

Simulation mechatronischer Systeme in Lehre und Forschung

Prof. Dr.-Ing. Günter Schmitz
Fachhochschule Aachen

Fachhochschule Aachen
Goethestr. 1

52064 Aachen
Tel: 0241 6009 2314
Fax: 0241 6009 2916
Email: Schmitz@FH-Aachen.de
<http://www.mechatronics.fh-aachen.de>

1 Einführung

Bei der Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme kommt dem Einsatz von Simulationstechniken eine ständig wachsende Bedeutung zu. In besonderem Masse gilt dies im Bereich der Automobilindustrie. Diesem Aspekt muss auch in der Ausbildung Rechnung getragen werden und in die Studiengänge Eingang finden sowie in Forschungsprojekten aufgegriffen werden. Im Rahmen dieses Papers wird dargestellt, in welcher Weise Simulationstechniken im Rahmen des Master- Studienganges für Mechatronik an der Fachhochschule Aachen. Da sich die Lernziele im Hinblick auf derartige Fertigkeiten nicht mit konventionellen Methoden abprüfen lassen, wird abschließend noch ein Einblick in die Art der durchgeführten Prüfungen gegeben.

2 Entwicklungsprinzipien der Mechatronik

Der Unterschied zwischen herkömmlichen Produkten und mechatronischen Produkten beginnt bereits im Entwicklungsprozess. Die konventionelle Vorgehensweise beinhaltet eine getrennte Entwicklung von Mechanik und Elektronik, wobei erst nach Optimierung eines jeden Teilproduktes die Teilkomponenten zu einem "Elektromechanischen Produkt" zusammengefügt wurden (Bild 1).

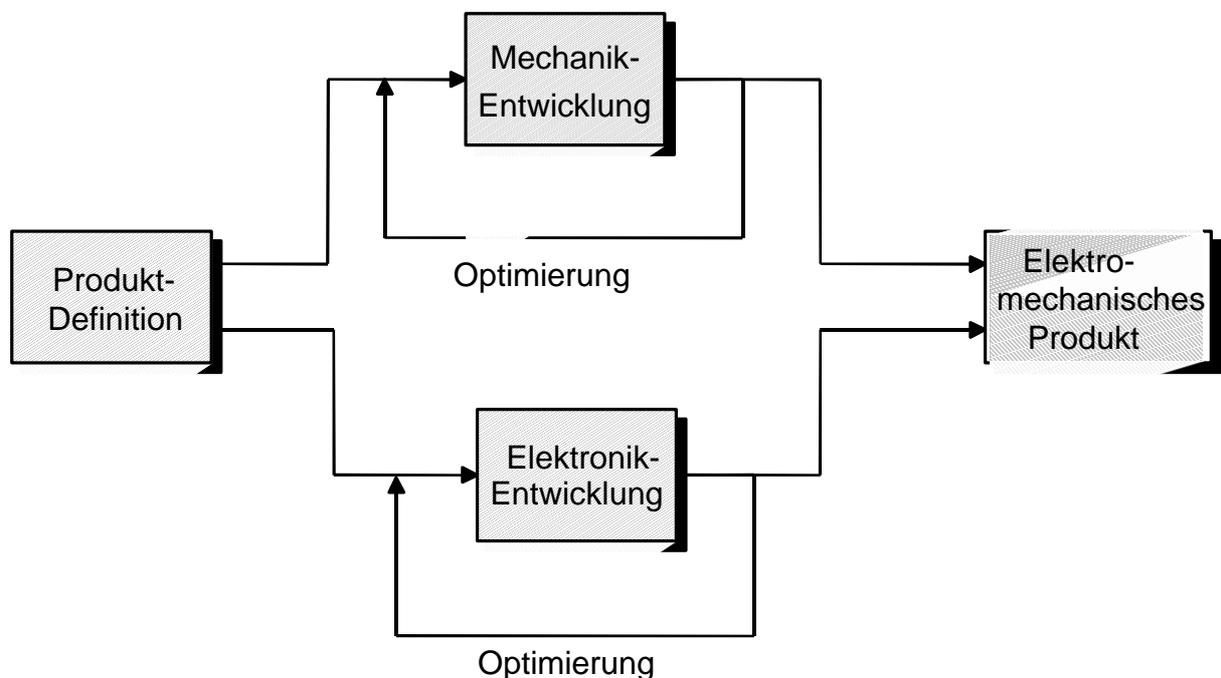


Bild 1: Konventionell getrennte Entwicklung von Mechanik und Elektronik

Bei vielen aktuellen Produkten kann man jedoch ein Gesamtoptimum nur dann finden, wenn eine gemeinsame Entwicklung von Mechanik und Elektronik sowie eine gesamtheitliche Optimierung stattfindet.

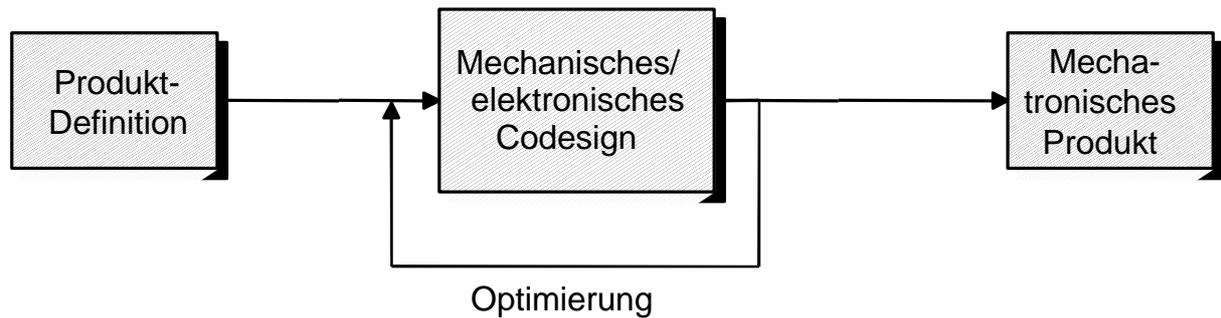


Bild 2: Aktuelle Entwicklung mechatronischer Produkte

Für eine derartige gemeinsame Entwicklung sind Simulationswerkzeuge erforderlich, die sowohl an die mechanischen als auch auf die elektronischen Anforderungen angepasst sind.

3 Simulationsmethoden im Master- Studiengang Mechatronik

Im Rahmen des Master Studiengangs Mechatronik werden im Wesentlichen folgende Simulationstechniken abgedeckt:

- FE- Simulation (Finite Elemente Simulation, z.B. ANSYS)
- Virtuelle Instrumentierung (z.B. LabView)
- Lumped Element Simulation (z.B. Saber)
- Verhaltensmodellbasierte Simulation (z.B. Matlab/Simulink, Stateflow)

Die ersten beiden Simulationstypen werden in verschiedenen Veranstaltungen des Studiums angesprochen, insbesondere jedoch in den Modulen „Simulation of Structures, Fields and Flow“ sowie „Sensors and Actuators“ behandelt.

Die beiden letztgenannten werden in einem Modul „Mechatronic Systems Simulation“ zusammengefasst. Dieses Lehrmodul wird nicht in der konventionellen Art mit Vorlesungen, Übungen und Praktika durchgeführt, sondern vielmehr in Seminarform in einer Art „Problem Based Learning“. Zunächst werden einige grundlegende Techniken der Simulation vermittelt. Schon während der ersten Veranstaltung beginnen die Studenten mit der eigenen Arbeit mit den Simulationssystemen. Die Studenten erhalten einige, zunächst sehr grundlegende Problemstellungen, die sie eigenständig lösen sollen. In dieser Phase fungiert der Professor dann lediglich als ein „Betreuer“ und eine menschliche „Hilfe-Funktion“. Die Problemstellungen werden im Laufe der Veranstaltung immer komplexer. Dazu werden dann immer weitergehende Simulationstechniken vermittelt und in kurzen Vorlesungseinschüben die Grundlagen zur Lösung der gegebenen Problemstellungen behandelt.

Über die Simulationen mit verhaltensbasierten Simulationssystemen wie Matlab/Simulink finden sich zahlreiche Veröffentlichungen, deshalb soll im Folgenden spe-

ziell auf die Lumped Element Simulation eingegangen werden.

4 Konzentrierte Elemente Simulation (Lumped Element Simulation)

Prinzipiell eignet sich jedes Simulationsprogramm, das zur Simulation elektronischer Schaltungen verwendet wird auch zur Simulation mechatronischer Systeme. Allerdings ist hierbei besonderes Augenmerk auf die Interpretierbarkeit der Modelle zu richten. Bei den meisten Simulationssystemen müssen mechanische Komponenten in elektrisch äquivalente Komponenten umgewandelt werden. Bei der Interpretation der Ergebnisse muß dann wieder eine Rückrechnung der elektrischen Ergebnisgrößen in die gewünschten mechanischen Größen erfolgen. Bei diesen Analogien wird das Prinzip genutzt, dass es sowohl in der Elektrotechnik als auch in der Mechanik für jede diskrete Komponente Differenzgrößen (across) und Flussgrößen (through) gibt. Differenzgrößen treten zwischen den „Anschlußpunkten“ einer Komponente auf, Flussgrößen gehen durch die Komponente hindurch gehen und ergeben vorzeichenrichtig aufsummiert über alle Anschlußpunkte Null (Beispiel Elektrotechnik: Knotenpunktregel, Maschinenbau: Summe der Kräfte ist Null). Welche Größen dies im jeweiligen Themengebiet sind, zeigt Tabelle 1.

| Gebiet (topic) | Flussgröße (through) | Differenzgröße (across) |
|-------------------------------------|--------------------------|---|
| Elektrotechnik (electronics) | Strom (current) | Spannung (voltage) |
| transl. Mechanik (transl. mechanic) | Kraft (force) | Weg, Geschwindigkeit (position, velocity) |
| rot. Mechanik (rotational mech.) | Drehmoment (torque) | Winkel, Winkelgeschwindigkeit (angle, angular velocity) |
| Thermik (thermal systems) | Entropiestrom (power) | Temperatur (temperature) |
| Hydraulik (hydraulic systems) | Volumenfluss (flow rate) | Druck (pressure) |
| Magnetik (magnetic systems) | Fluss (flux) | Durchflutung (magnetomotive force) |

Tabelle 1: Flussgrößen und Differenzgrößen für „Lumped Element“- Simulationen

Besonders gut geeignet für gemischte (mechatronische) Simulationen sind Simulationssysteme, bei denen mechanische Komponenten auch als solche eingegeben werden können und entsprechend parametrisiert werden können. Somit kann also eine Federsteifigkeit in N/m angegeben werden und nicht etwa in Farad! Die Interpretierbarkeit und Übersichtlichkeit der entstehenden „Schaltpläne“ bleibt erhalten. Auch die Ergebnisse können sehr schnell gedeutet werden, da sie in den korrekten physikalischen Einheiten ausgegeben werden.

Derartige Systeme können durch entsprechende Schnittstellen zu anderen Simulationssystemen in ihrem Nutzen für den Anwender noch gesteigert werden. Ein Beispiel hierfür stellt eine Schnittstelle zu einem Finite- Elemente (FE) Magnetauslegungsprogramm dar. Die Ergebnisse aus der Berechnung der Magneteigenschaften können direkt im „Lumped Element“ System verwendet werden.

Eine Übersicht über die Möglichkeiten eines solchen Systems zeigt Bild 3.

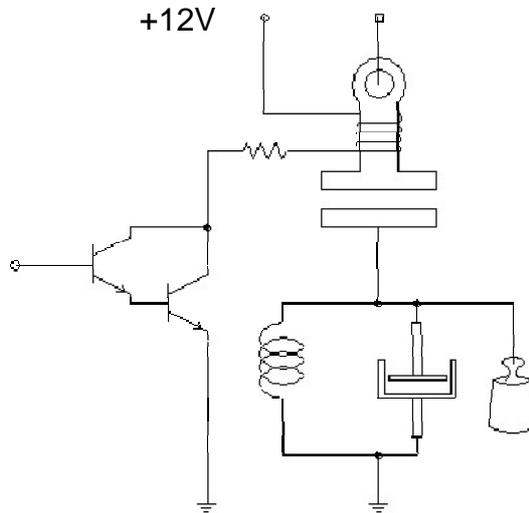


Bild 4: Beispiel für einen „mechatronischen“ Schaltplan eines Elektromagneten mit einer einfachen Ansteuerung

Es sei allerdings noch darauf hingewiesen, dass die „Lumped Element“ Simulation die mechanischen Komponenten nur quasi eindimensional behandeln kann. Benötigt man mehrdimensionale Betrachtungen kann diese Methode nur unter erheblichem Aufwand angewendet werden, so dass andere Entwicklungswerkzeuge, die speziell für dynamische Mechanik- Simulationen entwickelt wurden, meist besser geeignet sind.

5 Ablauf der Lehrveranstaltung „Mechatronic Systems Simulation“

In der ersten Kurseinheit üben die Studenten den Umgang mit dem Simulationswerkzeug anhand eines einfachen elektrischen Schaltkreises bestehend aus einer gepulsten Spannungsquelle, einem Widerstand und einem Kondensator.

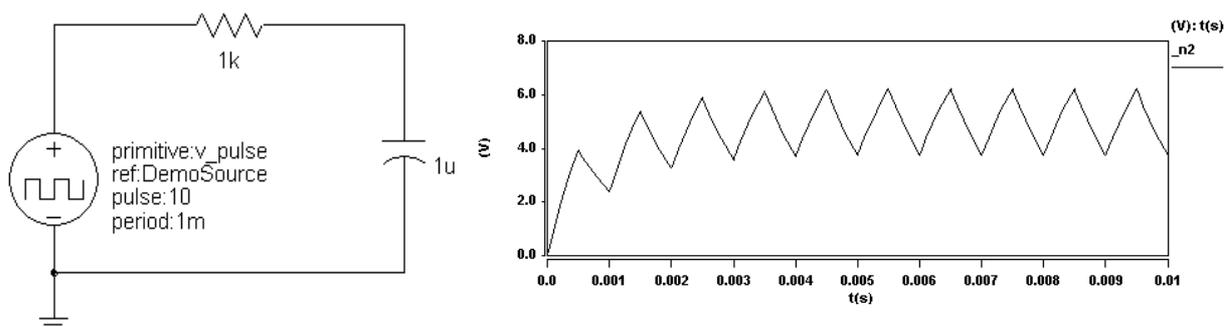


Bild 5: Einfacher elektrischer Schaltkreis als ein erstes einfaches elektrisches Simulationsmodell mit Simulationsergebnis

Die erste Aufgabe besteht in der Simulation des transienten Verhaltens (Spannungen und Ströme in Abhängigkeit der Zeit). Die Studenten müssen den Einfluss des Tastverhältnisses auf den Mittelwert sowie den Einfluss des Widerstands- und Kapazitätswertes auf die Einschwingzeit und den verbleibenden Ripple auf der Spannung am Kondensator untersuchen.

In dieser grundlegenden Simulation lernen die Studenten, die Simulationsparameter richtig einzustellen, die Bauteileigenschaften zu editieren und die Ergebnisse darzustellen und auszuwerten. Weiterhin wird ihnen der Unterschied zwischen Flussgrößen

ßen („through“) wie Strömen und Differenzgrößen („across) wie Spannungen bewusst gemacht. Auch die Bedeutung der Arbeitspunktanalyse (DC-Analysis) vor jeder Simulation wird offenbar.

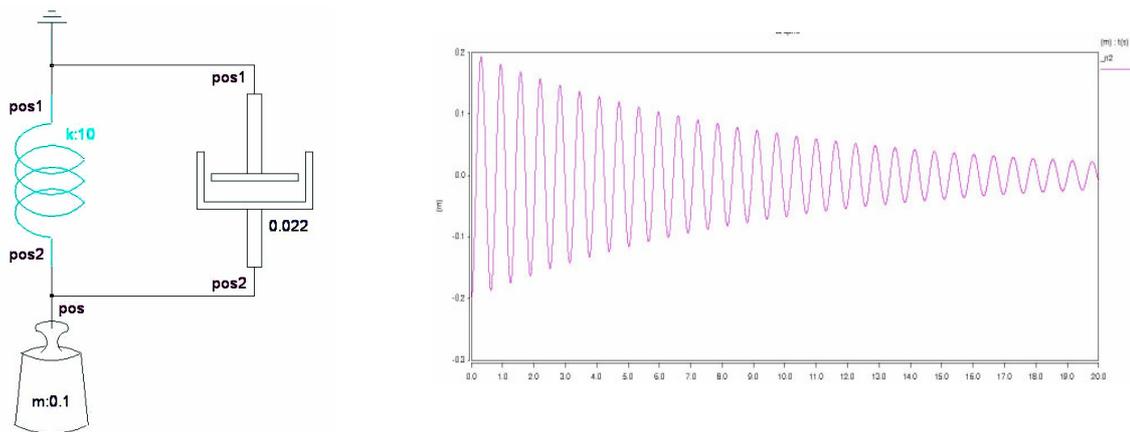


Bild 6: Einfacher mechanischer „Schaltkreis“ bestehend aus Feder, Masse und Dämpfer mit Simulationsergebnis

Als erster, einfacher mechanischer „Schaltkreis“ wird ein Feder-Masse-Dämpfer System verwendet. Lernziel ist hierbei das Verständnis der mechanischen Simulation auf Basis von Netzlisten (ohne „unten“ und „oben“), den fehlenden Einfluss der Schwerkraft zu verstehen sowie die Funktion von so genannten Holdnodes (Auslenkung aus dem statischen Gleichgewicht (dem Arbeitspunkt), der sich normalerweise bei der Arbeitspunktanalyse einstellt. Weiterhin wird die Wichtigkeit der richtigen Wahl der Schrittweite verdeutlicht.

Anhand dieses Modells wird die Methode der Frequenzanalyse eingeführt sowie der Umgang mit dem Plot-Tool erweitert (Änderungen der Skalierung, Zoom etc.)

Die Studenten bringen unterschiedliche Eingangsvoraussetzungen mit, was die Kenntnisse über elektronische Bauteile betrifft. Somit wird als nächstes in einem kurzen Theorieblock die Funktionsweise der verschiedenen Transistortypen erläutert. Anschließend müssen die Studenten herausfinden, wie sie mit Hilfe der Simulation die Transistorkennlinien für die in der Komponentendatenbank enthaltenen Transistoren ermitteln können.

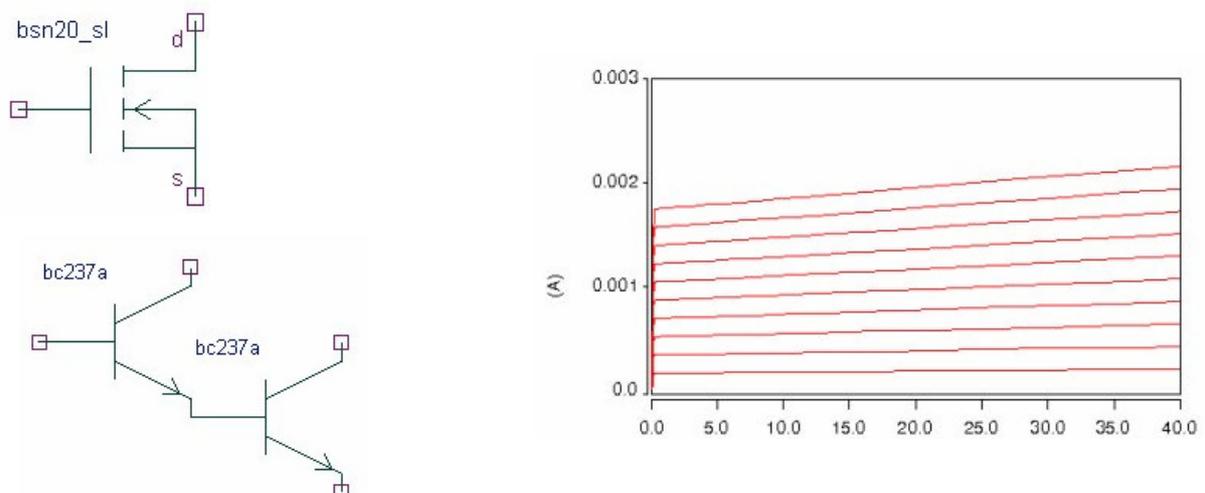


Bild 7: Grundlagen zu Transistoren werden behandelt und Transistorkennlinien mittels Simulation vom Studenten nachvollzogen.

Dabei lernen sie gleichzeitig die Methoden der automatisierten Parametervariation („vary-analysis“) kennen sowie die Möglichkeiten, Ortskurven mittels x-y Darstellung anzuzeigen und zu analysieren.

Die nun vertieften Grundkenntnissen über Transistoren werden angewendet, um Ansteuerschaltungen für Spulen mit verschiedenen Freilaufmöglichkeiten über Widerstände, Dioden und Zenerdioden zu simulieren und deren Unterschiede zu bewerten.

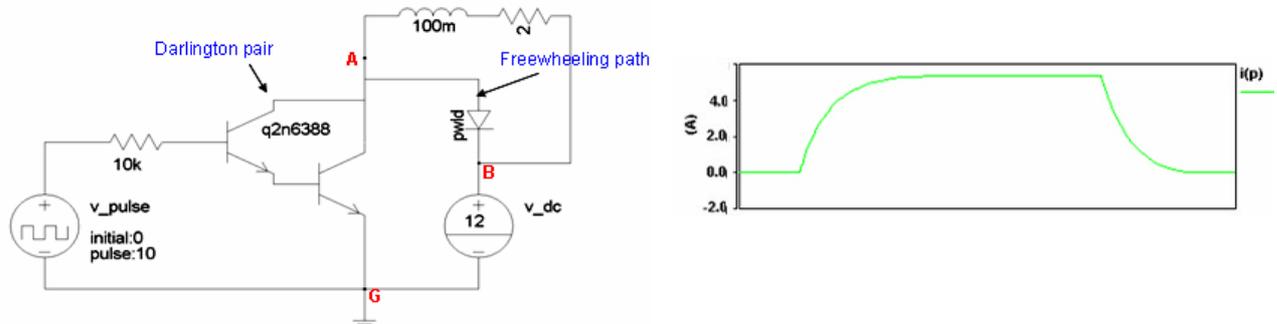


Bild 8: Die Ansteuerung von Spulen sowie die Arbeitsweise verschiedener Freilaufschaltungen werden aufgezeigt..

Dabei werden Strom- und Spannungsverläufe analysiert und die Darstellung mehrerer Kurven in einem Diagramm eingeführt.

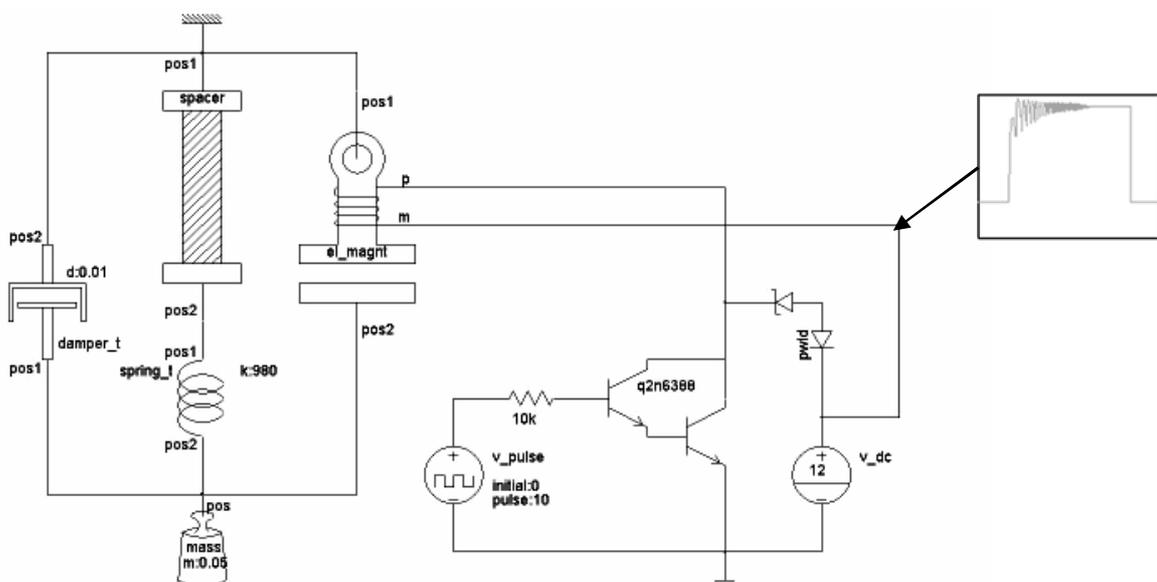


Bild 9: Durch die Einführung von Elektromagneten ergibt sich eine Kopplung zwischen mechanischer und elektrischer Domäne mit erkennbarer Rückwirkung der mechanischen Domäne auf die elektrische Seite (Back-EMF).

Derart vorbereitet, wird als nächstes der erste mechatronische Schaltkreis simuliert. Die Spule wird durch einen Elektromagneten mit einem Feder-Masse-System ersetzt. Hierbei erkennen die Studenten die Bedeutung der mechatronischen Simulation. Durch die mechanische Bewegung ändert sich das Magnetfeld und damit die in der Spule rückinduzierte Spannung.

6 Ablauf der Prüfung

Das Lernziel des Modules ist das Verstehen der Simulationsprinzipien sowie die Fähigkeit Simulationsmodelle zu erstellen, die Simulation korrekt durchzuführen und zielführend einzusetzen sowie die Ergebnisse richtig darzustellen und auszuwerten. Die Erreichung dieser Ziele gilt es zu überprüfen. Mittels konventioneller mündlicher oder schriftlicher Prüfungen kann dies nicht funktionieren. Deshalb wurde ein Verfahren eingeführt, bei dem die Studenten schriftliche Aufgabestellungen erhalten, die sie mit Hilfe der Simulationssoftware lösen bzw. schriftlich beantworten müssen. Teilweise sind die Ergebnisse innerhalb der Prüfung auch dem Prüfer zu präsentieren.

Durch diese Art der Prüfung kann eine zielgerichtete, objektive Bewertung sichergestellt werden.

7 Literatur

- [1] Roddeck, W.: „Einführung in die Mechatronik“, Teubner Verlag Stuttgart, ISBN 3 519-06357-3
- [2] Schmitz, G.; Altherr, M.; Hofmann, O.; Pischinger, M.; Kather, L.; van der Staay, F.: "Anwendung moderner Simulationstools für die Entwicklung eines elektromagnetischen Ventilaktuators", ", 2. Workshop TransMechatronik, Aachen, 26.5.98, Tagungsband ISBN 3-931466-37-X
- [3] Schmitz, G. (Hrsg.): "Mechatronik im Automobil", expert Verlag, ISBN 3-8169-1839-5
- [4] Schmitz, G.: "Mechatronic Systems Simulation as an obligatory module for Mechatronic Master Students", IEEE-Conference on Mechatronics & Robotics (MechRob) 2004, Conference Proceedings, ISBN 3-938153-50-X, S. 1278