung gestellten

Einarbeitungsworksheets unerlässlich. Der Aufwand bei dieser Alternative ist deutlich höher, allerdings kann das Verständnis der mathematischen Konzepte und Verfahren auch besser unterstützt werden. Man hat zudem die Möglichkeit, das Verständnis mit Hilfe von Aufgaben zu testen. Da bei nachfolgenden Studentengenerationen die Arbeit mit einem CAS schon im Grundstudium trainiert wird, verringert sich die "Hürde" der CAS-Einarbeitung in den nächsten Jahren.

Das oben beschriebene Lernangebot stand im WS 99/00 den Studenten des 5. Semesters (20) für "Steuern und Regeln I" bzw. des 6. Semesters (28) für "Steuern und Regeln II" zur Verfügung. Als Begleitmaßnahme wurden in den ersten Semesterwochen zwei Maple-Einführungssitzungen und eine Demonstrationssitzung zum Gebrauch der Wiederauffrischungsworksheets durchgeführt.

Die Nutzung im 5. Semester war eher gering. Dies liegt zum einen an der hohen zeitlichen Belastung durch das Fach "Konstruktionslehre", zum anderen daran, dass die Klausur in "Steuern und Regeln" erst am Ende des 6. Semesters stattfindet. Um den Anreiz zur Beschäftigung mit den Materialien zu erhöhen, wird zukünftig eine stärkere Integration in das Anwendungsfach erfolgen, indem ein Worksheet zu Regelkreisgliedern und ihren Eigenschaften im Regelungs-technik-Praktikum beim Vergleich zwischen Theorie und praktischen Messungen an der Modellregelanlage zu verwenden ist.

Die Studenten des 6. Semesters haben die Materialien zwar stärker genutzt, aber auch hier ist ein höherer Anreiz erforderlich. Dieser soll zukünftig durch eine klausurrelevante CAS-Aufgabenumgebung geschaffen werden, mit der die momentan auf Papier ausgegebenen Aufgaben, aber auch beliebige neue Aufgaben von ähnlichem Typ (z.B. neue Schaltungen von elementaren Regelkreisgliedern) bearbeitet und überprüft werden können.

4. Resümee und Ausblick

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass die Maschinenbaustudenten das zusätzliche Lernangebot wegen der hohen zeitlichen Belastung durch das FH-Studium und der eher utilitaristischen Einstellung nur unter gewissen Voraussetzungen annehmen:

- Das Angebot betrifft Problemfächer mit hohem "Leidensdruck" wie z. B. die "Technische Mechanik".
- Es besteht ein klarer Nutzen für das (gute) Bestehen der Klausur.
- Es besteht eine sonstige enge Verbindung mit der Anwendungsvorlesung.
- Die Einarbeitung in ein Tool wie CAS ist für mehrere Fächer nützlich.

Werden Lernmaterialien als bloßes "Add-on" zu einem speziellen Fach angeboten, so ist die Nutzung durch Studenten eher unwahrscheinlich, zumal im Hauptstudium wegen der hohen zeitlichen Belastung durch die Konstruktion der Zeitaufwand für andere Fächer stark rationiert wird. Auch ist die Bereitschaft, im Hauptstudium überhaupt noch einmal ein tieferes Verständnis der zugrundeliegenden Mathematik zu erlangen, nicht sonderlich ausgeprägt.

Ferner hat sich gezeigt, dass einführende Begleitmaßnahmen, insbesondere Demonstrationen der Nutzung, unbedingt erforderlich sind, um das Interesse der

Studenten "wachzuhalten". Stellt man die Materialien lediglich zur Verfügung, so ist die Wahrscheinlichkeit der Nutzung eher gering. Mit solchen Begleitmaßnahmen ist natürlich ein nicht geringer zeitlicher Aufwand verbunden, wobei allerdings auch studentische Tutoren einsetzbar sind.

Basierend auf obigen Erkenntnissen sind folgende weitere Entwicklungen geplant oder bereits in der Realisierung:

- Für das in der Wahrnehmung der Studenten größte Problemfach "Technische Mechanik I, II" werden Materialien nach dem Muster des Lernprogramms "Festigkeitslehre I" erstellt (Hypertext und CAS-Aufgabenumgebung).
- Die Wiederauffrischungsmaterialien Steuern und Regeln werden um eine Anwendungsaufgabenumgebung mit Aufgaben zu Bodediagrammen, Blockschaltbildern, Übertragungsfunktionen u.ä. erweitert, sodass sie zur Klausurvorbereitung nützlich sind. Ferner ist - wie oben erwähnt - ein Arbeitsblatt mit Regelkreisgliedern erstellt worden, das im Regelungstechnikpraktikum zur Berechnung theoretischer Verläufe zwecks Vergleich mit praktischen Messungen zu nutzen ist.
- Weitere Wiederauffrischungsmaterialien für das Fach Maschinendynamik nach dem Muster derjenigen für Steuern und Regeln werden erstellt.
- Die tutoriellen Prozeduren in den CAS-Aufgabenumgebungen werden verbessert, sodass genauere Hinweise auf Fehler bei der Aufgabenbearbeitung gegeben werden und damit im Sinne des intelligenten Tutoring die eigenständige Bearbeitung gefördert wird.

Ein durchgängiges Angebot in ähnlicher Art ist für alle mathematikintensiven Fächer des Grund- und Hauptstudium beabsichtigt, wobei die Computeralgebra als generelle Aufgabenbearbeitungs- und Experimentierumgebung dienen soll.

Literatur

- [Alpers1] B. Alpers: Mediendidaktisches Konzept für das Projekt "Erstellung und Erprobung multimedialer Lernmaterialien zur Verzahnung von Mathematik und ingenieurwissenschaftlichen Anwendungsfächern", Aalen 1999
- [Alpers2] B. Alpers: Combining Hypertext and Computeralgebra to interconnect Engineering Subjects and Mathematics, Proc. ICTMT-4 (Int. Conf. on Technology in Math. Teaching), Plymouth 1999
- [Alpers3] B. Alpers: Using Computeralgebra for Rapid Development of ITS-Components in Engineering, preprint
- [Deeba] E. Deeba, A. Gunawardena: Interactive Linear Algebra with Maple V, Springer: New York 1998
- [Heugl] H. Heugl, W. Klinger, J. Lechner: Mathematikunterricht mit Computeralgebra-Systemen, Addison-Wesley: Bonn 1996
- [Issing] L.J. Issing, P. Klimsa (Hrsg.): Informationen und Lernen mit Multimedia, 2. überarb. Aufl., Beltz: Weinheim 1997
- [Kerres] M. Kerres: Multimediale und telemediale Lernumgebungen, Konzeption und Entwicklung, Oldenbourg: München 1998