3D/VR-Visualisierung eines Motormodells in der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulausbildung

Sebastian Metag, Volker Neundorf, Andreas Möckel

FG Medienproduktion, FG Allgemeine Elektrotechnik, FG Kleinmaschinen
Technische Universität Ilmenau, Max-Planck-Ring 14, 98693 Ilmenau
Sebastian.Metag@TU-Ilmenau.de, Volker.Neundorf@TU-Ilmenau.de
Andreas.Moeckel@TU-Ilmenau.de

Abstract: Die Möglichkeiten, komplexe Zusammenhänge mittels Computervisualisierung anschaulich darzustellen, sind im universitären Umfeld ein wirksames Mittel zur Lehrstoffvermittlung. Die Ziele bestehen in der Herstellung des Zusammenhangs zwischen abstrakt-mathematischer Modellvorstellung und der praxisrelevanten realen Ausführung sowie der technischen und didaktischen Reaktion auf eine geänderte Lehrsituation. Der vorliegende Beitrag widmet sich dem Vergleich interaktiver Visualisierungsformen eines Motormodells hinsichtlich Integration, Akzeptanz und Lernprozess in der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulausbildung. Am Beispiel eines Asynchronmotors werden die derzeitigen Möglichkeiten diskutiert, einen elektromechanischen Energiewandler für die universitäre Lehre modellhaft aufzubereiten, sodass ein vielseitiges Lehr-/Lernobjekt zur Vermittlung der Funktions- und Wirkungsweise entsteht.

1 Einordnung

Ingenieur- und Naturwissenschaften bedienen sich der Modellierung und Visualisierung, um komplexe Sachverhalte veranschaulichen und vermitteln zu können. Anhand von Modellen kann der Bezug zur praktischen Anwendung hergestellt werden. Je nach Art des Modells ist es möglich, die vorab theoretisch untersuchten Veränderungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Eigenschaften und Verhalten zu prüfen. Durch diese Art der Verankerung und Einordnung des Lehrstoffes in die Praxis kann Wissen transferiert, gefestigt und die Motivation der Studierenden erhöht werden. Neben realen Modellen können interaktive, dreidimensionale Darstellungen und immersive Virtual-Reality-Modelle die Brückenbildung von Theorie zur Praxis erleichtern. Sie leisten dabei einen Beitrag zur fehlenden Erfahrung durch eigene Beobachtung und geben Anreize für eine forschende Beobachtung, um die Lücke zur Praxis zu schließen.

Das für die Untersuchungen ausgewählte Modell eines Asynchronmotors (ASM) wird in den Lehrveranstaltungen Allgemeine Elektrotechnik (~600 Bachelor-Studierende), Elektrische Motoren und Antriebe (~60 Bachelor-Studierende) und Kleinmaschinen (~10 Master-Studierende) eingesetzt.

2 Problemstellung

Dozenten sehen sich vor die Herausforderung steigender Studierendenzahlen und veränderter Erwartungen gestellt. Daraus erwächst die Forderung nach der Entwicklung neuer didaktischer Szenarien. Die Notwendigkeit des Einsatzes von Modellen in Vorlesungen und Seminaren bleibt nicht nur bestehen: Die praktische Demonstration gewinnt durch fehlenden Erfahrungsbezug der Studierenden zunehmend an Bedeutung. Bleibt dieser aus, dann ergeben sich Verständnisschwierigkeiten der zugrundeliegenden mathematischen Modelle.

Eine Problematik beim Einsatz realer Modelle ist die geänderte Lehrsituation. Größere Gruppen und entsprechend geänderte Räumlichkeiten machen die Einbringung realer Modelle und das Experimentieren unmöglich. Damit können die grundsätzlichen Lernziele der Veranstaltungen – theoretische Vermittlung von Zusammenhängen und Wissen; Vermittlung von Erfahrung; reales Erleben – nicht mehr erreicht werden. Darüber hinaus können reale Modelle nur beschränkt die gewünschte Abbildung theoretischer Zusammenhänge ermöglichen. Durch die im Wesentlichen statische Veranschaulichung und geringe Interaktivität sind sie in ihrem Funktionsumfang und in der Möglichkeit des Erlebens konkreter innerer und abstrakter Sachverhalte beschränkt.

Eine interessante Perspektive ergibt sich im Einsatz interaktiver, virtueller Modelle. Sie bieten das Potential zum Verstehen komplexer Sachverhalte und zur Motivation von Studierenden [SK02]. Für eine benutzerfreundliche und didaktisch einwandfreie Umsetzung sind jedoch die inhaltlichen, technischen, didaktischen und organisatorischen Aspekte der Medien zu berücksichtigen.

3 Lösungsansätze

Die für die Darstellung des Betriebsverhaltens elektrischer Maschinen verwendeten Ersatzelemente sind in ihrer Bedeutung am realen Modell nur schwer zu beschreiben, gerade wenn ein Ersatzelement mehrere Einflussgrößen zusammenfasst. Dieser Schwierigkeit der Wissensvermittlung begegnen die folgenden Lösungsansätze: In einem mehrstufigen Prozess wurde und wird die virtuelle Repräsentation des Motors hinsichtlich der Visualisierungs- und Interaktionsmöglichkeiten und damit dem Potential zum Einsatz in der Lehre ausgebaut. Im ersten Schritt wurde die Visualisierung eines Asynchronmotors (ASM) durch ein interaktives, webbasiertes 3D-Modell implementiert und in Lehrveranstaltungen erfolgreich getestet [Cu08]. Der nächste Schritt bestand in der prototypischen Umsetzung und Evaluation eines interaktiven und immersiven Virtual-Reality-Modells. Aktuelle Untersuchungen widmen sich dem Transfer von manuell erstellten Verhaltens*animationen* zu echtzeitfähigen, mathematisch exakten Verhaltens*simulationen*. Die Schaffung dieser virtuellen, interaktiven Wissensräume [AB02] garantiert die praxisnahe Einbettung in die Lehre und eine Anbindung an die Erlebniswelt der Studierenden.

3.1 Interaktives, webbasiertes 3D-Modell

Die 3D-Komponente ist in ein Java-Applet eingebettet und dadurch flexibel online einsetzbar. Durch die Konzeption als webbasierte 3D-Anwendung ist die Entwicklung sowohl browser- als auch plattformunabhängig einsetzbar.

Das Zusammenführen der parametrisierten, interaktiven 3D-Darstellung mit vorausberechneten Kennlinien des Motors ermöglicht die Demonstration der Auswirkung von konstruktiven Änderungen auf das Betriebsverhalten. Die Betriebskennlinien bilden damit die Brücke zwischen abstraktem Modell und realer Konstruktion. Ausgewählte Konstruktionsparameter des Motors lassen sich mittels grafischer Bedienelemente sofort sichtbar manipulieren (Abbildung 1). Neben Bewegung, Rotation und Skalierung können einzelne Bauteile des Modells in ihrer Transparenz variiert oder ein- und ausgeblendet werden. Von besonderem Interesse sind Manipulationen von Bauteilen, die eine direkte Auswirkung auf die Kennlinien haben. Dazu zählen die verschiedenen Stabformen sowie deren Variationen und den dazugehörigen Kennlinien für Wirkungsgrad, Drehmoment und Leistung. Diese Parametervielfalt wird dynamisch und in Echtzeit auf das 3D-Modell übertragen und dargestellt.

Abbildung 1: 3D-Modell des ASM (links), Detaildarstellung und Betriebskennlinien (rechts)

Das interaktive, webbasierte 3D-Modell bietet ein sehr gutes Aufwand-Nutzen-Verhältnis in den Lehrszenarien Vorlesung, Seminar und Blended Learning. Die Beobachtung von Auswirkungen von Parameteränderungen auf das Betriebsverhalten hat sich dabei als besonders lernzielführend herausgestellt, kann bei der Memoration helfen und damit die Prüfungsvorbereitung unterstützen.

3.2 Immersives Virtual-Reality-Modell

Virtual-Reality-Systeme bieten die Möglichkeit räumlicher, multimodaler Darstellung von objektbeschreibenden Daten. Ziel ist es, den Benutzer in eine virtuelle Umgebung eintauchen zu lassen und ein Gefühl von Präsenz, eines unmittelbaren und natürlichen Vorhandenseins von Objekten entstehen zu lassen [Bo05]. Ausgangspunkt der Modell-Aufbereitung für VR war die Liste von Funktionen des webbasierten 3D-Modells. Aufgrund deutlich verschiedener konstruktions-, interaktions- und darstellungstechnischer Voraussetzungen von 3D- und Virtual-Reality-Modellen mussten insbesondere das Navigations- und Interaktionskonzept angepasst werden.

Zu den wichtigsten Funktionen des Virtual-Reality-Modells zählte:

- Intuitive, natürliche Interaktion mit dem Motormodell (z.B. Greifen und Bewegen von Bauteilen)
- Freie Navigation und Perspektivwahl in der virtuellen Umgebung
- Einbetten des Motormodells in einen Kontext aus Maschine und virtuellem Raum (z.B. Modell einer Waschmaschine in einer Wäscherei)
- Abbildung realer Größenverhältnisse durch stereoskopische 1:1 Darstellung
- Hervorhebung von Baugruppen durch Falschfarben und Ein-/Ausblenden
- Räumliche Explosion aller Komponenten zur Exploration des Modells

Abbildung 2: 90°-, 135°- und 180°-Setup des VR-Systems

Für die Untersuchung stand ein Virtual-Reality-System zur Verfügung. Dieses bietet eine variable 3-Seiten-Projektion (Abbildung 2), die einen räumlichen Eindruck des Lernobjektes bei unterschiedlichen Positionen der Benutzer erlaubt. Interaktionen mit und in der virtuellen Umgebung konnten mit Hilfe eines Flysticks durchgeführt werden. Zusammenfassend mussten folgende Eigenschaften sichergestellt sein: Interaktivität, Echtzeitfähigkeit, Dreidimensionalität und Immersion [St92] [AB02] [Wh02]. Das daraus resultierende Gefühl einer Präsenz in der virtuellen Umgebung setzt voraus, dass Interaktionen und Reaktionen in der virtuellen Umgebung den realweltlichen Verhältnissen entsprechen [Br09]. Eine genaue Analyse der Benutzer und ihrer Aufgaben ist deshalb von hoher Bedeutung [Sh97] [RW02]. Untersuchungen zeigen die Unterschiede in Wahrnehmung und Fähigkeiten im Umgang mit Virtual Reality in Abhängigkeit von den Merkmalen der Benutzer [Me08a]. Mit dem Modell können Dozenten den Defiziten statischer Modelle sehr gut begegnen. Die hohe Flexibilität in der Darstellung und die Interaktion erlauben die Konzentration und Reduktion auf wesentliche Lerninhalte. Die Einbettung in einen Kontext kann den Bezug zur Praxis herstellen. Die breite sensorische Stimulation und das resultierende Gefühl einer Präsenz erhöhen die Motivation der Studierenden und bewegen sie zu eigener Exploration. Das VR-Modell ermöglicht die anschauliche und realistische Darstellung des Lernobjektes und unterstützt die korrekte Einschätzung von Eigenschaften [Me08b]. Die virtuelle Umgebung erlaubt die freie Betrachtung aus unterschiedlichen Perspektiven und fördert so die Performanz und Intensität des Lernens [Sa95].

4 Diskussion & Ausblick

Die beiden untersuchten Modelle haben ihre Berechtigung in verschiedenen Lehrszenarien. Das webbasierte 3D-Modell ist hervorragend für größere Gruppen (Vorlesung) geeignet. Im Vordergrund stehen die Veranschaulichung von Zusammenhängen zwischen Parameteränderung am Motor und Auswirkungen auf dessen Eigenschaften und Verhalten. Das Modell ist flexibel einsetzbar, stellt nur geringe computertechnische Anforderungen und kann von Dozenten in der Lehre wie auch von Studierenden in Vor- und Nachbereitung genutzt werden. Die iterative Entwicklung beider Modelle nach Prinzipien des Usability Engineerings erforderte eine mehrstufige Evaluation der Ergebnisse [Ma99]. So wurde das VR-Modell zunächst durch VR-Experten hinsichtlich grundlegender Darstellungs- und Interaktionsmechanismen bewertet. Eine zweite Evaluation erfolgte mit Fachexperten, d.h. den Dozenten und wissenschaftlichen Mitarbeitern. Die Ergebnisse sind positiv, zeigen aber auch die Grenzen des VR-Systems auf: Besonders das Verständnis für konstruktionsbedingte Fragestellungen und die Erfassbarkeit komplexer Informationen werden durch Problemseparierung und -fokussierung möglich. Die Einbettung in einen Kontext hilft bei der Anbindung an die Lebenswelt der Studierenden und erhöht so die Motivation. Die Immobilität des VR-Systems macht eine gute Planung des Einsatzes notwendig, eine spontane Integration in eine Lehrveranstaltung ist kaum möglich. Eine Begrenzung findet die Anwendung auch in der Gruppengröße. Bauartbedingt können (je nach Setup) bis zu 25 Personen das VR-System gleichzeitig nutzen. Gerade die Beschränkung der Gruppengröße bietet aber das Potential für ein gemeinsames Erleben und hohe Informationsintensität. Sie stellen eine Erfahrungsbasis sicher und ermöglichen so eine Kommunikation und das Lernen in der Gruppe. Der hohe Immersionsgrad eines Virtual-Reality-Systems, die stereoskopische Projektion und die Abschottung von realen Umgebungseinflüssen üben eine hohe Belastung auf unerfahrene Benutzer aus. Durch geeignete Maßnahmen können die Auswirkungen jedoch gezielt begrenzt werden [St02]. Abschließend ist eine ausführliche Evaluation mit Studierenden geplant. Dabei sollen Präsenzgefühl, Interaktivität, Verständlichkeit präsentierter Informationen, Lernatmosphäre und resultierende Motivation empirisch untersucht werden.

Die aktuellen Ergebnisse bestätigen den Erfolg des webbasierten 3D-Modells. Die besonderen Möglichkeiten des Virtual-Reality-Modells, insbesondere die realistische Darstellung des Lernobjektes und die Präsenz in der virtuellen Umgebung bieten Raum für eine Weiterentwicklung zu einer virtuellen Lernumgebung. Zum einen soll auf Basis vorangegangener Arbeiten [Ki07] eine Kopplung des VR-Modells mit einem CAD-System zur konstruktionsgerechten Abbildung des kinematischen Verhaltens des Motors ermöglicht werden. Zum anderen wurden Voraussetzungen für die Anbindung von mathematischen Simulationswerkzeugen an das VR-System [Mi09] geschaffen. Damit können auf Basis eines 3D-Modells unterschiedliche Motorenkennwerte eingegeben, verändert und deren Auswirkungen auf das Verhalten des Motors numerisch-grafisch und geometrisch ausgegeben werden. Auch die Simulation und Visualisierung von Feldern erscheint in diesem Zusammenhang sinnvoll und möglich. Für eine kontinuierliche Entwicklung neuer Modelle und Sicherung der Zukunftsfähigkeit beider Modellarten sind die Zusammenführung des Aufbereitungsprozesses und die Auswahl eines medienübergreifenden Datenformats, z.B. STEP, geplant [ISO94].

Literaturverzeichnis

[AB02] Alsdorf, C; Bannwart, E.: Virtuelle Realität: erfahrbare Informationen im Cyberspace. In (Issing, L.J.; Klimsa, P. Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis, 3. vollst. überarb. Aufl., Beltz, Weinheim, 2002.

[Bo05] Bowman, D.A. et al.: 3D User Interfaces. Theory and Practice. Pearson Education, Boston, MA, 2005.

[Br09] Brill, M.: Virtuelle Realität. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.

[Cu08] Cui, J.: Entwicklung eines interaktiven virtuellen 3D-Modells eines Asynchronmotors. 12. Workshop „Multimedia in Bildung und Wirtschaft“, TU Ilmenau, 2008; S. 37-43.

[Hu08a] Husung, S. et al.: Repräsentation akustischer Produkteigenschaften in virtuellen Umgebungen. In: Proc. 11. IFF-Wissenschaftstage, Magdeburg, 2008.

[Hu08b] Husung, S. et al.: Auralisation of Technical Systems in VR. In: Proc. of 53rd IWK, Ilmenau, 2008.

[ISO94] ISO 10303-1 Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange. Teil 1: Overview and fundamental principles, 1994.

[ISO99] DIN EN ISO 9241-11 Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit – Leitsätze. Beuth, Berlin, 1999.

[Ki07] Functional Investigations of Mechanisms using CAD-modeled Constraints. In: Proc. of 10th International Conference on Humans and Computers (HC’2007), Düsseldorf, 2007.

[Ma99] Mayhew, D.J.: The Usability Engineering Lifecycle: A Practitioner's Handbook for User Interface Design. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, 1999.

[Me08a] Metag, S. et al.: User-centered Design of Virtual Models in Product Development. In: Proc. of 53rd IWK, Ilmenau, 2008.

[Me08b] Metag, S. et al.: Studying User Experience in Virtual Environments. In: Proceedings of the Workshop “Research Goals and Strategies for Studying User Experience and Emotion” at the 5th Nordic Conference on Human-computer interaction: building bridges (NordiCHI), Lund, Sweden, 2008.

[Mi09] Michel, H.: Anbindung eines Fahrzeugmodells an die FASP. Ilmenau, Techn. Univ., Diplomarbeit, 2009.

[RW02] Redish, J.; Wixon, D.: Task Analysis. In (Jacko, J.A.; Sears, A, (Eds.): The Human Computer Handbook, Mahawah, NJ, 2002.

[Sa95] Salzman, M.C. et al.: The Design and Evalution of Virtual Reality-based Learning Environments. In: Presence: Teleoperators and Virtual Environments (special issue on education), 1995.

[SK02] Strzebkowski, R.; Kleeberg, N.: Interaktivität und Präsentation als Komponenten multimedialer Lernanwendungen. In (Issing, L.J.; Klimsa, P. Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis., 3. vollst. überarb. Aufl., Beltz, Weinheim, 2002; S. 229-246.

[Sh97] Shneiderman, B.: Designing the User Interface. 3. Auflage, Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1997.

[St02] Stanney, K.M.: Handbook Of Virtual Environments- Design, Implementation, And Applications. Lawrence Erlbaum, 2002.

[St92] Steuer, Jonathan: Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. In: Journal of Communication 42, Nr. 4, S. 73–93, 1992.

[Wh02] Whyte, J.: Virtual Reality and the Built Environment. 1st edition. Architectural Press, Oxford, 2002.