

Interaktives Lernen via Internet

Am Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik der TU Graz wurde ein Service für Interessierte eingerichtet, der es erlaubt, grundlegende Effekte der Elektrotechnik unter Benutzung eines WWW-Browsers interaktiv über das Internet zu studieren.

Robert Hoschek

Die Popularität des Internets und des World Wide Web eröffnet auch neue Wege des Lehrens und Lernens. Eine Technologie, die eine standardisierte Lernumgebung bietet, vermeidet den Bedarf an spezieller Hard- und Software für den Benutzer. Aus diesem Grunde wurde ein Konzept entwickelt, welches konsequent das WWW zur Vermittlung abstrakter Inhalte der Theoretischen Elektrotechnik benutzt. Es sollte möglich gemacht werden, analytische Methoden zu verifizieren und numerische Verfahren sowie zeitabhängige Vorgänge zu demonstrieren. Während die Umgebung und Grundfunktionalität eines solchen interaktiven Lernsystems durch die zahlreichen Standards, die das WWW beschreiben und die Protokolle, die für eine funktionierende Kommunikation der einzelnen Komponenten sorgen, vorgegeben sind, mußte die im Hintergrund arbeitende Software des Instituts leicht angepaßt werden. Mittlerweile kann der IGTE WWW-Server bereits mit einer Reihe von Beispielen aus verschiedenen Bereichen der Elektrotechnik aufwarten (**Abbildung 53**).

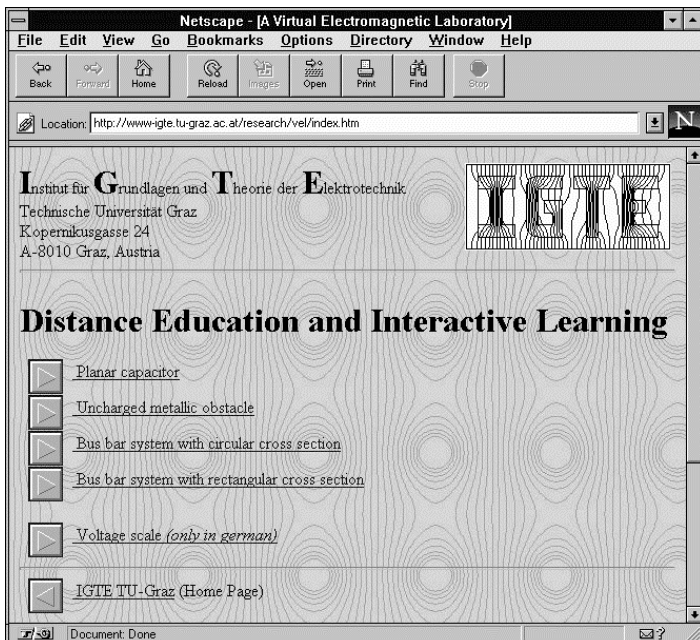


Abbildung 53: Home-Page zum Thema „Interaktives Lernen“

Entwurfskriterien

Soweit möglich sollen stark unterschiedliche Interessen der Benutzer befriedigt werden. So können Studenten elektrotechnischer Studien an einer Vertiefung des Gelernten aus den Vorlesungen interessiert sein, während andere Benutzer innerhalb und außerhalb der Universität nur einen weniger detaillierten Einblick in die Theoretische Elektrotechnik und aktuelle Forschungsarbeiten bekommen möchten. Es sind also eine Reihe von Aspekten beim Entwurf zu berücksichtigen.

• Verwendung von Standard-Software

Die Informationen für den Interessenten sollen in einer ihm vertrauten Umgebung erscheinen. Das World Wide Web als bekanntes Hypermedia-System bietet sich dafür an. Jeder, der den *Netscape Navigator* oder *MS Internet Explorer* bedienen kann, findet sich auch in der Lernumgebung zurecht. Mittlerweile stehen WWW-Browser für mehr als 15 verschiedene Betriebssysteme zur Verfügung. Nicht zuletzt verhindert die Verwendung vor allem im Ausbildungsbereich frei erhältlicher Software rechtliche Probleme, weil jene Teile der - für den Benutzer unsichtbaren - Software, die durch Copyright geschützt sind oder deren Verbreitung durch Lizenzvereinbarungen eingeschränkt ist, nicht am Rechner des Benutzers installiert werden müssen.

• Vernünftige Hardware-Erfordernisse

Im allgemeinen benötigen Programme zur numerischen Berechnung elektromagnetischer Felder eine großzügig dimensionierte Rechnerausstattung. Um diese Rechenverfahren auch Benutzern mit normaler Ausrüstung zugänglich zu machen, werden die aufwendigen Berechnungen auf dem institutseigenen Rechner durchgeführt. Die Erfordernisse des Benutzerrechners reduzieren sich auf eine Standard-Konfiguration mit Internetzugang.

• „Virtuelle“ Experimente

Der Lehrinhalt soll in „Virtuellen Experimenten“ präsentiert werden, um dem Lernenden die Illusion zu vermitteln, in einem realen Laboratorium zu üben. Studierende, die das Experiment z.B. im Rahmen einer Lehrveranstaltung am Institut auch real durchführen, können virtuelle und reale Ergebnisse vergleichen und diskutieren. Dabei kann das Hauptaugenmerk auf das physikalische Verständnis gelegt werden, während numerische Techniken unsichtbar bleiben.

• Animierte Ergebnisse

Zeit- oder parameterabhängige Vorgänge sollen als Computeranimationen dargestellt werden. Dabei erscheint eine Online-Berechnung in diesen Fällen oft als zu zeitaufwendig und würde die Geduld des Benutzers übermäßig strapazieren, so daß eine Vorbereitung fertiger Animationen in den meisten Fällen zweckmäßig erscheint [1].

• CD-ROM-Tauglichkeit

Bei der Entwicklung der Lernumgebung sollte auch das Medium CD-ROM im Auge behalten werden, um eine Verwendung der Lehrbeispiele ohne Netzwerk oder in einer Kombination beider Medien zu ermöglichen. Dies stellt besondere Anforderungen an den interaktiven Teil des Systems.

• Einfache Beispielerstellung

Die Erstellung von Lehrbeispielen muß auch für Nicht-Programmierer ohne besondere Unterstützung von außen möglich sein. Zumindest ein Rahmenwerk für ein interaktives Beispiel sollte leicht zu erzeugen sein, welches als Rohversion für ein beabsichtigtes virtuelles Experiment dienen kann.

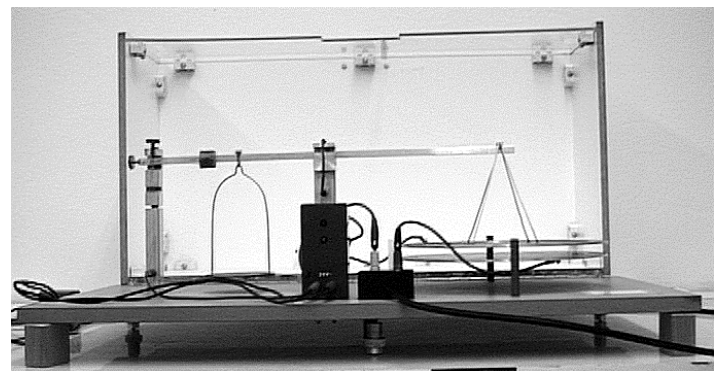


Abbildung 54: Das reale Experiment im Labor

Zur Sache

Die Funktionsweise des interaktiven Lernsystems soll anhand des nachfolgenden Beispiels aus dem „Virtuellen Laboratorium“ erläutert werden. Dieses Experiment kann sowohl real im IGTE-Studentenlabor (z.B. im Rahmen einer Lehrveranstaltung laut Studienplan) als auch virtuell über Internet durchgeführt werden. Reizvoll ist vor allem der Vergleich der Resultate.

Im realen Labor beschäftigen sich die Studierenden mit der Anordnung zwei kreisförmiger Metallplatten, die einstellbar 5 oder 10mm voneinander entfernt sind (Abbildung 54). Über eine Balkenwaage mit Gegengewicht wird die Kraftwirkung zwischen den beiden Platten gemessen, wenn eine Hochspannung von 1-10kV angelegt ist. Dabei muß das notwendige Gegengewicht berechnet werden, bevor die Hochspannung eingeschaltet wird (Abbildung 55).

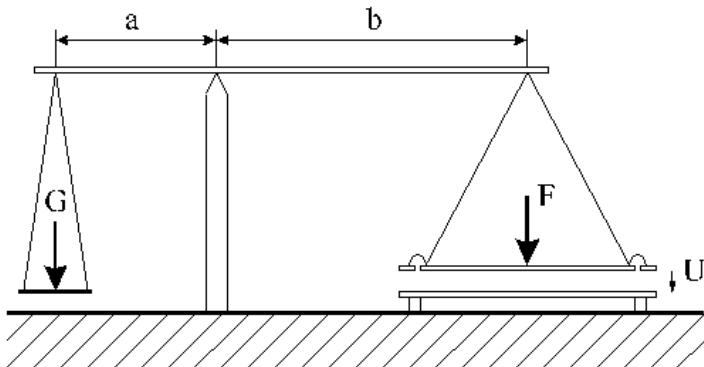


Abbildung 55: Das virtuelle Experiment im WWW

Das äquivalente virtuelle Experiment ist die Berechnung der elektrostatischen Kraftwirkung zwischen den beiden Metallplatten mit der Methode der Finiten Elemente (FEM). Der Benutzer kann den Plattenabstand und die angelegte Spannung festlegen, indem er die gewünschten Werte in das Formular einträgt (Abbildung 56). Zusätzlich kann auch ein Wert für eine kleine („differentielle“) Verschiebung der Platten angegeben werden. Dieser ist für die numerische Berechnung erforderlich, da die Kraftwirkung über die Änderung der Gesamtenergie des Systems errechnet wird ($dW_{el} = -F ds$).

$$F = -\frac{dW_d}{ds} = -\frac{d}{ds} \left(\frac{U^2 C(s)}{2} \right) = -\frac{U^2}{2} \frac{d}{ds} \left(\frac{\epsilon_0 A}{s} \right) = \frac{U^2}{2} \frac{\epsilon_0 A}{s^2} \quad (7)$$

Die Kraft ist dann positiv, wenn eine Vergrößerung der Kapazität, d.h. eine Annäherung der Elektrode, stattfindet. Betrachtet man den Fall der nichtabgeschalteten Spannungsquelle, so ergibt sich für die mechanische Kraft das gleiche Resultat. Die Spannungsquelle liefert jetzt Energie nach, um die Spannung zwischen den Platten konstant zu halten.

10000 ... angelegte Spannung in Volt
 10 ... Plattenabstand in mm (5 bis 15 mm)
 0.1 ... Verschiebung der beweglichen Platte nach unten (0.01 bis 1 mm)

Abbildung 56: Eingabeformular für die Kraftberechnung

Nach der Eingabe der Werte in die entsprechenden Felder müssen die Informationen durch Mausklick auf den „Berechnen“-Knopf übermittelt werden. Diese Daten werden am Applikations-Server vom Präprozessor verarbeitet und die geometrischen Parameter in dem der FEM-Berechnung zugrundeliegenden Gitternetz berücksichtigt. Ebenso wird die von Benutzer vorgegebene Spannung an den Platten als Randbedingung in die Berechnung eingebracht. Anschließend wird auf dem Applikations-Server eine FEM-Berechnung durchgeführt. Das gewünschte Ergebnis, die Kraftwirkung, erhält man durch zweimaliges Berechnen, wobei in einem Fall eine Platte geringfügig verschoben wird. Das Ergebnis wird in Form einer Tabelle angezeigt (Abbildung 57). Der gesamte Berechnungsvorgang dauert etwa 20 Sekunden, darin ist die Übertragungszeit, welche von der Qualität der Internet-Verbindung abhängt, nicht enthalten.

| | Energie ohne v. Verschiebung | Energie mit v. Verschiebung | Kraft | Masse |
|-----------|------------------------------|-----------------------------|--------|-----------|
| | [J] | [J] | [N] | [kg] |
| U[V]=5000 | 0.170988E-02 | 0.173219E-02 | 0.2231 | 0.0227421 |
| s[mm]=5 | | | | |

5000 ... angelegte Spannung in Volt
 5 ... Plattenabstand in mm (5 bis 15 mm)
 0.1 ... Verschiebung der beweglichen Platte nach unten (0.01 bis 1 mm)

Abbildung 57: Ergebnis der Kraftberechnung

Durch den Umstand, daß die berechneten Ergebnisse in erster Linie von den Eingaben des Benutzer abhängig sind, ist das Beispiel hervorragend dazu geeignet, um sich auf einfache aber einprägsame Art mit dem zugrundeliegenden Phänomen der Anziehung bzw. Abstoßung geladener Objekte vertraut zu machen.

Ein anderes Diskussionsthema in diesem Beispiel ist der Einfluß der Inhomogenität des elektrischen Feldes am Rand der Elektroden. Um im Labor bessere Ergebnisse für die Bestimmung der Kraftwirkung zu erzielen, ist die obere Platte, die zur Berechnung herangezogen wird, von einem Metallring umgeben, an den die gleiche Spannung angelegt wird. Dadurch bleibt das Feld am Rand der Platte annähernd homogen, die Feldverzerrungen am äußeren Rand des Ringes gehen in die Kraftbestimmung nicht ein, weil Platte und Ring mechanisch nicht verbunden sind. Im virtuellen Laboratorium muß man sich nicht mit dieser Erklärung zufrieden geben, es kann das Feld zwischen Platte und Ring sowie am äußeren Rand des Rings untersucht werden (Abbildung 58). In der Darstellung des Feldbilds kann durch Mausklick ein Bereich selektiert werden, der dann entsprechend dem von Benutzer gewählten Zoomfaktor neu berechnet und dargestellt wird.

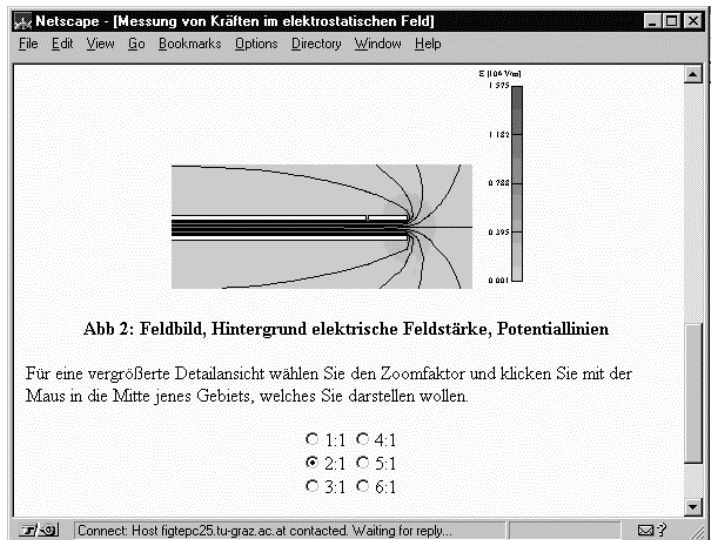


Abbildung 58: Zoomen eines Ausschnitts

Die Hardware ...

Um die Beispiele - so wie das zuletzt beschriebene - in dieser interaktiven Form anbieten zu können, sind am IGTE zwei Personal Computer installiert (Abbildung 59). Ein Rechner ist ein 486/DX33, welcher die WWW-Dokumente anbietet. Da die numerischen Berechnungen auf einem getrennten Rechner durchgeführt werden, ist die Leistungsfähigkeit des WWW-Server für den reinen Zugriff auf die Dokumente über das Internet ausreichend. Der erwähnte zweite PC ist ein Penti-

um/100MHz, auf dem die komplette Software des Instituts zur Berechnung elektromagnetischer Felder installiert ist. Außerdem ist auch noch eine DEC Alpha-Station vorgesehen, um das System bei rechenintensiven Anwendungen, z.B. dreidimensionalen Aufgabenstellungen zu entlasten.

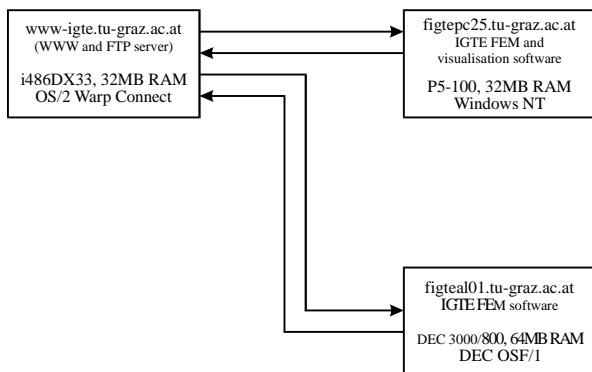


Abbildung 59: Hardware-Ausrüstung

.. und die Software

Bei der Auswahl des Betriebssystems und der benötigten Programme, um Internetdienste anbieten zu können, mußte vor allem das Vorhandensein am Institut entwickelter und nicht beliebig portierbarer Software, welche via Internet benutzt werden soll, berücksichtigt werden.

Der WWW-Server läuft unter *OS/2 Warp Connect*, welches für diesen Zweck am geeignetsten erscheint. Da keine Berechnungen auf diesem System laufen, ist die Verwendung von OS/2 kein Widerspruch zu der Tatsache, daß die IGTE-Software nicht unter OS/2 verfügbar ist. Als WWW-Server-Programm wurde das Freeware-Programm *GOSERVE 2.47* von *Mike Cowlinshaw (IBM)* gewählt. Dazu wurde eine Erweiterung, zur Verfügung gestellt vom *OS/2 Forum Austria*, installiert, die Betrieb und Wartung des Servers erheblich erleichtern.

Der Anwendungsserver läuft unter *Windows NT*, weil letzteres die Entwicklungsplattform für die IGTE-Berechnungssoftware ist. Die Programme zur Berechnung mußten an den neuen Verwendungszweck angepaßt werden, weil Eingaben durch den Benutzer während der Berechnung nicht möglich sind. Für die Berechnung relevante - vom Benutzer abhängige - Daten müssen vor Beginn des Berechnungsprozesses bereits vorliegen.

Wenn ein WWW-Browser Daten von einem Server anfordert, handelt es sich im größtenteils um statische Dokumente, die vorher erstellt wurden. Auch jedes Beispiel ist komplett in der *Hyper-Text Markup Language (HTML)*, der Standard-Beschreibungssprache für WWW-Dokumente, geschrieben. In der HTML-Spezifikation sind auch Formulare vorgesehen, die es dem Benutzer erlauben, mit dem WWW-Server interaktiv zu kommunizieren. So kann man Daten in Eingabefelder eintippen oder durch Anklicken von Knöpfen Entscheidungen treffen. Diese Informationen werden dann an den Server übermittelt. Um am Applikationsserver - den Eingaben des Benutzers entsprechend - sinnvolle Abläufe zu starten, mußte ein Mechanismus zur Bearbeitung der übergebenen Daten entwickelt werden. Um die Gültigkeit oder Sinnhaftigkeit der Eingaben zu überprüfen und die zur Berechnung nötigen Programme zu starten, wird die weitverbreitete *Tool Command Language (TCL)* benutzt [2]. Dieser, im Quelltext frei erhältliche Kommando-Interpreter wurde um die Fähigkeit des *Dynamic Data Exchange (DDE)* erweitert [3]. Durch diese Erweiterung können Datei-basierende Kommunikation oder exzessive Kommandozeilen-Parameterlisten teilweise vermieden werden, der TCL-Interpreter sendet seine Kommandos an die Prä- und Postprocessing-Programme per DDE.

Die Programme zur numerischen Berechnung erhalten die Eingaben aus Kompatibilitätsgründen ausschließlich aus Dateien. Auf einen Teil der Berechnungsdaten kann ausschließlich von den am Server laufenden Programmen zugegriffen werden, Ergebnisse (in Form von dynamisch erzeugten HTML-Dokumenten) werden in ein öffentliches Verzeichnis gelegt, wo sie temporär im Internet zur Verfügung stehen. Nach der Übertragung an den aufrufenden Client werden sie jedoch gelöscht. Lediglich durch Benutzereingaben erzeugte Graphiken werden gespeichert, um eine Datenbank aller berechneten Lösungen aufzubauen.

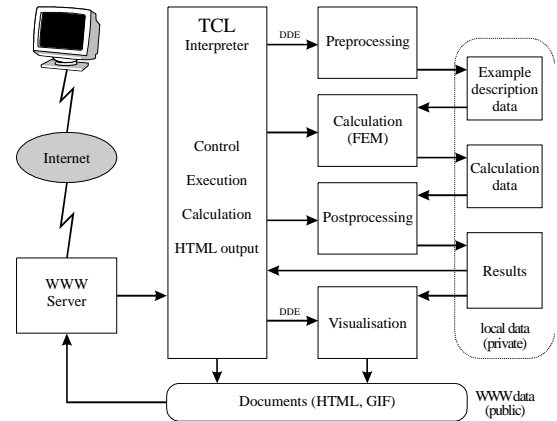


Abbildung 60: Arbeitsweise des Applikationsservers

Im beschriebenen Beispiel muß das TCL-Skript die elektrostatische Kraftwirkung zwischen den beiden Elektroden berechnen. Die Aufgabenverteilung und der Informationsfluß ergibt sich gemäß **Abbildung 60**. Um die Kraftwirkung zu bestimmen, muß die elektrische Energie des Systems zweimal berechnet werden, davon einmal mit einem geringfügig veränderten Abstand (zur numerischen Approximation der virtuellen Verschiebung). Das übermittelte HTML-Dokument wird vollständig vom TCL-Skript erstellt. So kann das System auf die unterschiedlichen Eingaben (einschließlich der fehlerhaften) sehr flexibel reagieren und entsprechend angepaßte Ergebnisdarstellungen liefern.

In einem anderem Teil dieses Beispiels kann ein spezieller Bereich der Graphik vergrößert dargestellt werden. Dies erfordert eine komplexere Interaktion zwischen dem WWW-Browser und dem Server. Der HTML-Standard erlaubt keine gleichzeitige Übermittlung von Daten, die in einem Formular eingegeben wurden (in diesem Fall der Zoom-Faktor) und der Position eines Mausclicks in einer Graphik. Es könnte entweder die Position oder der Zoom-Faktor übermittelt werden. Aus diesem Grund enthält das Dokument *JavaScript*-Befehle, die dafür sorgen, daß die gewünschten Informationen zum Server übertragen werden.

Resümee

Das hier beschriebene Ausbildungssystem verwendet aktuelle Technik, vor allem World Wide Web-Spezifikationen und -Protokolle. Dadurch wird der Entwickler oder Lehrer von der Notwendigkeit, ein Lernsystem selbst zu entwickeln, befreit. Die Arbeit beschränkt sich auf das Erstellen des Lehrbeispiels. Der Benutzer oder Student auf der anderen Seite ist nicht gezwungenermaßen mit den Details der numerischen Feldberechnung konfrontiert, sofern das nicht der gewünschte Inhalt der Übung ist. Nicht zuletzt ist durch die Benutzung des Mediums WWW der äußere Rahmen für alle Benutzer gleich - egal, ob innerhalb der Universität und in Übersee.

Literatur

- [1] K. Preis, I. Bardi, O. Biro, R. Hoschek, M. Mayr, U. Peterlini and K.R. Richter: "Computer Animation of Electromagnetic Phenomena", *IEEE Trans. Magn.*, vol. 31, No. 3, pp.1714-1717, 1995
- [2] J. K. Ousterhout, "TCL and the Tk Toolkit", Addison Wesley, 1994
- [3] Microsoft Windows Software Development Kit, Microsoft Corporation, 1987-96

WWW-Adressen

- IGTE Home-Page
<http://www-igte.tu-graz.ac.at>
- Interaktive Beispiele
<http://www-igte.tu-graz.ac.at/research/vel/>
- GOSERVE (Mike Cowlinshaw)
<http://www2.hursley.ibm.com/goserve/>
- GOHTTP-Skript (OS/2 Forum Austria)
<http://www.os2forum.or.at/software/local/ofaegf/>
- JavaScript
<http://home.netscape.com/eng/mozilla/Gold/handbook/javascript/>