

Simulation mechatronischer Systeme auf der Basis der Modellbeschreibungssprache Modelica

Dr. Heinz-Theo Mammen
heinz-theo.mammen@hella.com
Dr. Udo Buschmann
udo.buschmann@hella.com
Hella KGaA Hueck & Co., HCC-CDI-E
Rixbecker Straße 75, 59552 Lippstadt

Kurzfassung

Im Automotiv-Bereich gewinnt die Simulation mechatronischer Systeme immer mehr an Bedeutung, da damit über alle Phasen des Produktentstehungsprozesses hinweg von der Problemstellung bis zur Produktion eine zusätzliche Absicherung erfolgt. Es können Kosten eingespart, Zeitaufwände reduziert und Aussagen zu Systemeigenschaften getroffen werden.

In diesem Beitrag werden zwei Beispiele aus dem Automotiv-Bereich vorgestellt. Hierbei handelt es sich um das Systemmodell eines Fensterhebers und das eines Gleichstrom-Stellantriebes. Die Modelle wurden auf Basis der Modellbeschreibungssprache Modelica entwickelt, die Simulation erfolgte mit der mechatronischen Entwicklungsumgebung Dymola.

1 Einleitung

Modellierungs- und Simulationstechniken sind im Automotive-Bereich in den letzten Jahren zu einem festen Bestandteil im Entwicklungsprozess geworden. Die Simulation bietet ideale Hilfen zum Verständnis und zur Optimierung von Systemen, die aus mehreren Teilsystemen bestehen und deren Gesamtverhalten von der Wechselwirkung der Teilsysteme bestimmt wird. Bei der Systemsimulation wird das Gesamtsystem zunächst in seine Teilsysteme zerlegt und das physikalische Verhalten jedes Teilsystems in einem eigenen Modell beschrieben. Deswegen ist der erste Schritt einer Simulation stets die Modellbildung.

Die mit dem Modell erzielten Simulationsergebnisse können für Rückschlüsse auf das korrespondierende reale System und den damit verbundenen Problemen genutzt werden. Einmal formulierte Modelle können mit anderen Modellen kombiniert und somit wiederverwendet werden. Voraussetzung dafür ist, dass bei allen Modellen eine einheitliche Modellbeschreibungssprache (z.B. Modelica [1] oder VHDL-AMS [4/5]) und kompatible Schnittstellen verwendet werden. Durch Kombination verschiedener Modelle können zunehmend komplexere Systemmodelle aufgebaut werden, deren Verhalten insgesamt durch die Systemsimulation analysiert werden kann.

Bei der Modellbildung ist es notwendig, sich nicht nur auf die betrachtete Funktionalität zu fokussieren. Der Einfluss von Ein- und Ausgangsgrößen, Systemgrenzen (z.B. Bauraum) und Umwelt (z.B. Temperatureinflüsse) auf die Resultate

ist ebenfalls von Bedeutung. Daher ist die Berücksichtigung dieser Größen bereits in der Modellierung sicherzustellen. Beispielhaft ist dies an einem mechatronischen System dargestellt – siehe Bild 1.

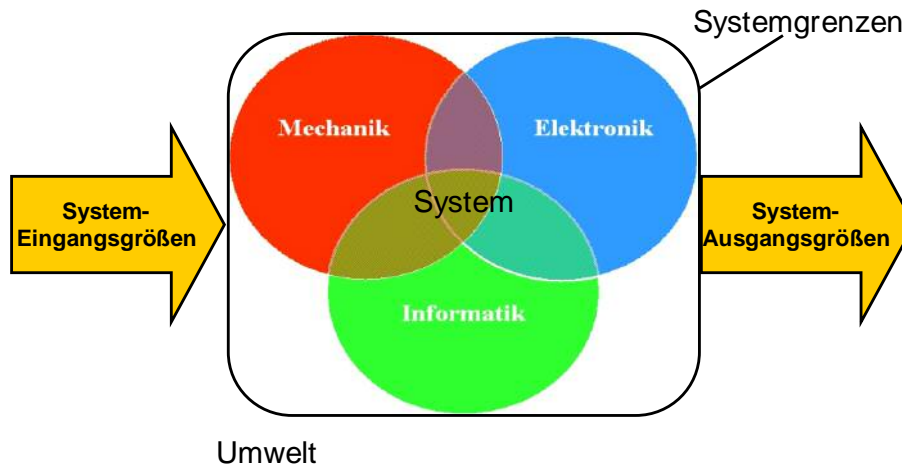


Bild 1: Mechatronisches System – Ein- und Ausgangsgrößen, Systemgrenzen und Umwelt

2 Beispiele aus dem Automotive-Bereich

Im Folgenden werden zwei Modellbeispiele vorgestellt. Hierbei handelt es sich um ein Systemmodell eines Fensterhebers zur Entwicklung und Optimierung von Einklemmalgorithmen sowie eines Gleichstrom-Stellantriebes für Scheinwerfer zur Untersuchung des Temperaturverhaltens sowohl im Betriebsfall als auch im Blockierfall.

2.1 Systemmodell Fensterheber

Beim mechatronischen System eines Kfz-Fensterhebers handelt es sich um ein interdisziplinäres System, das die Disziplinen Mechanik, Elektronik und Steuerung miteinander verbindet und den Menschen als Teil des Systems mit berücksichtigt. Der Aufbau des Systems besteht aus Aktorik (Handkurbel oder Motorantrieb), Mechanik (Seil- oder Scherensystem) und Fensterscheibe.

Bei den Fensterhebersystemen wird unterschieden zwischen mechanisch (vorrangig bei den hinteren Fahrzeugtüren) und elektrisch angetriebenen Fensterhebern. Im Folgenden wird bzgl. der Modellierung auf die elektrisch angetriebenen Fensterheber eingegangen. Bei diesen Systemen wird mit Hilfe eines über ein Steuergerät angesteuerten Elektromotors die Hebemechanik in Bewegung gesetzt. Die Komponente Fensterscheibe wird mit Hilfe der Hebemechanik in eine Auf- und Abwärtsbewegung versetzt, die Scheibe wird dabei im Türrahmen geführt.

Da es sich beim Fensterheber um ein mechatronisches System handelt, wurde zur Modellierung und Simulation ein Werkzeug eingesetzt, das sowohl den mechanischen als auch den elektrischen Teil abdeckt. Hierbei handelt es sich um die mechatronische Entwicklungsumgebung Dymola[®], deren Modellierungsphilosophie auf dem Prinzip der objektorientierten Modellierung basiert [2].

Die für das Beispiel relevanten Merkmale lassen sich kurz wie folgt charakterisieren:

- *Physiknahe, domänenübergreifende Modellierung:* Der Aufbau des realen (heterogenen) Systems findet sich in der gleichen Weise im Modell wieder. Die Verknüpfung der Teilmodelle erfolgt durch explizite Modellierung der (physikalischen) Kopplungen.
- *Mehrkörpermodellierung und Animation.* In der gleichen Weise lassen sich auch Mehrkörpersysteme (MKS) aufbauen und direkt in ihren Bewegungsabläufen visualisieren.
- *Implementierung eigener Modelle und Bibliotheken.* Für viele Fachdisziplinen sind unter Dymola[®] bereits umfangreiche Modell-Bibliotheken verfügbar. Darüber hinaus können aber auch eigene Modelle und Bibliotheken aufgebaut werden. Als Modellierungssprache wird Modelica verwendet [1].

Der Fensterheber ließ sich mit Hilfe von Dymola[®] relativ einfach modellieren. Zur Beschreibung des Fensterrahmens mit Scheibe, der Haft- und Gleitreibungsvorgänge im Getriebe sowie des Einklemmszenarios konnten Standardelemente aus der Modelica-Bibliothek verwendet werden.

Das entwickelte Systemmodell eines Fensterhebers (siehe Bild 2) dient unter anderem dazu, Systemverständnis aufzubauen sowie auf einfache Weise Parameterstudien und reproduzierbare Tests durchführen zu können.

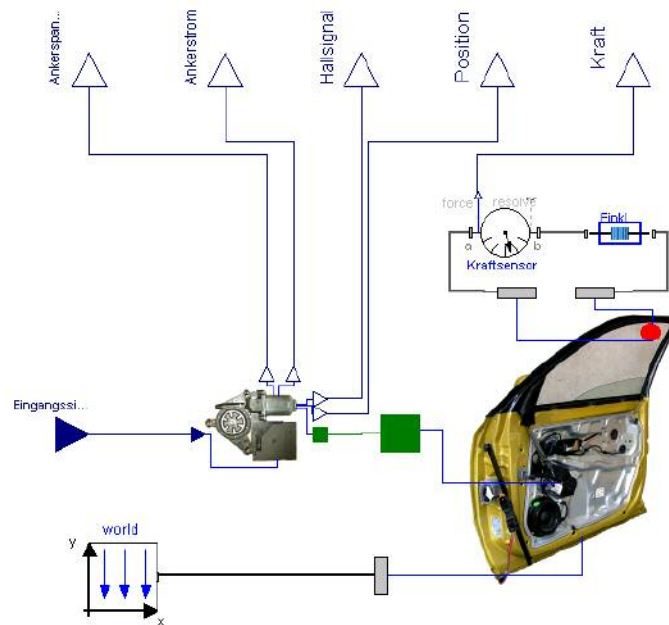


Bild 2: Dymola-Modellaufbau des Fensterhebers

Dieses Systemmodell dient weiterhin als Umgebungsmodell im Rahmen der Steuergeräteentwicklung. Dazu ist es notwendig, dass das Umgebungsmodell mit dem Steuergerätemodell, das z.B. mit Hilfe des Werkzeuges Simulink[®] entwickelt werden kann, kombinierbar ist (z.B. durch Co-Simulation oder Modellimport). Im vorliegenden Fall wurde das entwickelte Dymola-Systemmodell automatisch in eine C-Funktion

kompiliert und in Matlab/Simulink [8] als Teilmodell integriert. Dort wurde es dann um das Modell der Steuerung ergänzt, für das (nach dem Test der Gesamtanordnung) automatisch C-Code für die Integration in das reale Steuergerät generiert werden kann.

Bei der Entwicklung der Steuergerätefunktionalität für den Fensterheber ist es notwendig, den Einklemmschutz als wichtige Funktion mit zu berücksichtigen, also auch den Faktor Mensch (z.B. Einklemmen einer Hand beim Schließen der Scheibe). Im Dymola-Systemmodell wurde dem durch ein Einklemmmodell Rechnung getragen. Diese Komponente wurde auf Basis der gesetzlichen Vorgaben für einen Einklemmfall parametrisiert.

Einen wichtigen Schritt in der modellbasierten Systementwicklung stellt die Validierung des Modells dar. Dazu wird, wenn möglich, das Modell so parametrisiert, dass die Ergebnisse aus dem Modell mit gemessenen Werten aus der Realität möglichst gut übereinstimmen. Bild 3 zeigt das Modellverhalten im Vergleich zur Messung beim Verfahren der Scheibe.

Wie Bild 3 zu entnehmen ist, stimmen Messung und Simulation gut überein, so dass das entwickelte Modell unter anderem für Parameterstudien und zur Untersuchung der Mensch/System-Schnittstelle eingesetzt werden kann.

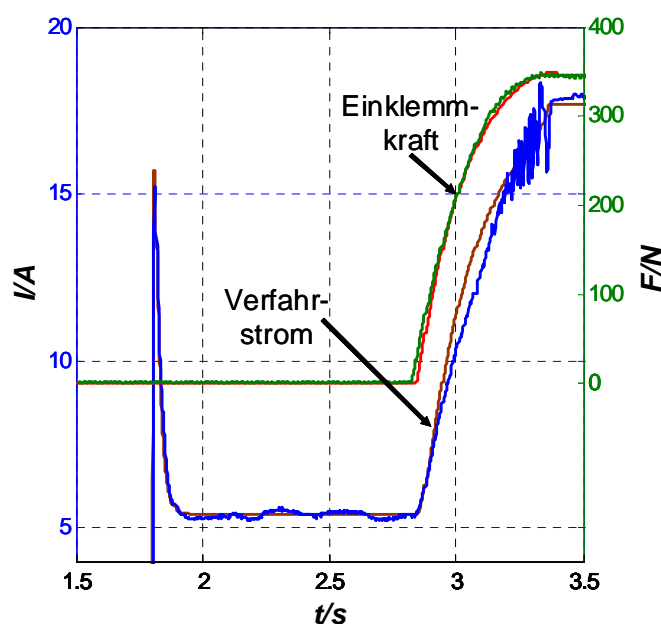


Bild 3: Vergleich Simulation/Messung: Hochfahren der Fahrzeugtürscheibe zur Ermittlung der maximalen Einklemmkräfte (— Messung; — Simulation)

2.2 Modell eines Gleichstrom-Stellantriebes

Der Trend zu immer mehr mechatronischen Komponenten im Fahrzeug ist beispielhaft am Scheinwerfer erkennbar. Wo früher Leuchtmittel mit Reflektor in einem einfachen Gehäuse für eine Ausleuchtung der Straße gesorgt haben, werden heute komplexe mechatronische Scheinwerfersysteme eingesetzt. Diese Systeme können ein

dynamisches Kurvenlicht beinhalten, über eine automatische Leuchtweitenregelung verfügen, für eine angepasste Ausleuchtung je nach Fahrsituation (innerorts, Landstraße, Autobahn) sorgen und ähnliche weitere Funktionen beinhalten.

Da diese mechatronischen Systeme immer komplexer werden, ist eine ganzheitliche Entwicklung sinnvoll und notwendig. Unterstützt werden kann diese Entwicklung durch eine entwurfsbegleitende Modellierung von der Problemstellung bis zur Serienreife.

Der Gleichstrom-Stellantrieb ist eine Teilkomponente des mechatronischen Systems Scheinwerfer. Diese Teilkomponente stellt für sich auch bereits ein mechatronisches System, bestehend aus einer Ansteuerung, einer elektrischen Verstellkomponente und einem Getriebe inklusive eines Verstellarms, dar. Bild 4 zeigt den Stellantrieb eines mechatronischen Scheinwerfermoduls.



Bild 4: Gleichstrom-Stellantrieb eines Scheinwerfermoduls

Das zu diesem mechatronischen System entwickelte Modell wurde ebenfalls auf Basis der Modellbeschreibungssprache Modelica [1] und dem Simulator Dymola [2] entwickelt. Die Ansteuerung dieses Gleichstrom-Stellantriebes besteht im Wesentlichen aus zwei Halbbrücken und einer Logik zur Steuerung dieser Halbbrücken. Das Motormodell beschreibt das elektrische und mechanische Verhalten eines Gleichstrom-Motors. Weiterhin wird mit dem Modell das thermische Verhalten eines Motors nachgebildet, d.h. es wird einerseits die Umgebungstemperatur des Motors berücksichtigt und andererseits die Eigenerwärmung im Betrieb. Darüber hinaus wird das Kommutierungsverhalten des Motors beschrieben. Mit dem Getriebemodell werden das Übersetzungsverhältnis, die Anschläge für Hin- und Rücklauf sowie die Reibung innerhalb dieses Teilsystems formuliert.

Neben der Modellbildung spielt die Modellvalidierung eine wichtige Rolle, damit am Ende des Prozesses ein Modell zur Verfügung steht, das für Untersuchungen während des gesamten Entwicklungspfades „uneingeschränkt“ genutzt werden kann. Die Parametrisierung des Modells erfolgte hierbei auf Basis von Datenblattangaben und messtechnischen Untersuchungen.

In Bild 5 ist beispielhaft ein Vergleich zwischen Messung und Simulation dargestellt. Es wurde der Ankerstrom des Motors betrachtet und sowohl die simulierte als auch die gemessene Größe aufgetragen.

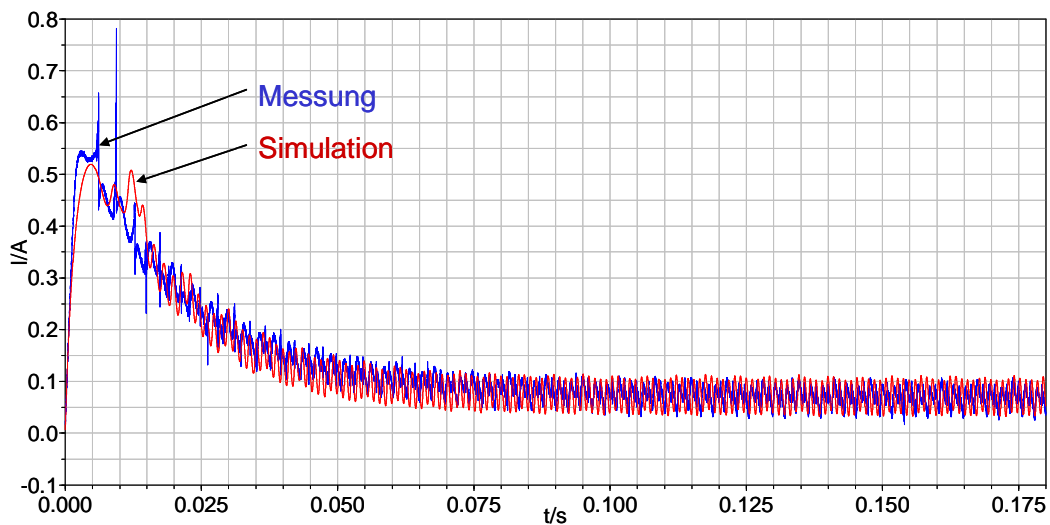


Bild 5: Ankerstrom des Motormodells – Vergleich Messung / Simulation

Der Vergleich zwischen Messung und Simulation zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Weitere Simulationen unter verschiedenen Belastungszuständen haben dieses Ergebnis bestätigt. Das Modell ist validiert und somit geeignet, Untersuchungen am virtuellen System durchzuführen und die Ergebnisse für die Entwicklung des realen Systems zu verwenden.

3 Zusammenfassung

Die Systemsimulation birgt viele Vorteile, da über alle Phasen des Produktentstehungsprozesses hinweg von der Problemstellung bis zur Produktion eine zusätzliche Absicherung erfolgt. Es können Kosten eingespart (schnellere Ergebnisse der Experimente), Zeitaufwände reduziert und Aussagen zu Systemeigenschaften getroffen werden. Allein durch Hardware-Aufbauten ist dies nicht oder nur mit erheblichem Aufwand möglich (z.B. Kraftmessungen in einem gekapselten System).

Die Modellbeispiele Fensterheber und Stellantrieb haben gezeigt, dass mit der Simulation Kundenanforderungen schnell überprüft, kritische Betriebsfälle simulativ abgebildet sowie Parameter- und Aufbaustudien leicht durchgeführt werden können. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse tragen zu einem umfassenderen Systemverständnis bei. Entwicklungsfehler, die gerade in frühen Entwicklungsphasen fatale Folgen haben können, lassen sich auf diese Weise reduzieren.

Ein weiterer Vorteil der Systemsimulation ist in der Reproduzierbarkeit der Versuchsbedingungen zu sehen. Im Gegensatz zu Untersuchungen an realen Prototypen ist eine exakte Wiederholung beliebiger Prüfzyklen durch Simulation jederzeit möglich. Insbesondere für die spätere Testphase ist dies ein wichtiger Punkt.

Bezogen auf den Entwurfsablauf lassen sich Systemmodelle auch als ausführbare Lastenhefte auffassen. Auf diese Weise dokumentiert sich der Entwicklungsprozess mehr oder weniger von selbst. Alle Experimente lassen sich auch im Nachhinein

reproduzierbar nachvollziehen. Dies erleichtert den Nachweis von Fehlerursachen und vereinfacht überdies die nachträgliche Durchführung von Änderungen.

4 Literatur

- [1] *Modelica Association (2007)*
Modelica – A Unified Object-Oriented Language for Physical Systems Modeling, Language Specification, Version 3.0.
<http://www.modelica.org/documents/ModelicaSpec30.pdf>.
- [2] *Dymola:*
Multi-Engineering Modeling and Simulation.
www.dynasim.se, www.dymola.com:
- [3] *VDI 2206:*
Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme.
Beuth-Verlag, Berlin 2003.
- [4] *Gerke, Th.; Hessel, E.:*
Modelle werden kompatibel.
Elektronik automotive 1/2, 2009, S. 58 - 60.
- [5] *Commerell, W.; Mammen, H.-T.; Panreck, K.; Haase, J.:*
Simulation technischer Systeme – Anforderungen und Perspektiven.
13. ASIM-Fachtagung, Simulation in Produktion und Logistik, 1./2. Oktober 2008.
- [6] *Bode, H.:*
Matlab-Simulink – Analyse und Simulation dynamischer Systeme.
Verlag: Teubner B. G. GmbH, 2. Auflage, 09/2006