



**Treffen der ASIM/GI-Fachgruppen**

**26./27. Februar 2007**

**in**

**Bremen**



---

# **Simulation technischer Systeme**

**und**

# **Grundlagen und Methoden in Modellbildung und Simulation**

**ASIM Mitteilung 108**

*Ort: Universität Bremen, Gebäude NW1, Otto-Hahn-Allee 1, 28359 Bremen  
Veranstalter: ASIM/GI Fachgruppen, MCB Universität Bremen*

## Allgemeine Hinweise

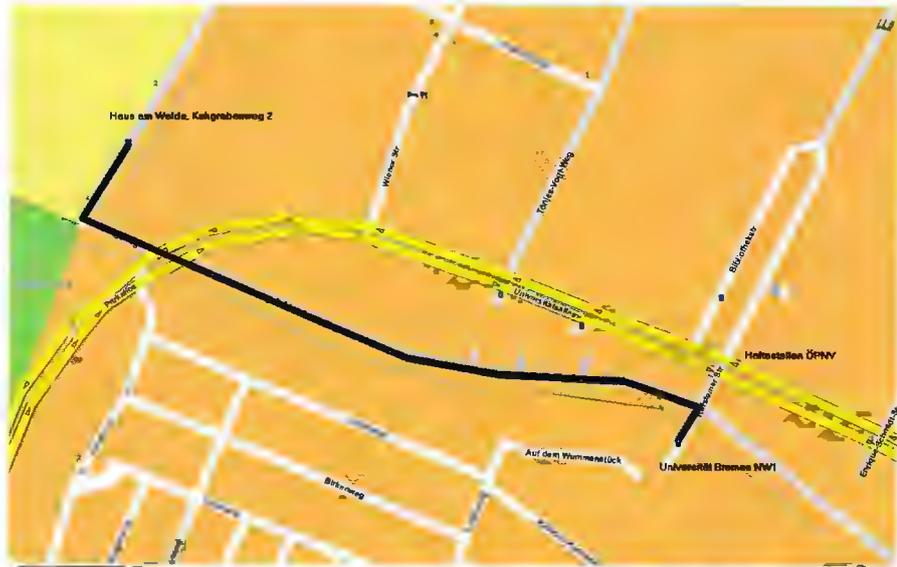
### Gemeinsame Abendveranstaltung am 26.02.2007:

Es ist eine Bremer „Kohlfahrt“ geplant. Wir bitten Sie sich um spätestens 19:00 Uhr in der Glashalle des NW1 einzufinden, da gemäß der Bremer Tradition vor dem Essen eine „Kohlwanderung“ durchgeführt wird, welche ca. eine Stunde in Anspruch nehmen wird. Diese endet dann am Lokal „Haus am Walde“.

Sollten Sie an der Kohlwanderung nicht teilnehmen wollen, so finden Sie hier eine Wegskizze zum Lokal:

Haus am Walde  
Kuhgrabenweg 2  
28359 Bremen

Tel. 0421 / 21 27 65



## Exkursionen:

Die Besichtigungen der Firmen EADS, Rheinmetall Defence Electronics und DaimlerChrysler finden am 27.02.2007 statt und werden in etwa 2h in Anspruch nehmen. Wir bitten die Teilnehmer sich um 14:00 Uhr in der Glashalle des NW1 einzufinden, da eine gemeinsame Anreise zu den Unternehmen mittels ÖPNV organisiert ist.

## ÖPNV:

Hauptbahnhof und Flughafen sind über die Straßenbahnlinie 6 zu erreichen. Die Fahrt zum Hbf dauert ca. 13 min. bzw. zum Flughafen ca. 31 min. Ein Umsteigen ist nicht erforderlich. Nachstehend der Plan für die Haltestelle „Universität NW1“, welche auch in der obigen Skizze verzeichnet ist.

6

Bahn

Abfahrt ab Universität  
über Riensberg  
Hauptbahnhof  
Domsheide  
Theater am Leibnitzplatz  
Richtung Neuenlander Feld

Gültig vom 16.10.2006 bis 23.03.2007



Infotelefon  
VBN 01805 - 826 826



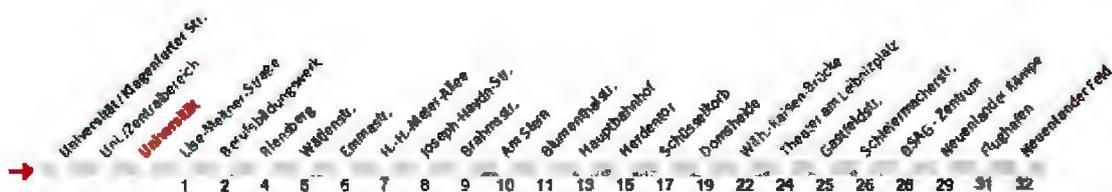
Uhr	Montag-Freitag	Samstag	Sonn-/Feiertag	Uhr
4				4
5	02 17 32 59			5
6	09 19 39 44 49 54 59			6
7	04 09 14 19 24 29 34 39 44 49 54 <sup>k</sup> 59	59		7
8	04 09 14 19 19 <sup>k</sup> 22 <sup>a</sup> 24 29 34 39 44 49 54 59	19 39 59	45	8
9	04 09 14 <sup>k</sup> 19 24 29 34 39 44 49 59	09 19 29 39 49 59	15 39 59	9
10	09 19 29 39 49 59	09 19 29 39 49 59	19 39 59	10
11	09 19 29 39 49 54 <sup>b</sup> 59	09 19 29 39 49 59	19 39 59	11
12	09 19 29 39 49 59	09 19 29 39 49 59	19 39 59	12
13	09 14 <sup>b</sup> 19 29 39 49 59	09 19 29 39 49 59	19 39 59	13
14	09 19 29 39 49 52 56 <sup>b</sup> 59	09 19 29 39 49 59	19 39 59	14
15	04 09 14 19 24 29 34 39 44 49 54 59	09 19 29 39 49 59	19 39 59	15
16	04 09 14 19 24 29 34 39 44 49 52 56 59	09 19 29 39 49 59	19 39 59	16
17	04 09 14 19 24 <sup>c</sup> 29 34 <sup>c</sup> 39 44 <sup>c</sup> 49 54 <sup>c</sup> 59	09 19 29 39 48 <sup>b</sup> 59	19 39 59	17
18	04 <sup>c</sup> 09 14 <sup>c</sup> 19 24 <sup>c</sup> 29 34 <sup>c</sup> 39 44 <sup>c</sup> 49 54 <sup>c</sup> 59	08 <sup>b</sup> 19 39 59	19 39 59	18
19	04 <sup>c</sup> 09 19 29 39 49 59	19 39 59	19 39 59	19
20	09 19 24 <sup>b</sup> 39 44 <sup>b</sup> 59	19 39 59	19 39 59	20
21	19 39 59	19 39 59	19 39 59	21
22	19 39 50	19 39 50	19 39 50	22
23	09 38 <sup>b</sup>	09 38 <sup>b</sup>	09 38 <sup>b</sup>	23
0	08 <sup>b</sup> 23 <sup>b</sup>	08 <sup>b</sup> 23 <sup>b</sup>	08 <sup>b</sup> 23 <sup>b</sup>	0

■ = Fahrt in der Zeit 16.10.06 bis 22.12.06. / 08.01.07 bis 10.02.07!  
K = Kein Niederflerfahrzeug

■ = als 6E bis Geschäftsstelle Neustadt  
a = bis Hauptbahnhof

b = bis Schleiermeyerstr.

c = nur montags bis donnerstags



---

# Programm

$$1 \text{ fat } 1l = 1 \text{ liter} \quad 1000 \text{ cm}^3$$

, dem

# Montag, 26. Februar 2007

## Tutorien

10:00 – 11:30 Uhr

Raum W1180	<b>VHDL-AMS - Grundlagen und Modellbibliotheken</b>  <i>E. Hessel, Hella KGaA, Lippstadt; J. Haase, FhG-IIS/EAS, Dresden</i>
Raum U1040	<b>Dymola/Modelica</b>  <i>I. Bausch-Gall, BAUSCH-GALL GmbH, München</i>

## Eröffnung

11:45 – 12:30	<b>Eröffnung und Begrüßung</b> <i>Lam, Frau Prof. ...</i> <i>Lam: Vorstellung Measystems Center Bremen (MCB)</i>	Hörsaal 2 (Raum W0020)
12:30 – 13:15	<b>Plenarvortrag</b> <i>Prof. Th. Frauenheim, Uni Bremen: Computational Material Sciences</i>	
13:15 – 14:10	<b>Mittagspause</b>	

## Vorträge Teil I

### Session 1

Hörsaal 2 (Raum W0020) / 14:10 – 16:15 Uhr

VHDL-AMS in der Praxis

Chair: E.Hessel

14:10	<b>Betrachtung einadriger Leitungen elektrischer Fahrzeugbordnetze mit Hilfe von Simulation</b> <i>M. Klinkenberg, Yazaki</i>	Seite 35
14:35	<b>Modellierung einer Bleibatterie für die Automotive VHDL-AMS Bibliothek</b> <i>St. Braun, Smart CAE</i>	Seite 45
15:00	<b>VHDL-AMS Sicherungsmodell - Erweiterungen und Anwendungsfälle für eine ISO-Norm gerechte Sicherungsauslegung</b> <i>Th. Reinders, Delphi</i>	Seite 43
15:25	<b>Vendor Session: VHDL-AMS</b> <i>1. ANSOFT 2. CISCO: SYAD</i>	

**Session 2**  
**Hörsaal 3 (Raum W0030) / 14:10 – 16:15 Uhr**

**Simulation thermischer Systeme**  
Chair: K. Panreckl

14:10	<b>CFD-Simulation der Be- und Enttaugungsprozesse in Kfz-Scheinwerfern</b> <i>Th. Maschkio, Hella KGaA</i>	Seite 20
14:35	<b>Modellierung und Simulation von Fahrzeugverdichtern</b> <i>W. Tegethoff, TLK-Thermo GmbH, Braunschweig</i>	
15:00	<b>Simulationsstudien für eine energieoptimierte Turnhallen-Sanierung</b> <i>M. Mevenkamp, Hochschule Bremen</i>	Seite 28
15:25	<b>Integrierte Analyse und Optimierung kontinuierlicher Erstarrungsprozesse</b> <i>J. R. Böhmer, Universität Hildesheim</i>	Seite 55
15:50	<b>Modellierung und Simulation von Thermohydraulischen Systemen</b> <i>St. Wischhusen, XRG Simulation GmbH Hamburg</i>	Seite 34

**Session 3**  
**Raum W1180 / 14:10 – 16:15 Uhr**

**Modellbasiertes Testen**  
Chair: W. Anheier

14:10	<b>Effiziente Erfüllbarkeitsalgorithmen für die Generierung von Testmustern</b> <i>R. Drechsler, Uni Bremen</i>	Seite 13
14:35	<b>Fehlerdiagnose auf Transistorebene</b> <i>B. Straube, FhG-IIS/EAS Dresden</i>	
15:00	<b>Verifikation des Loadboards und Simulation der Prüfvorschrift eines Automotive ICs</b> <i>A. Lehmler, Atmel</i>	Seite 16
15:25	<b>Komponentenbasierte Mixed-Level-Modellierung mit variablen MOSFET-Verhaltensmodellen</b> <i>J. Weber, A. Lemke, M. Anton, Atmel; Seite A. Huss, TU Darmstadt</i>	Seite 56
15:50	<b>Einsatz von Simulation und Testmodellen im herkömmlichen Entwicklungsprozess (Praxisbericht)</b> <i>M. Lim, H.-W. Wiesbrock, IT Power Consultants, Berlin</i>	Seite 32

16:15 – **Pause**  
16:45

# Vorträge Teil II

## Session 1

Hörsaal 2 (Raum W0020) / 16:45 – 18:25 Uhr

Modellierung und Simulation im Bereich Automotive,  
Luft- und Raumfahrt

Chair: R.Laur

16:45	<b>Methoden moderner Flugsimulation</b> <i>H. Bom, Rheinmetall Defence Electronic, Bremen</i>	
17:10	<b>Aktive Vibrationsunterdrückung bei Propellerflugzeugen</b> <i>O. Nüssen, Airbus, Bremen</i>	
17:35	<b>Modelle für Mehrleitersysteme im Kraftfahrzeug mit VHDL-AMS und Modelica</b> <i>K. Siebert, St. Frei, Uni Dortmund</i>	Seite 51
18:00	<b>Simulation von Hybridfahrzeugen mit der SmartElectricDrivesLibrary</b> <i>F. Pirker, D. Simic, arsenal research</i>	Seite 22

## Session 2

Hörsaal 3 (Raum W0030) / 16:45 – 18:25 Uhr

Modellierung mechatronischer Systeme

Chair: I. Bausch-Gall

16:45	<b>Thermisches Modell einer Rad- bremse für schwere Nutzfahrzeuge</b> <i>St. Pitzing, KNORR-BREMSE, München</i>	Seite 17
17:10	<b>Echtzeitmodelle für den Test automotiver Steuergeräte</b> <i>H. Haupt, dSPACE GmbH, Paderborn</i>	Seite 42
17:35	<b>Flexible Umgebungsmodellierung im Designprozess von Fahrerassistenzsystemen</b> <i>J. Becker, L. Muche, P. Schneider, FhG-IIS-EAS Dresden</i>	Seite 40
18:00	<b>Modellbildung für die integrierte Firmware-Entwicklung für ein Beatmungsgerät</b> <i>F. Dietz, Weinmann GmbH Hamburg</i>	Seite 48

## Session 3

Raum W1180 / 16:45 – 18:25 Uhr

Aus- und Weiterbildung

Chair: L. Palotas

16:45	<b>Hierarchische Optimierung einer Phasenregelschaltung (PLL)</b> <i>H. Gräß, Technische Universität München</i>	Seite 12
17:10	<b>Simulatoren in der Aus- und Weiterbildung</b> <i>L. Palotas, FH-Wiesbaden</i>	Seite 50
17:35	<b>Entwurf gemischt analog-digitaler elektronischer Schaltungen - Tools, Design Flow, Entwurfsmethodiken</b> <i>J. Klugbauer, H. Zapf, FH München, <sup>vgl. AES</sup> <sup>27.07.2014</sup> <sup>ein</sup> <sup>als</sup> <sup>Schaltung</sup> <sup>schritte</sup></i>	
18:00	<b>Einsatz von Simulationstools im Bereich des HF-Schaltungsentwurfs</b> <i>A. Bangert, FH Hildesheim/Holzwinden/Göttingen</i>	Seite 30

18:30 –  
19:00 **Mitgliederversammlung**  
*Hörsaal 2 (W0020)*

20:00 **Gemeinsame Abendveranstaltung / Kohlfahrt**

# Dienstag, 27. Februar 2007

## Plenarvorträge - Hörsaal 2 (Raum W0020)

09:00 –  
09:45

Simulationsverfahren als Basis des Entwicklungsprozesses für Kfz-Elektronik

Dr. Ch. Ameling, VW

*Fahrerassistenzsysteme*

*29. – 30. Mai*

*H5 Wismar*

09:45 –  
10:15

Pause

*Thorsten Pawletta*

*Univ. Rostock,*

*iAV Grifflorin*

## Vorträge Teil I

### Session 1

### Modellierung und Simulation im Bereich Automotive

Hörsaal 2 (Raum W0020) / 10:15 – 11:55 Uhr

(I)

Chair: W. Commerell

10:15

Modellbasierte Softwareentwicklung in der Fahrzeugklimatisierung

Seite 15

*M. Frigge, Behr-Hella-Thermocontrol*

10:40

Modellierung des Kurbelwellendrehmomentes mit Hilfe des hoch aufgelösten Drehzahlsignals

Seite 36

*J. Ölscher, Hochschule Wismar*

11:05

PKW Klimamodell - für den intelligenten Klimasitz mit aktiver Klimaregelung

*L. Frenzel, FWB Bremen*

11:30

Simulationsverfahren in der verteilten Entwicklung von Antriebssoftware

Seite 13

*F. Wolf, VW*

### Session 2

### Allgemeine Simulationsanwendungen (I)

Hörsaal 3 (Raum W0030) / 10:15 – 11:55 Uhr

Chair: H.-T. Mammen

10:15

Automatische Generierung dynamischer Modelle auf der Basis von Messdaten mit Hilfe von eclCP

Seite 46

*H. Stahl, ExpertControl GmbH*

10:40

Entwicklung und Optimierung alternativer Antriebe unter Einsatz physikalischer Methoden

*S. Miller, The MathWorks*

11:05

Ist das V noch zu retten? - auf der Suche nach Alternativen zur Entwicklung mit dem V-Modell

Seite 26

*A. Junghanns, Qtronic*

11:30

Modellierung von MEMS mit Computeralgebra

Seite 45

*St. Braun, SmartCAE*

**Session 3**

Raum W1180 / 14:15 – 16:30 Uhr

**Automatische Modellgenerierung (I)**

Chair: P. Schwarz

10:15	<b>Automatisierte Speicher- modellierung mit Hilfe impedanzbasierter Messverfahren</b> <i>L. Morawietz, B. Bäker, TU Dresden</i>	Seite 53
10:40	<b>Symbolische Modellierungsverfahren für mechatronische Systeme</b> <i>J. Broz, Th. Halfmann, FhG ITWM Kaiserslautern</i>	Seite 14
11:05	<b>Automatische Generierung nichtlinearer Verhaltensmodelle und Aspekte zur effizienten Simulation</b> <i>R. Sommer, TU Ilmenau</i>	
11:30	<b>CHAMELEON – eine Charakterisierungs- und Modellierungsumgebung für den Schaltungsentwurf</b> <i>R. Jancke, FhG-IIS/EAS Dresden</i>	Seite 10
<del>09:45 – 10:15</del>	<b>Mittagspause</b>	

13 00

**Vorträge Teil II****Session 1**

Hörsaal 2 (Raum W0020) / 13:00 – 14:15 Uhr

**Allgemeine Simulationsanwendungen (II)**

Chair: H.-T. Mammen

13:00	<b>Ein effizientes Kompaktmodell zur Simulation und Analyse von Crosstalk-Fehlern</b> <i>W. Anheier, A. K. Palit, Uni Bremen</i>	Seite 44
13:25	<b>Modellbasierter Entwurf eines Prüfsystems für elektromagnetische Aktuatoren</b> <i>A. Wilde, P. Schneider, T. Putzger, FhG-IIS/EAS Dresden</i>	Seite 12
13:50	<b>Entwicklung von getakteten Komparatoren bei Chipdesign</b> <i>O. Kunz, IC-Haus, Bodenheim</i>	Seite 18

**Session 2**

Hörsaal 2 (Raum W0020) / 13:00 – 14:15 Uhr

**Automatische Modellgenerierung (II)**

Chair: P. Schwarz

13:00	<b>Datenbasierte Modellierung von Analog-Digital Mixed-Signal Automotive Schaltkreisen</b> <i>H. Mielenz, R. Doelling, W. Rosenstiel, Bosch Reutlingen</i>	Seite 16
13:25	<b>Extraktion von physikalisch basierten mixed-level Modellen für Mikrosysteme</b> <i>M. Nießner u.a., TU München</i>	Seite 24
13:50	<b>Ordnungsreduktionsverfahren bei der automatisierten Modellgenerierung für den Elektronik- und Mikrosystemtechnikentwurf</b> <i>A. Köhler, S. Reitz, J. Bastian, P. Schneider, Ch. Clauß, P. Schwarz, Bergakademie Freiberg, FhG-IIS/EAS Dresden</i>	Seite 38

14:30 – **Fahrt zu den Besichtigungen**

15:00

15:00 – **Besichtigungen**

17:00

Rheinmetall Bus zurück  
1200 in DCAG  
Airlus Abgang  
1420

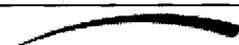
# Aussteller



## **Ansoft Europe**

Munich Office  
Aidenbachstrasse 52  
81379 Munich, Germany

Tel: +49 89 68 086 240  
Fax: +49 89 68 086 226  
Email: [info\\_de@ansoft.com](mailto:info_de@ansoft.com)  
WWW: <http://www.ansoft.de>



## **arsenal research**

*Ein Unternehmen der Austrian Research Centers*

## **arsenal research**

Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal  
Ges.m.b.H.

Giefinggasse 2  
1210 Wien

Tel.: +43/(0)50 550-0 (österreichweit zum Ortstarif)  
Fax: +43/(0)50 550-6666  
E-Mail: [gf@arsenal.ac.at](mailto:gf@arsenal.ac.at)  
WWW: [www.arsenal.ac.at](http://www.arsenal.ac.at)

## **BAUSCH-GALL GmbH**

## **BAUSCH-GALL GmbH**

Wohlfahrtstrasse 21 b  
80939 Muenchen, Deutschland

Telephone: +49/89/3232625,  
Telefax: +49/89/3231063  
E-Mail: [info@Bausch-Gall.de](mailto:info@Bausch-Gall.de)  
WWW: [www.bausch-gall.de](http://www.bausch-gall.de)



## **CISC Semiconductor Design+Consulting GmbH**

Lakeside B07  
9020 Klagenfurt - Austria

Phone: +43 (463) 508 808  
Fax: +43 (463) 508 808 - 18  
E-Mail: [office@CISC.at](mailto:office@CISC.at)  
web: [www.CISC.at](http://www.CISC.at)



## **dSPACE GmbH**

Technologiepark 25  
33100 Paderborn

Tel.: +49 5251 1638-0  
Fax: +49 5251 66529  
Vertrieb: [info@dSPACE.de](mailto:info@dSPACE.de) Support: [support@dSPACE.de](mailto:support@dSPACE.de)  
WWW: [www.dSPACE.de](http://www.dSPACE.de)



**ExpertControl GmbH**

Strittholzstr. 31  
82211 Herrsching, Germany

Tel: +49 (0)7000/3973787  
Fax: +49 (0)8152/90992-14  
WWW: <http://www.expertcontrol.com/>

**IT Power  
Consultants**

**IT Power Consultants**

Gustav-Meyer-Allee 25 / Gebäude 12  
13355 Berlin

Telefon +49 - (0)30 - 46 79 98 43  
Telefax +49 - (0)30 - 46 30 76 49  
E-Mail: [info@itpower.de](mailto:info@itpower.de)  
WWW: [www.itpower.de](http://www.itpower.de)



**Mentor Graphics (Deutschland) GmbH**

Arnulfstrasse 201  
80634 München

Tel.: +49 89 570 96 281  
Fax: +49 89 570 96 425  
WWW: [www.mentor.com](http://www.mentor.com)

**SmartCAE Stefan Braun**

Marthastr. 9a  
81825 München

Telefon: +49 - (0)89 - 4373 - 8805  
Telefax: +49 - (0)89 - 4373 - 8061  
E-Mail: [info@smartcae.de](mailto:info@smartcae.de)  
WWW: [www.smartcae.de](http://www.smartcae.de)

**SYNOPSYS®**  
Predictable Success

**Synopsys GmbH**

Europa-Forum-II Building  
Karl-Hammerschmidt-Strasse 34  
D-85609 Aschheim/Domach Germany

Tel: +49-89-99-320-0  
Fax: +49-89-99-320-117  
WWW: <http://europe.synopsys.com/>

---

# Kurzfassungen

## **CHAMELEON - eine Charakterisierungs- und Modellierungsumgebung für den Schaltungsentwurf**

*Roland Jancke, Peter Schwarz Roland.Jancke | Peter.Schwarz@eas.iis.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen/Institutsteil EAS  
Zeunerstr. 38, 01069 Dresden*

In Zeiten stetig steigender Systemkomplexität und rasch sinkender Strukturbreiten kommt der Verbesserung und Beschleunigung des Entwurfs elektronischer Schaltkreise große Bedeutung zu. Mit Verlustleistungsreduzierung, Ausbeuteoptimierung, Robustheit und Zuverlässigkeit sind schärfere Randbedingungen und Anforderungen vom IC-Designer zu berücksichtigen. Modellierung ist ein wichtiges Hilfsmittel zur Beherrschung der komplexen Anforderungen und Sicherung einer hohen Entwurfsqualität.

Bisher wird die Modellierung als Werkzeug zur Steigerung der Entwurfsproduktivität von Schaltkreisentwerfern noch immer wenig eingesetzt, da Methoden und Werkzeuge für eine einfache und automatische Erstellung von Modellen in der industriellen Praxis fehlen und Modelle daher nach wie vor überwiegend von Hand erstellt werden müssen.

Ansätze zur automatischen Modellgenerierung gibt es seit vielen Jahren. Symbolische Verfahren umfassen mittlerweile neben der Analyse mittels symbolischer Approximation auch Methoden und Werkzeuge zur Generierung von Verhaltensmodellen. Die erlaubte Komplexität der zu approximierenden Transistorschaltung und die Effizienz der entstehenden Modelle sind jedoch nach wie vor nicht ausreichend. Tabellenmodelle bilden dagegen auch sehr komplexe Zusammenhänge ab, sind jedoch kaum parametrisierbar und insbesondere für höhere Dimensionen durch Interpolation zwischen den Tabellenwerten oder die Auswertung einer Approximationsfunktion nicht sehr effizient.

Im Gegensatz zu den beiden bisher genannten Verfahren können parametrisierbare Verhaltensmodelle für eine ganze Klasse von Schaltungen erstellt und durch Wahl der Parameter angepasst werden. Der Aufwand zur Beschreibung des prinzipiellen Verhaltens der Schaltungsklasse von Hand fällt nur einmalig an. Die Charakterisierung einer Schaltung und Modellgenerierung unter Verwendung der ermittelten Parameter kann automatisch mit Hilfe von Tools erfolgen. Auf dem Markt verfügbare Werkzeuge zur Charakterisierung und Modellgenerierung sind im Allgemeinen an einen Simulatorhersteller gebunden und gestatten nur die Nutzung der mitgelieferten Modellbibliothek.

Im Beitrag wird die Charakterisierungs- und Modellierungsumgebung CHAMELEON vorgestellt, die als offene Plattform angelegt ist und die Integration verschiedener Tools und Modellierungsverfahren erlaubt. Mit CHAMELEON werden automatisch und skriptbasiert durch Charakterisierung die Eigenschaften einer Schaltungen ermittelt und durch Parametrisierung eines zugehörigen Templates ein Modell generiert.

Bei der Tool-Integration wird unterschieden zwischen Werkzeugen, die für die Simulation eingesetzt werden, und solchen für das Postprocessing, also die Extraktion der charakteristischen Kennwerte aus den Simulationsergebnissen. Derzeit werden die Produkte von Mentor Graphics ADVanceMS beziehungsweise EZWave eingesetzt. Modelle werden für VHDL-AMS generiert, eine Erweiterung auf VerilogA und SystemC-AMS ist mit geringem Aufwand möglich. Die Java-basierte Oberfläche verwaltet die Modelltemplates der Schaltungsklassen, Testbenches und Extraktionsskripte. Die Visualisierung der Ergebnisplots in der Oberfläche gestattet den Vergleich zwischen den Simulationen von Schaltung und Verhaltensmodell.

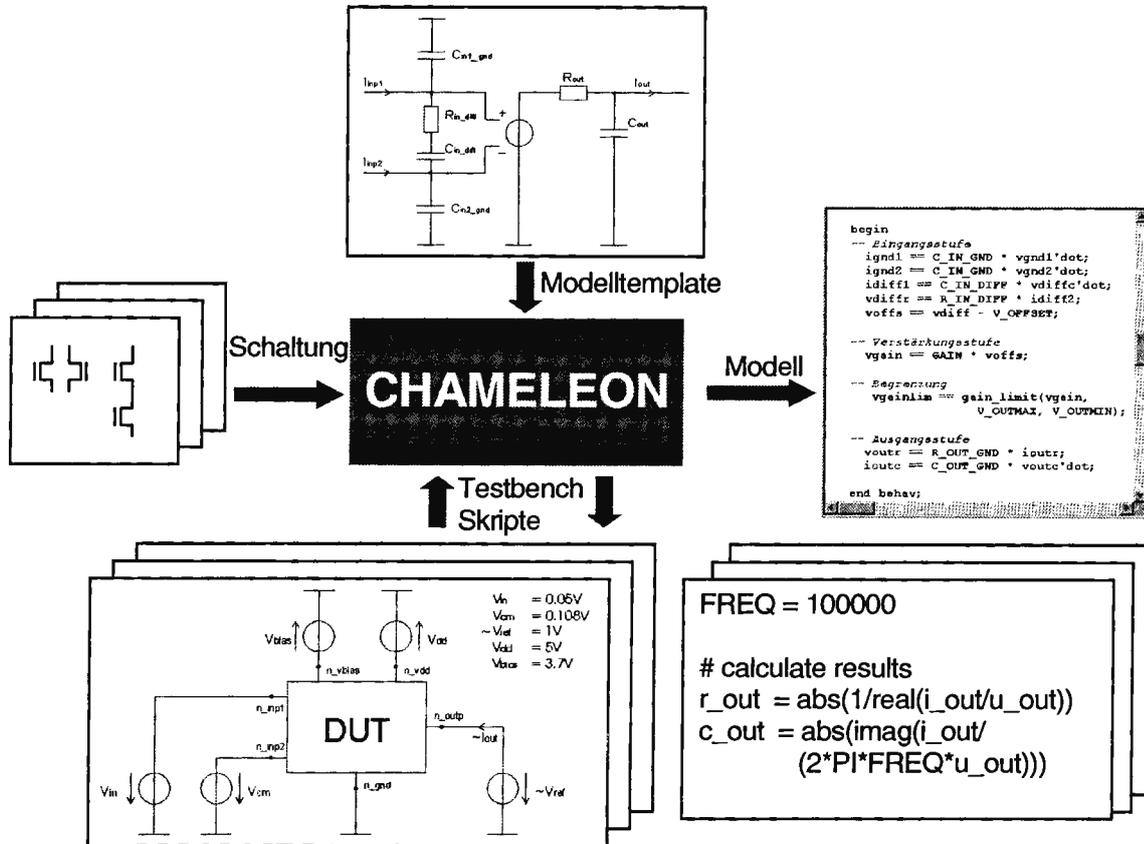


Abbildung 1: Charakterisierung und Modellgenerierung mit CHAMELEON

Am Beispiel eines Operationsverstärkers wurde die Modellierungsplattform getestet. Dazu sind Testschaltungen, Extraktionsskripte und ein modular aufgebautes Modell entwickelt worden, bei dem sich einzelne Effekte einbeziehen oder ausblenden lassen, um die Modellierungsgenauigkeit anzupassen.

[1] Gielen, G.G.E.; Rutenbar, R.A.: Computer-Aided Design of Analog and Mixed-Signal Integrated Circuits. IEEE Proc., vol. 88, no. 12, pp. 1825-1851, Dec. 2000

[2] Jancke, R.; Böhme, S.; Clauß, C.; Halfmann, T.; Schwarz, P.; Sommer, R.; Trappe, P.: Modellierungsunterstützung für Mixed-Signal-Systeme durch symbolische Vereinfachung nichtlinearer Blöcke. Proc. ANALOG'05, Hannover, März 2005

[3] Jancke, R.; Schwarz, P.: Supporting Analog Synthesis by Abstracting Circuit Behavior Using a Modeling Methodology, Proc. Internat. Symp. Circuit and Systems ISCAS 2006, Kos, Greece, May 2006

## Modellbasierter Entwurf eines Prüfsystems für elektromagnetische Aktuatoren

Andreas Wilde, Peter Schneider, Tom Putzger  
Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen, Außenstelle EAS  
Zeunerstr. 38  
01069 Dresden

Bei der Produktion von elektromagnetischen Relais werden am Ende der Fertigung an allen Exemplaren bestimmte, für die Lebensdauer ausschlaggebende mechanische Parameter (Kontakt-Kräfte und Positionen) gemessen. Diese Messung erfolgt heutzutage mechanisch, was aus verschiedenen Gründen nicht vorteilhaft ist. In diesem Beitrag wird ein alternatives Verfahren vorgestellt, das ausschließlich auf der Messung von elektrischen Größen beruht, wobei die gesuchten mechanischen Größen mit Hilfe neuronaler Netze aus den elektrischen Messungen bestimmt werden. Die zentrale Idee bei der indirekten Bestimmung mechanischer Parameter ist die Messung der magnetischen Hystereseschleife. In diesen Messungen spiegeln sich die Schaltvorgänge in Form von charakteristischen Kurvenverläufen wider. Aus den Hystereseschleifen können so charakteristische Punkte (Extrema, Anstiege) extrahiert werden, aus denen mit Hilfe eines geeigneten neuronalen Netzes auf die entsprechenden mechanischen Größen geschlossen werden kann. Das Hauptproblem bei diesem Ansatz ist das Training der neuronalen Netze, das über entsprechende Trainingsdaten erfolgen muss, für die die mechanischen Zielgrößen bekannt sind. Diese Trainingsdaten sind aus Messungen an realen Relais nicht zu gewinnen, da einerseits am realen Relais nicht alle wesentlichen Einflussgrößen messbar sind und andererseits bei vertretbarem Aufwand kaum gewährleistet werden kann, dass eine Stichprobe von Relais den Raum aller vorkommenden Parameterkombinationen abdeckt. Dieses Problem wird dadurch gelöst, dass die Trainingsdaten durch Simulation des Relais mithilfe eines auf verallgemeinerten Kirchhoffschen Netzen beruhenden Modells gewonnen werden. In diesem Beitrag wird nach einer kurzen Vorstellung des Simulationsmodells auf erste Ergebnisse eingegangen. In einer Reihe von Simulationen wurden die Positionen der Kontakte, die Steifigkeit der Ankerfeder und der ohmsche Widerstand der Erregerspule systematisch variiert. Aus den simulierten Hystereseschleifen wurden die Koordinaten der charakteristischen Punkte extrahiert und damit neuronale Netze zur Bestimmung der Kontaktpositionen und Kräfte trainiert. Mit den so trainierten Netzen ist es möglich, die mechanischen Parameter aus simulierten Kurven zu bestimmen. Die Genauigkeit der Bestimmung ist mit der Genauigkeit der mechanischen Messung vergleichbar.

## Hierarchische Optimierung einer Phasenregelschaltung (PLL)

Helmut Gräß   
Technische Universität München  
greab@tum.de

Voraussetzung für einen automatisierten Top-Down-Entwurf ist, dass Modelle von Systemblöcken über die Modellierung des Ein-/Ausgangsverhaltens hinaus Parameter der nächsttieferen Hierarchieebene einbeziehen. Ziel des Vortrages ist es, diese Aussage anhand der hierarchischen Optimierung einer PLL zu verdeutlichen. Zunächst wird die PLL auf Architekturebene basierend auf einem Verhaltensmodell in Verilog-A dimensioniert. Aus den Ergebnissen können durch die entsprechende Ausgestaltung der Verhaltensmodelle automatisch Spezifikationen für die anschließende Dimensionierung einzelner Blöcke der PLL auf Transistorebene abgeleitet werden.

Handwritten note: *Handwritten text*

Handwritten note: *www.design-gate.com*

## Simulationsverfahren in der verteilten Entwicklung von Antriebssoftware

*Dr.-Ing. Fabian Wolf, Volkswagen AG*

Die wachsende Funktionalität und die Softwarekomplexität in Systemen der Automobilindustrie verlangen neue Konzepte für eine verteilte Entwicklung zwischen Automobilherstellern und Steuergerätezulieferern, zum Beispiel für den Antriebstrang. Als Teilaspekt der klar definierten und gelebten Entwicklungsprozesse wird eine strukturierte Absicherung der Steuergeräte-Software benötigt. Die Schlüsselaspekte des Steuergerätetests bei verteilter Entwicklung werden identifiziert. Der Beitrag stellt in diesem Zusammenhang die Themen Software-Modultests sowie Motorsteuergeräte-Tests mit ihrer gesamten Software am Simulator vor.

## Effiziente Erfüllbarkeitsalgorithmen für die Generierung von Testmustern<sup>1</sup>

*Rolf Drechsler*

*FB 3 - Mathematik und Informatik, Universität Bremen, 28359 Bremen  
drechsle@informatik.uni-bremen.de*

Während Schaltungen noch bis vor einigen Jahren vornehmlich in Rechenanlagen Verwendung fanden, werden sie zunehmend ein Teil unserer täglichen Umgebung und finden in vielen sicherheitskritischen Bereichen Anwendung. Exemplarisch seien hier medizinische Apparaturen und die Automobilindustrie genannt. Schon heute entstehen z.B. in dem zuletzt genannten Bereich bis zu 40% der Kosten durch die Elektronik. Hinzu kommt, dass hier immer mehr "kritische Komponenten, wie Bremsen und Lenkung, elektronisch unterstützt bzw. gesteuert werden.

Daher werden immer höhere Anforderungen an die Verfahren gestellt, die die Korrektheit dieser Schaltungen und Systeme gewährleisten sollen. In den vergangenen Jahren wurden große Fortschritte erzielt, doch durch die immer höhere Komplexität der Systeme und den Einsatz neuer Technologien müssen auch die Werkzeuge weiterentwickelt werden, die die Qualität sicher stellen. Ein wesentlicher Aspekt bei der Erstellung von Schaltungen und Systemen ist der Test der produzierten Chips. Die durch den Test entstehenden Kosten betragen bis zu 50% der Gesamtkosten der Fertigung.

Eine grundlegende Methode zum Testen ist die Generierung von Testmustern ausgehend von einem System und einem betrachteten Fehlermodell. Es wird ein Verfahren zur automatischen Testmuster-generierung (ATPG=Automatic Test Pattern Generation) basierend auf Boolescher Erfüllbarkeit (SAT=Satisfiability) vorgestellt. Während klassische ATPG-Verfahren auf den Schaltungen arbeiten wird hier eine Lösung durch formale Methoden erreicht.

Experimentelle Untersuchungen zeigen, dass das neue Verfahren auch auf große industrielle Schaltungen erfolgreich angewandt werden kann.

### Literatur

J. Shi, G. Fey, R. Drechsler, A. Glowatz, F. Hapke, J. Schlöffel, PASSAT: Efficient SAT-based Test Pattern Generation, IEEE Annual Symposium on VLSI (ISVLSI '05), Seiten 212-217, 2005

R. Drechsler, G. Fey. Automatic Test Pattern Generation, In 6th International School on Formal Methods for the Design of Computer, Communication and Software Systems: Hardware Verification (SFM-06:HV), LNCS 3965, Seiten. 30-55, 2006

D. Tille, S. Eggersglüß, G. Fey, R. Drechsler, A. Glowatz, F. Hapke, J. Schlöffel. Studies on Integrating SAT-based ATPG in an Industrial Environment, 19. GI/ITG/GMM Workshop Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen, Erlangen, 2007

<sup>1</sup> Das Projekt wird gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DR 287/15-1) und durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (MAYA, Projektnummer 01M3172B).

## Symbolische Modellierungsverfahren für mechatronische Systeme

Jochen Broz, Thomas Halfmann  
Fraunhofer ITWM, Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern

Das Ziel der symbolischen Analyse, welche ihren Ursprung im Entwurf von Anlogschaltungen hat, ist die Gewinnung eines vertieften Systemverständnisses durch die Ableitung symbolischer Formeln. Allerdings führt die exakte symbolische Behandlung bereits bei kleinen Systemen zu außerordentlich komplexen Beschreibungen, die für das eigentliche Ziel eines verbesserten Systemverständnisses völlig ungeeignet sind, und die Anwendung von effizienten Techniken zur Vereinfachung wie z.B. die symbolische Modellreduktion, erfordern.

Dieser am ITWM maßgeblich mitentwickelte Computer-algebraische Ansatz [1,2] ermöglicht es, Komponenten-basierte Netzwerke, die als nichtlineare differentiell-algebraische Gleichungssysteme (DAE-Systeme) modelliert werden können, bezüglich einem vorgegebenen Verhalten automatisch auf ihre dominanten Anteile zu reduzieren. Eine wesentliche Eigenschaft hierbei ist, dass die Modellvereinfachung unter automatischer Fehlerkontrolle abläuft und dass das vereinfachte Modell wieder physikalisch interpretierbar ist. In diesem Zusammenhang wird das EDA-Werkzeug Analog Insydes ([www.analog-insydes.de](http://www.analog-insydes.de)) entwickelt. Das industrielle Anwendungsspektrum symbolischer Methoden ist vielschichtig und reicht vom klassischen Schaltungsverständnis hin zur Fehleranalyse, von der Schaltungsdimensionierung und -optimierung bis hin zur automatisierten Verhaltensmodellierung auf der Mixed-Signal oder System-Ebene.

Die dabei verwendeten Verfahren können wegen ihres allgemein mathematischen Ansatzes auch außerhalb des Mikroelektronik-Umfeldes zur Modellierung und Analyse angewendet werden. Hierzu werden die aktuellen Arbeiten zur Untersuchung von mechatronischen Systemen mit Hilfe symbolischer Modellierungsverfahren vorgestellt. Um mechanische Systeme auf diese Weise behandeln zu können, werden diese in Finite Elemente zerlegt, die an den Netzwerkknoten fest miteinander verbunden sind. An die Stelle von Strom und Spannung treten nun Kräfte, Drehmomente, Verschiebungen und Verdrehungen. In Kooperation mit dem Fraunhofer IIS/EAS [3] wurde eine Bibliothek für symbolische Modelle mikromechanischer Elemente entwickelt. Mechatronische Systeme können nun somit über eine verallgemeinerte Netzlistenbeschreibung modelliert werden. Darüber hinaus steht die vollständige Modellgenerierungs- und Analysefunktionalität von Analog Insydes zur Verfügung. Dieses Vorgehen wird anhand eines einfachen Modells eines Beschleunigungssensors demonstriert.

### Literatur

- [1] Halfmann, T.; Wichmann, T.: Symbolic Methods in Industrial Analog Circuit Design, Scientific Computing in Electrical Engineering, Springer Verlag, 2006.
- [2] Wichmann, T.: Symbolische Reduktionsverfahren für nichtlineare DAE-Systeme, Shaker Verlag, Aachen, 2004.
- [3] Broz, J.; Clauß, C.; Halfmann, T.; Lang, P.; Martin, R.; Schwarz, P.: Automated Symbolic Model Reduction for Mechatronical Systems, IEEE International Symposium on Computer-Aided Control Systems Design (CACSD 2006), Munich, Germany, Oct. 2006.

## Modellbasierte Softwareentwicklung in der Fahrzeugklimatisierung

*Dr.-Ing. Michael Frigge*  
*Vorentwicklung (Simulationstechnik & Methodik)*  
*Behr-Hella Thermocontrol (BHTC) GmbH*  
*Hansastraße 40, 59557 Lippstadt*

Der Beitrag stellt die Entwicklung eines neuartigen Klimatisierungskonzeptes vor, dessen Realisierung erst durch die Verwendung modellbasierter Verfahren und der Simulationstechnik ermöglicht wurde.

Bei der Fahrzeugklimatisierung spielt die Abstimmung der aus den verschiedenen Auslassdüsen ausströmenden Luftmengen eine entscheidende Rolle für das Wohlbefinden von Fahrer und Beifahrer. Jeder Fahrzeuginsasse soll in der Lage sein, einen individuell gewünschten Komfortlevel wählen zu können. Zwei- oder Mehrzonen-Klimaanlagen gehören mittlerweile schon fast zur Standardausstattung von Fahrzeugen der Mittel- und Oberklasse, wobei die Wunschtemperatur jeder Zone separat gewählt werden kann. Dagegen können die Luftmengen und Luftverteilungen in der Regel nicht getrennt voneinander eingestellt werden.

Um eine bestimmte Verteilung der Luftmassenströme einstellen zu können, bedarf es eines Algorithmus, der aus den vorgegebenen Massenstrom-Sollwerten die resultierenden Klappenpositionen sowie die erforderliche Gebläseleistung errechnet.

Der Ansatz der klassischen Regelung der Luftmassenströme erfordert zur Erfassung der Ist-Werte den Verbau kostenintensiver Sensorik.

Auf der Grundlage eines geeigneten Modells der Anlage lassen sich die Sensorwerte auch berechnen, so dass auf teure Sensoren ganz verzichtet werden kann. Die Aufgabe liegt dann in der Erstellung eines mathematischen Modells des Klimagerätes, auf dessen Basis ein Regelalgorithmus vorgegebene Sollwerte einregeln und gleichzeitig Störeinflüsse ausregeln kann.

Voraussetzung für den zweckmäßigen Entwurf einer Steuerung ist die eingehende Kenntnis des fluidischen Anlagenverhaltens in Form eines mathematischen Rechenmodells. Aufgrund der geometrischen Komplexität der Luftführung in einem Klimagerät kann ein solches Mehrgrößensystem nur durch Auswertung geeigneter Messwerte erstellt werden.

Neben der Berechnung der einzelnen Luftmassenströme berücksichtigt das Modell auch Störeinflüsse z.B. durch Temperaturklappen, manuell verschließbare Auslassdüsen oder den Einfluss von Staudruck, so dass üblicherweise eine starke Kopplung zwischen den physikalischen Größen vorliegt.

Die Erstellung des Modells erfolgt unter Verwendung der grafischen Beschreibungssprache *Matlab/Simulink*<sup>®</sup>. Zahlreiche Analyse- und Optimierungstools unterstützen die Messdatenauswertung, das anschließende Modelldesign und erlauben eine umfassende Validierung des Modells. Im folgenden Schritt wird ein geeigneter Reglerentwurf vorgenommen, um die einzelnen Massenströme regeln zu können. Ausgangsgrößen des gesamten Algorithmus sind schließlich die Klappenwinkel als Stellgrößen der Regler sowie die geforderte Gebläseleistung.

Diese umfassende Analysephase des Funktionsdesigns wird als Model-in-the-Loop-Simulation (MIL) bezeichnet.

Auf dem Weg zur Steuergeräte-Software setzt der Codegenerator *TargetLink* auf die grafische Funktionsentwicklung auf und erlaubt die automatische Erzeugung von Seriencode „per Knopfdruck“. Dabei wird der gesamte Algorithmus, also Regler und das Modell der Anlage, in effizienten Seriencode überführt. Bei der Software-in-the-Loop-Simulation (SIL) wird dieses Softwaredesign überprüft (Skalierung, Wortbreite, Quantisierungseffekte), die Processor-in-the-Loop-Simulation (PIL) liefert darüber hinaus Informationen über Laufzeit und Ressourcenbedarf auf der späteren Zielhardware.

Somit lassen sich selbst komplexe Regelalgorithmen und Steuerungen wie das aufgeführte Beispiel der modellbasierten Luftmengensteuerung sehr effizient in das Klimasteuergerät implementieren.

Der Kunde als Nutzer einer Klimaanlage (Fahrer, Beifahrer, Mitfahrer) profitiert von den neu eröffneten Möglichkeiten, neben der Temperatur nun auch unterschiedliche Luftmengen und Luftverteilungen auf Fahrer-/Beifahrerseite getrennt und nahezu rückwirkungsfrei einstellen zu können (persönliche Klimastile). Auf unangenehme, direkte Sonneneinstrahlung kann durch eine Einzelplatz-Solarkompensation individuell

reagiert werden. Daneben lässt sich eine optimale Energieverteilung realisieren, was sich für den Insassen durch hohen Komfort und einen geräuschoptimalen Betrieb des Gebläses bemerkbar macht.

Dem Applikateur der Klimaregelung eröffnet der Einsatz der Luftmengensteuerung eine abstrakte Sichtweise: Er muss sich um Unsymmetrien der Anlage, Einfluss der Mischluftklappen sowie Quereinflüsse der Klappen untereinander keine Gedanken mehr machen und kann sich durch die Vorgabe einzelner Massenströme ganz auf seine Aufgabe der Klimatisierung konzentrieren. Als weiterer Vorteil können bereits abgestimmte Luftmengen aus Vorgänger-Modellen, ähnlichen Fahrzeugen oder Benchmarks übernommen werden.

#### **Literatur:**

M. Frigge, R. Trapp: „Genügend Luft am richtigen Platz“ In: Automobil Produktion, 12/2006, S. 76.

## **Verifikation des Loadboards und Simulation der Prüfvorschrift eines Automotive ICs**

*Dipl.-Ing. (FH) Andreas Lehmler, RD42, CAD  
Atmel Germany GmbH  
Theresienstr.2, 74072 Heilbronn  
email: andreas.lehmler@hno.atmel.com*

Der Beitrag "Verifikation des Loadboards und Simulation der Prüfvorschrift eines Automotive ICs" zeigt die Notwendigkeit der frühzeitigen (bevor der IC in Silizium vorliegt) Verifikation des Loadboards durch Simulation und der Simulation der Prüfvorschrift auf. Es wird die Vorgehensweise erörtert, wie die diskreten Bauteile des Loadboards in Verhaltensmodelle umgesetzt werden können, die Verifikation des Boards wird an einem Beispiel demonstriert. Weiter wird eine mögliche Umsetzung der Prüfvorschrift in Verhaltensmodelle gezeigt. Die Simulation der Prüfvorschrift-Tests wird unter Einbindung eines Automotive-ICs, der durch Verhaltensmodelle beschrieben ist, demonstriert.

## **Datenbasierte Modellierung von Analog-Digital Mixed-Signal Automotive Schaltkreisen**

*Holger Mielenz und Rolando Dölling, Robert Bosch GmbH, Reutlingen  
Wolfgang Rosenstiel, Institut für Technische Informatik, Universität Tübingen*

Die steigenden Anforderungen an den Entwurfsprozess in der Automobilelektronik lassen die Entwicklung neuer Methoden notwendig werden, die zu einer Verbesserung der Entwurfseffizienz beitragen können. Die funktionale Verifikation per Simulation stellt einen wichtigen Teilschritt in der Überprüfung der Spezifikationskonsistenz entwerfener Schaltungskomponenten dar. Auf Transistorebene ist dies meist mit sehr langen Simulationszeiten verbunden, weshalb in größeren Designs zeitkritische Komponenten durch manuell erzeugte Verhaltensmodelle ersetzt und Mixed-Level

# Thermisches Modell einer Radbremse für schwere Nutzfahrzeuge

Dipl.-Ing. Stephan Pitzing  
 Knorr-Bremse Systeme für Nutzfahrzeuge GmbH  
 Bereich Vorentwicklung Scheibenbremse T/DBS  
 Moosacher Strasse 80 / 80809 München  
[stephan.pitzing@knorr-bremse.com](mailto:stephan.pitzing@knorr-bremse.com) / [www.knorr-bremse.com](http://www.knorr-bremse.com)

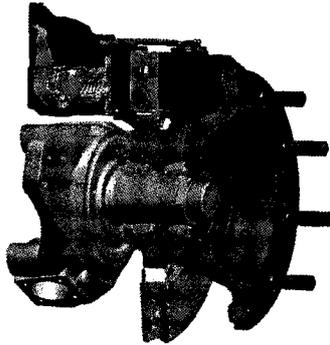


Abbildung 1 Radbremseinheit

Die Bremstechnik schwerer Nutzfahrzeuge in Europa wird von pneumatisch betätigten Scheibenbremsen dominiert. Abbildung 1 zeigt einen Schnitt einer Radbremseinheit, bestehend aus Brems-scheibe und Bremssattel, Radnabe, Radlager und Achsende. Wird das Fahrzeug wiederholt stark abgebremst, treten an den Reibkörpern und den benachbarten Baugruppen extreme Temperaturen auf. Diese Bedingungen limitieren nicht nur den Einsatz bewährter Materialien, sondern erschweren zudem die Anwendung von elektronischen Baugruppen, die auch im bremsennahen Bereich von Nutzfahrzeugen vermehrt eingesetzt werden. Schon im Vorentwicklungsprozess werden Konstruktionsvarianten bezüglich des thermischen Verhaltens untersucht, unter anderem mit entwicklungsbegleitenden Simulationsrechnungen.

Thema des Vortrages ist ein Simulationsmodell, das die grundlegenden Wärmetransportvorgänge innerhalb einer Radbremseinheit abbildet. Ausgangspunkt sind konzentrierte Elemente, deren thermischen Parameter, wie in Abbildung 2 beschrieben, durch stationäre FE-Rechnungen bestimmt werden. Unter Nutzung der thermisch-elektrischen Analogien und durch Verbindung der konzentrierten Elemente entsteht ein thermisches Ersatznetzwerk der Radbremseinheit. Konvektive Vorgänge und Strahlung werden mit Hilfe von physikalisch motivierten Koeffizienten beschrieben [VDI 97].

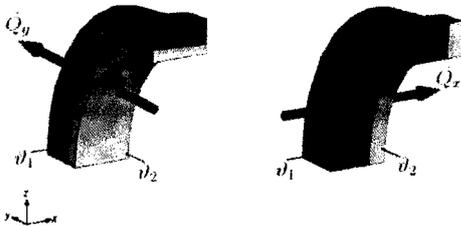
Die Beschreibungssprache *Modelica* eignet sich in erster Linie wegen des energiestromorientierten Ansatzes und des offenen Sprachstandards zur Modellierung des thermischen Ersatznetzwerkes.

Als grafische Oberfläche und zur mathematischen Umsetzung dient *Dymola*. Die Standardelemente für thermische Modelle wurden im Laufe der Arbeit stark erweitert und an die Aufgabe angepasst. Mit dem Rechenmodell steht dem Konstrukteur ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem Temperaturen an den kritischen Bremsenbauteilen näherungsweise berechnet werden können. Darüber hinaus werden Vorschläge und Szenarien zu sicherheitsrelevanten Verbesserungen im Fahrbetrieb durch Integration eines angepassten Rechenmodells in die Bremsensteuerung anskizziert. In diesem Zusammenhang wird vor allem auf Fahrerassistenzsysteme hingewiesen.

Als grafische Oberfläche und zur mathematischen Umsetzung dient *Dymola*. Die Standardelemente für thermische Modelle wurden im Laufe der Arbeit stark erweitert und an die Aufgabe angepasst. Mit dem Rechenmodell steht dem Konstrukteur ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem Temperaturen an den kritischen Bremsenbauteilen näherungsweise berechnet werden können. Darüber hinaus werden Vorschläge und Szenarien zu sicherheitsrelevanten Verbesserungen im Fahrbetrieb durch Integration eines angepassten Rechenmodells in die Bremsensteuerung anskizziert. In diesem Zusammenhang wird vor allem auf Fahrerassistenzsysteme hingewiesen.



Stationäre thermische Mechanica Analyse



Implementierung in Dymola (TwoDimElementRaCo)

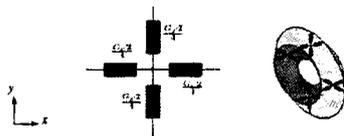


Abbildung 2 Ermitteln der Parameter

## Literaturangaben

[BÖC 03] Böckh, Peter von: *Wärmeübertragung: Grundlagen und Praxis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2003  
 [VDI 97] Verein Deutscher Ingenieure; GVC VDI-Gesellschaft: *VDI Wärmeatlas: Berechnungsblätter für den Wärmeübergang*. 8., neu bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1997  
 [WEI 86] Weiland, Johannes: *Analytische und experimentelle Untersuchung des thermischen Verhaltens von Industriebrems-scheiben*. Bochum, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Maschinenbau, Institut für Konstruktionstechnik. Schriftenreihe, Heft 86.7, 1986

## Entwicklung von getakteten Komparatoren bei Chipdesign

Oxana Kunz

Bei der hierarchischen Entwicklung komplexen integrierter Schaltungen werden in der Regel mehrere Netzteile zur Versorgung der verschiedenen Funktionsmodule benötigt. Im Rahmen einer Diplomarbeit bei der Fa. IC Haus wurde ein Abwärtswandler (Tiefsetzsteller) entwickelt. Bei den getakteten Stromversorgungen (Schaltwandler, Schaltnetzteile) werden viele Komparatoren eingesetzt. Da diese Wandler mit einer hohen Frequenz betrieben werden, sind die klassischen analogen Komparatoren für diesen Betrieb oft ungeeignet. Ziel des Vortrages ist es, mit Hilfe von leistungsfähigen Simulatoren (Eldo) den Entwicklungsweg von einem analogen zu einem getakteten Komparator zu zeigen.

Aufgabe eines Komparators ist der Vergleich einer Signalspannung  $U_e$  mit einer Referenzspannung  $U_{ref}$ . Abb.1 zeigt die Grundsaltung eines Komparators und dessen Übertragungskennlinie:

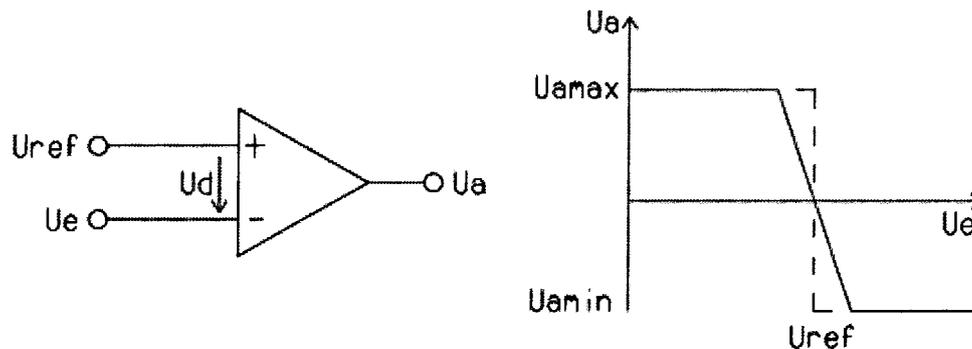


Abbildung 1: Grundsaltung eines Komparators und die Übertragungskennlinie

Im einfachsten Fall besteht der Komparator aus einem nichtgegekoppelten Operationsverstärker, so dass dessen hohe Leerlaufverstärkung  $A_{uo}$  voll ausgenutzt wird. Wegen der fehlenden Gegenkopplung ist keine Frequenzkompensation nötig, wodurch die Schaltzeiten niedrig gehalten werden und die Transitfrequenz nicht herabgesetzt wird. Überschreitet die Signalspannung  $U_e$  in Abb.1 die Vergleichsspannung  $U_{ref}$ , so wird die Differenzeingangsspannung  $U_d$  negativ und die Ausgangsspannung läuft an die untere Ansteuerungsgrenze  $U_{amin}$ . Entsprechend wird für  $U_e < U_{ref}$  die Spannung  $U_d > 0$  und somit  $U_a = U_{amax}$ . Wegen der hohen Leerlaufverstärkung  $A_{uo}$  genügt bereits eine sehr geringe Spannungsdifferenz  $|U_e - U_{ref}|$  im Bereich  $\mu V \dots mV$ , um den Schaltvorgang auszulösen. Beim idealen OP wäre diese Spannungsdifferenz null (gestrichelte Linie). Bei Präzisionsanwendungen sind die statischen Fehler zu beachten:

- Offsetspannung, Offsetspannungsdrift
- Eingangsruhestrome, Offsetstrom, Offsetstromdrift
- Eingangsempfindlichkeit.

Bei Verarbeitung schnell veränderlicher Eingangssignale sind die dynamischen Einflüsse zu beachten:

- begrenzte Anstiegsgeschwindigkeit der Ausgangsspannung (SLEW-RATE)
- Verzögerungszeiten

Eine Alternative ist der getaktete Komparator oder Komparator mit Selbstgleich (Abb.3).

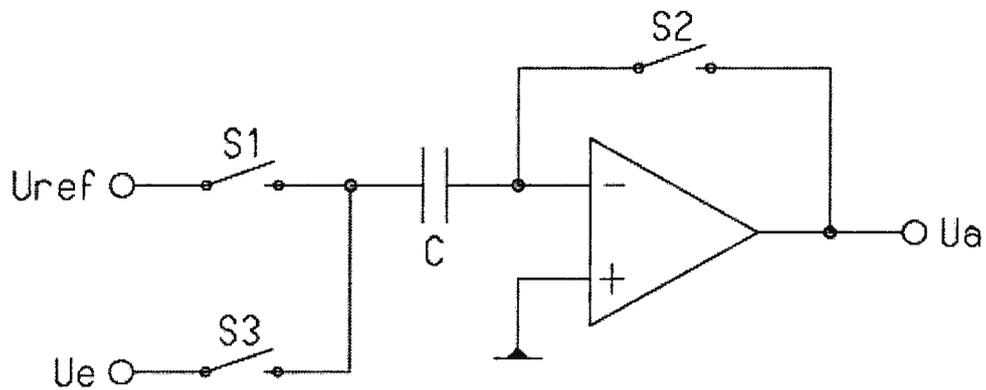


Abbildung 3: getakteter Komparator

Vorteile des getakteten Komparators:

- benutzte Bauteile können klein sein
- kein Offset
- schnell
- kleiner Querstrom

Das Funktionsprinzip ist:

Während der Phase 1 sind die Schalter S1 und S2 geschlossen: die vorhandene Offsetspannung plus  $U_{ref}$  wird in der Kapazität C gespeichert und der Verstärker ist als ein Spannungsfolger geschaltet. Während der Phase 2 werden die Schalter S1 und S2 geöffnet und der Schalter S3 geschlossen: die Spannung  $U_e$  wird eingelesen und der Verstärker arbeitet jetzt als Komparator.

An der Stelle eines Verstärkers kann auch ein CMOS-Inverter als „Mini“ Komparator benutzt werden.

Literatur:

- Palotas, L.(Hrsg.): Elektronik für Ingenieure. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg Verlag 2003  
 Kilgenstein, O.: Schaltnetzteile in der Praxis. 3. Aufl. Würzburg: Vogel Buchverlag 1992  
 Thiel, U. L.: Schaltnetzteile erfolgreich planen und dimensionieren. Pöpping: Franzis, 1995  
 Siegl, J.: Schaltungstechnik. 2.Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2004, 2005

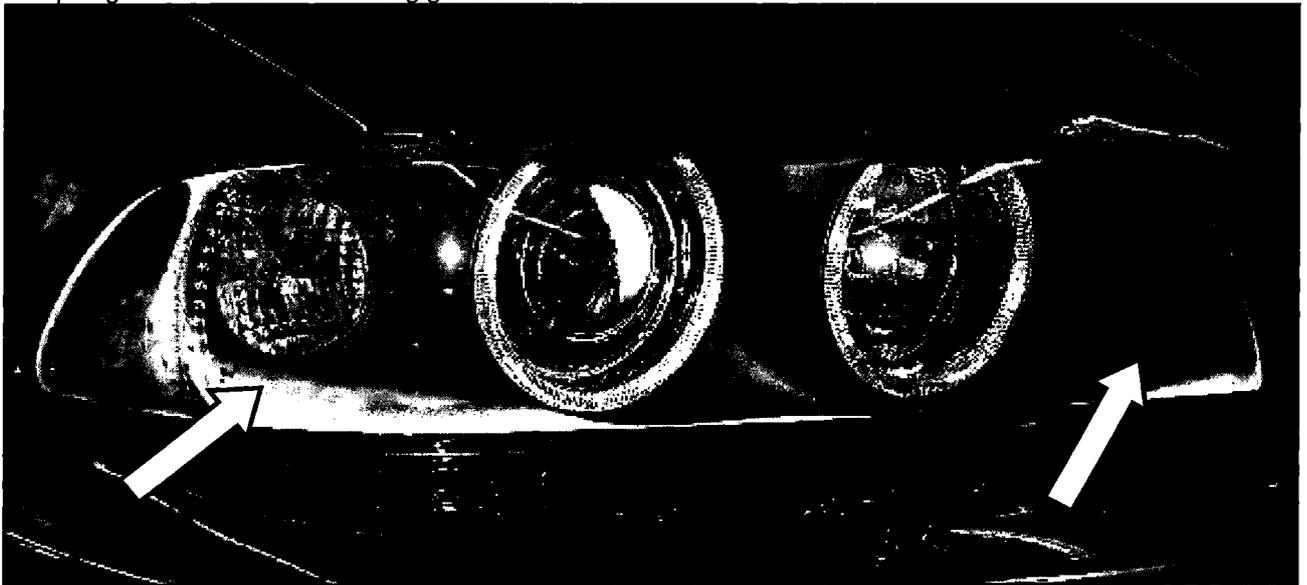
## CFD-Simulation der Be- und Enttaunungsprozesse in Kfz-Scheinwerfern

*Thorsten Maschkio*

*Hella KGaA Hueck & Co.  
Mess- und Testzentrum – Simulationen  
Rixbecker Straße 75  
59552 Lippstadt*

Die zunehmend kürzer werdenden Entwicklungszeiten erfordern die Verlagerung detaillierter Systemprüfungen in eine frühe Phase der Produktentstehung. Da zu diesem Zeitpunkt experimentelle Methoden aufgrund fehlender Prototypen nicht einsetzbar sind, werden vermehrt Simulationsmethoden verwendet, die auf virtuellen Prototypen basieren.

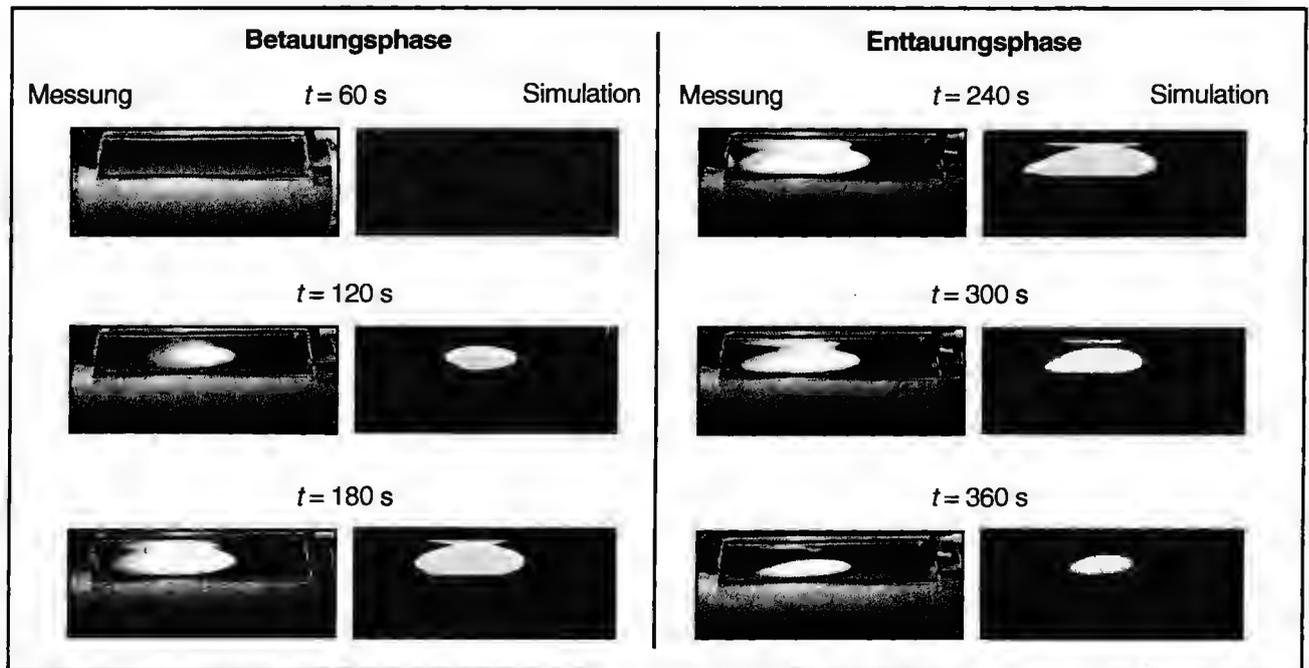
Auch zur Analyse des Be- und Enttaunungsverhaltens von Scheinwerfern sind solche Simulationsmethoden wünschenswert. Betauung bezeichnet dabei die Kondensation von Wasserdampf in den sichtbaren Bereichen eines Scheinwerfers und wird vom Kunden als Qualitätsdefizit gewertet. Analog dazu wird die Verdampfung von Kondensat Enttaunung genannt.



**Abbildung 1:** Kondensatbildung auf der Innenseite der Abschluss-Scheibe eines Kfz-Scheinwerfers

Zur Berechnung der Be- und Enttaunungsprozesse in Scheinwerfern ist ein kommerzielles CFD-Simulationswerkzeug (Computational Fluid Dynamics) verwendet worden, welches viele der benötigten Gleichungen (Navier-Stokes-Gleichungen) bereits enthält. Dieses Werkzeug wurde um die mathematische Beschreibung von Phasenumwandlungen (Kondensation, Verdampfung) erweitert. Dadurch lassen sich die leistungsfähigen Lösungsalgorithmen des Tools sowie dessen Analysemöglichkeiten, z.B. Visualisierungen, auch zur Berechnung der Be- und Enttaunungsvorgänge nutzen.

Zur Validierung des Simulationsmodells ist ein Versuchsaufbau entwickelt worden, der den Ablauf von Be- und Enttaunungsprozessen unter definierten Bedingungen ermöglicht. Diese Vorgänge wurden anschließend in Simulationen nachgebildet, wobei sich zwischen Mess- und Simulationsergebnissen eine hohe Übereinstimmung zeigte. Durch den Einsatz geeigneter Messtechnik ist es insbesondere gelungen, einen quantitativen Vergleich zwischen simulierten und gemessenen Kondensatstärken durchzuführen.



**Abbildung 2:** Qualitativer Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Betauungserscheinungen  
 Die Anwendung der Simulationsmethodik im Entwicklungsprozess neuer Scheinwerfer ermöglicht neben der Lokalisierung der betauungskritischen Bereiche auch die Bewertung von Maßnahmen, die die Reduzierung der Betauungsproblematik zum Ziel haben. So lassen sich auch die Zeiten bestimmen, die unter gegebenen Betriebs- und Umgebungsbedingungen der Scheinwerfer zur vollständigen Verdampfung des zuvor gebildeten Kondensats benötigt werden.

- [1] ANDERSON, J. D.: *Computational Fluid Dynamics*. McGraw-Hill, Singapore 1995.
- [2] NOLTE, S.: *Eine Methode zur Simulation der Temperatur- und Strömungsverteilung in lichttechnischen Geräten*. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Paderborn 2005.
- [3] MASCHKIO, T.: *CFD-Simulation der Be- und Enttauungsprozesse in Kfz-Scheinwerfern*. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Paderborn 2007.

## Simulation von Hybridfahrzeugen

*Dragan Simic, Anton Haumer, Franz Pirker*  
*Arsenal research, Giefinggasse 2, A-1210 Wien, Österreich*  
*T: +43050550-6648, F: +43050550-6595, I: [www.arsenal.ac.at](http://www.arsenal.ac.at)*  
*[Dragan.simic@arsenal.ac.at](mailto:Dragan.simic@arsenal.ac.at), [anton.haumer@arsenal.ac.at](mailto:anton.haumer@arsenal.ac.at), [franz.pirker@arsenal.ac.at](mailto:franz.pirker@arsenal.ac.at)*

Die Realisierung hybrider Antriebskonzepte wird von allen Beteiligten der Automobilindustrie intensiv diskutiert und evaluiert. Die Relevanz alternativer Fahrzeugkonzepte wird insbesondere vor dem Hintergrund der bestehenden Gesetzgebung, zukünftiger verschärfter Regulierungen und dem derzeitigen Ölpreis deutlich. Eine der wesentlichsten Herausforderung in der Entwicklung von Hybridfahrzeugen liegt in der Berücksichtigung des Gesamtsystems (Längsdynamiksimulation). Die Realisierung optimierter und effizienter Gesamtsysteme erfordert nicht nur die Entwicklung optimierter Einzelkomponenten sondern insbesondere auch die Berücksichtigung der Abhängigkeiten und Wechselwirkungen der einzelnen Komponenten. Speziell für hybride Antriebskonzepte ist eine optimale Abstimmung der einzelnen Antriebskomponenten (Verbrennungskraftmaschine, Elektromotor, Energiespeicher, Regelung, etc.) wesentlich. Eine wesentliche Voraussetzung für die Realisierung optimierter, energieeffizienter Fahrzeugkomponenten ist daher eine umfassende Modellierung und Simulation des Fahrzeugs unter Berücksichtigung aller relevanten Komponenten und Fahrzyklen (NEDC, RealLife etc.). Auf dieser Basis können die Energieflüsse im Fahrzeug, der Energiebedarf einzelner Aggregate und der Treibstoffbedarf sowie die Emissionen der Verbrennungskraftmaschine (VKM) berechnet werden. Die Fahrzeugsimulation bietet die Möglichkeit, unterschiedliche Fahrzeugkonzepte rasch und flexibel konzipieren und vergleichen zu können. Das Energieeinsparungspotenzial alternativer Fahrzeugkonzepte bzw. elektrischer Nebenaggregate kann berechnet und die wesentlichen Parameter zur Realisierung der Aggregate können unter realen Betriebsbedingungen bestimmt werden. Darüber hinaus ermöglicht die Fahrzeugsimulation die Entwicklung einer intelligenten Betriebsstrategie der einzelnen Komponenten und dadurch die Optimierung des Energiemanagements.

Dazu wurde bei arsenal research eine multidisziplinäre Simulationsumgebung zur Längsdynamiksimulation aufgebaut. Aufgrund des hohen Grads an Interdisziplinarität wurde die Simulationsumgebung in Dymola/Modelica realisiert. Dymola (Dynamic Modeling Laboratory) ist eine interdisziplinäre Simulationsplattform, die die Modellierung und Simulation integrierter und komplexer Systeme unter Einbeziehung u. a. mechanischer, elektrischer, thermodynamischer, hydraulischer, pneumatischer und thermischer Komponenten auf Basis der Simulationssprache Modelica erlaubt. Modelica selbst ist eine objektorientierte Sprache zur physikalischen Modellierung mittels Differenzialgleichungen und algebraischer Gleichungen. Der generische Zugang sowie die hohe Flexibilität, dynamische Prozesse und komplexe Interaktionen zwischen (Sub)systemen abbilden zu können, stellen die wesentlichen Vorteile von Dymola/Modelica dar. Die realisierte Simulationsumgebung umfasst drei Modellbibliotheken: die SmartPowerTrains Library zur Modellierung der mechanischen Komponenten des Antriebsstrangs, die SmartElectricDrives Library zur Modellierung der elektrischen Komponenten und Antriebe sowie die SmartCooling Library zur Modellierung der thermischen Prozesse [1, 2].

Die SmartPowerTrains Library wurde speziell für die Längsdynamiksimulation eines Fahrzeugs entwickelt [1]. Sie enthält alle mechanischen Komponenten des Antriebsstrangs, wie Bremsen, Kupplung, Getriebe etc. Diese sind als objektorientierte, physikalische Modelle mittels algebraischer und Differenzialgleichungen realisiert und über deren Geometrie parametrisiert. Die Modellierung mittels Differenzialgleichungen bietet gegenüber Kennlinien-basierten Modellen einen wesentlichen Vorteil, da das dynamische Verhalten und das tatsächliche Betriebsverhalten in Abhängigkeit von vielen Einflussparametern weit präziser beschrieben werden können. Durch Kopplung der Energiequellen, der Lasten und der Systemzustände können der gesamte Energieverbrauch sowie die wechselseitigen Abhängigkeiten der einzelnen Komponenten ermittelt werden. Um darüber hinaus die Betriebsstrategie der einzelnen Komponenten optimieren zu können, ist die unabhängige Regelung jeder Komponente erforderlich.

Die Smart Electric Drives Library erlaubt die Modellierung und Simulation elektrischer Antriebe mit einem speziellen Fokus auf automotiver Applikation. Sie enthält Modelle aller relevanten Komponenten von der elektrischen Maschine selbst über die Leistungselektronik, die Energiequellen bis zur Last. Es wurden Modelle unterschiedlicher elektrischer Maschinen (Asynchronmaschine, permanent erregte Synchronmaschine, konventionelle und bürstenlose Gleichstrommaschinen) und entsprechender Regelungen (Field Oriented Control, Brushless DC etc.) sowie Komponenten der Leistungselektronik, idealisierter Batterien und idealer bzw. idealisierter Verbraucher entwickelt [2]. Die SmartElectricDrives Library erlaubt somit die Modellierung und Simulation des gesamten elektrischen Systems. In Kombination mit der SmartPowerTrains Library können unterschiedliche hybride Fahrzeugkonzepte modelliert und verglichen werden.

Die Anwendungsmöglichkeiten und die Potentiale der Fahrzeugsimulation werden an Beispiel eines Klimakompressors eines Kältemittelkreislaufs demonstriert. Als Basisfahrzeug wird ein SUV mit konventionellem Antriebskonzept modelliert. Zur Modellierung der Klimaanlage wird auf ein bestehendes Klimaanlagenmodell der Modelica AC-Library zurückgegriffen und dieses in das Fahrzeugmodell integriert. Dieser Kältemittelkreislauf bzw. der Klimakompressor wird mit unterschiedlichen Antriebskonzepten realisiert.

- Als Referenzmodell wird der Klimakompressor mit einem Keilrippenriemen und einem konstanten Übersetzungsverhältnis zwischen der Verbrennungskraftmaschine und dem Klimakompressor betrieben.
- Zur Optimierung des Kältemittelkreislaufs wird ein elektrischer Antrieb modelliert (Vergleichsmodell). Der Antrieb besteht aus einer elektrischen Maschine, einer Batterie sowie einem Generator. Sämtliche Komponenten werden als physikalische Modelle in das Fahrzeugmodell integriert.

Beide Modelle enthalten ein Kabinenmodell aus der AC-Library, so dass die Temperaturverläufe des Fahrgastraums betrachtet werden können. Um die Vorteile der Kältemittelkonzepte zu analysieren, werden die Abkühlvorgänge des Fahrgastraums simuliert.

Die Simulation beider Konzepte erfolgt auf Basis des New European Drive Cycle (NEDC). Die Energiebilanz am Anfang und am Ende jeder Simulation bzw. jedes Fahrzyklus werden betrachtet, so dass Aussagen über den Energieverbrauch beider Fahrzeugmodelle getroffen werden können. Der Kraftstoffverbrauch beider Konzepte wird verglichen und die Temperaturverläufe des Fahrgastraums dargestellt. Es wird nachgewiesen, dass das elektrische Klimaanlagekonzept in einem NEDC Fahrzyklus energieeffizienter ist und somit das Fahrzeugkonzept mit elektrischer Klimaanlage zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs im Vergleich mit einem konventionellen Fahrzeug führt.

- [1] Simic, D., Kral, C., Pirker, F.: Simulation of the Cooling Circuit with an Electrically Operated Water Pump, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC, 2005
- [2] Gragger, J.V., Giuliani, H., Kral, C., Bäuml, T., Kapeller, H., Pirker, F.: The SmartElectricDrives Library – Powerful Models for Fast Simulations of Electric Drives, Proceedings of the 5th International Modelica Conference, Vienna, 2006
- [3] Simic, D., Giuliani, H., Kral, C., Pirker, F.: Simulation of conventional and hybrid vehicle including auxiliaries with respect to fuel consumption and exhaust emissions, 2006-01-0444, SAE World Congress.

## Extraktion von physikalisch basierten mixed-level Modellen für Mikrosysteme

*Martin Niessner, Gabriele Schrag und Gerhard Wachutka*

*Lehrstuhl für Technische Elektrophysik,  
Technische Universität München, Arcisstr. 21, München 80290  
Telefon: +49-89-289-23108, Telefax: +49-89-289-23134, e-Mail: niessner@tep.ei.tum.de*

Mikrosysteme werden in zahlreichen Bereichen der Industrie für unterschiedlichste technische Anwendungen eingesetzt: als Beschleunigungs- und Drehratensensoren für Airbag- oder ABS-Systeme, als Mikropumpen für die Dosierung kleinster Flüssigkeitsmengen in der Medizin oder Umweltanalytik und als mikro-mechanische Hochfrequenzschalter für Mobilfunkanwendungen und Hörgeräte.

So vielfältig die Anwendungen auch sind, erfüllt das jeweilige Mikrosystem stets die Funktion eines Sensors oder Aktors, d.h. eines Wandlers von verschiedenen physikalischen Energie- und Signalformen. Ein Beschleunigungssensor wandelt beispielsweise die mechanische Größe der Beschleunigung in ein elektrisches Signal um.

Die Sensor- und Aktorfunktionalität dieser Mikrowandler wird im Allgemeinen mit einem zweiteiligen Aufbau, bestehend aus einem mikrostrukturierten Bauteil und elektrischen Schaltkreisen, umgesetzt. Die Energiewandlung zwischen verschiedenen physikalischen Domänen erfolgt über physikalische Kopplungseffekte innerhalb des mikrostrukturierten Bauelements. Die elektrischen Schaltkreise dienen zur Energieversorgung und Regelung des Mikrobauteils sowie zur Verarbeitung der elektrischen Signale.

Für die Modellierung und Simulation von Mikrosystemen hat diese zweiteilige Struktur besondere Herausforderungen in Bezug auf die zu bewältigende Komplexität und Heterogenität zur Folge. Komplexität resultiert vor allem aus der Modellierung des Mikrobauteils. Zur korrekten Abbildung des Wandlerverhaltens sind in einem geeigneten theoretischen Rahmen sowohl verschiedene physikalische Energiedomänen als auch deren gegenseitige Koppelungen zu berücksichtigen. Die Heterogenität ergibt sich aus der Art von Simulationen, welche für Charakterisierung der beiden Bestandteile notwendig sind. Zur Charakterisierung des Mikrobauteils ist eine Bauelementsimulation, d.h. eine Simulation in Abhängigkeit der geometrischen Abmessungen, von Materialparametern und phänomenologischen Transportmodellen, sowie verschiedener Randbedingungen durchzuführen. Für die Charakterisierung der elektrischen Schaltungen ist eine Systemsimulation, d.h. eine Simulation, welche geometrieabstrakte Kompaktmodelle von elektrischen Bauelementen in Abhängigkeit von Spannung und Strom verknüpft, durchzuführen. Für die Simulation von Mikrosystemen sind diese beiden Arten von Simulationen zu kombinieren.

Im Rahmen dieses Beitrags wird die mixed-level Modellierung als physikalisch basierter Ansatz zur Lösung dieser Herausforderungen in der Modellierung und Simulation von Mikrosystemen vorgestellt. Den theoretischen Rahmen für die mixed-level Modellierung bildet die generalisierte Kirchhoffsche Netzwerktheorie, welche es unter bestimmten Voraussetzungen erlaubt, unterschiedliche physikalische Energiedomänen in Kirchhoffsche Netzwerke abzubilden und zu koppeln [2, 3]. Die beteiligten Energiedomänen werden hierzu in Abhängigkeit von Paaren geeigneter, zueinander konjugierter Variablen beschrieben, einer sog. generalisierten Kraft („across-quantity“) und einer generalisierten Flußgröße („through-quantity“). Diese Vorgehensweise ist gemeinhin aus der elektrischen Netzwerktheorie bekannt, in der als Variablenpaar die elektrische Spannung und der elektrische Strom verwendet werden. Für die Erstellung eines mixed-level Modells wird das Mikrosystem in einem ersten Schritt in Subsysteme zerlegt. Subsysteme können hierbei kleinste funktionale Einheiten oder gesamte Energiedomänen des Mikrosystems umfassen. In einem zweiten Schritt werden die erhaltenen Subsysteme in Abhängigkeit von Paaren konjugierter Variablen modelliert. Der Ansatz der mixed-level Modellierung erweist sich an dieser Stelle als sehr flexibel und erlaubt verschiedene Konzepte zur Abbildung der Subsysteme in entsprechende Modelle einzusetzen. Für die Modellierung eines elektrostatisch angetriebenen und fluidisch gedämpften Mikrospiegels werden beispielsweise ein analytisches, physikalisch basiertes Kompaktmodell für die Elektrostatik, ein mittels modaler Superposition ordnungsreduziertes, jedoch physikalisch interpretierbares Modell für die Mechanik und ein verteiltes, geometriebasiertes Modell in Form eines Finiten Netzes für die Fluidik eingesetzt. Sind alle Subsysteme modelliert, so werden diese über die jeweiligen konjugierten Variablen in einem generalisierten Kirchhoffschen Netzwerk zusammengeführt. Auf diese Weise ist der Austausch von Energie unter den einzelnen Subsystemen und damit letztendlich, zwischen den Energiedomänen inhärent über die Kirchhoffschen Netzwerkgleichungen physikalisch konsistent in das Gesamtmodell abgebildet.

Die Modellgenerierung erfolgt automatisiert mit Hilfe einer MATLAB Toolbox. Diese benötigt als Eingabe die diskretisierte Geometrie des fluidisch gedämpften Mikrosystems und Modellinformationen über die Mechanik der Mikrostruktur [1]. Das domänenübergreifende mixed-level Modell wird von der Toolbox in VHDL-AMS umgesetzt ausgegeben und kann auf diese Weise direkt mit einer Schaltungssimulation gekoppelt werden.

Die erfolgreiche Anwendung der mixed-level Modellierung wird am Beispiel eines Mikrorelais und eines Mikrospiegels demonstriert.

#### **Literatur:**

- [1] Niessner, M.; Schrag, G.; Wachutka, G.: Extraction of Physically Based High-Level Models for Rapid Prototyping of MEMS Devices and Control Circuitry. – In: The 5<sup>th</sup> IEEE Conference on Sensors, IEEE Sensors 2006, Daegu, Korea, 22.10.-25.10.2006
- [2] Schrag, G.; Wachutka, G.: Physically based modeling of squeeze film damping by mixed-level system simulation. - In: Sensors and Actuators A: Physical A97-98 (2002) Special Issue, p. 193-200.
- [3] Wachutka, G.: Tailored Modeling: A Way to the 'Virtual Microtransducer Fab'?. – In: Sensors and Actuators A47, (1995), S.603-612

## Ist das V noch zu retten?

### Auf der Suche nach Alternativen zur Entwicklung mit dem V-Modell®

Andreas Junghanns, QTronic GmbH

V-Modelle adressieren nicht das zentrale Problem in der heutigen Mechatronik-Produktentwicklung: Spezialisierung, erzwungen durch die stetig steigende Komplexität der Produkte, erfordert neue Wege der Kommunikation zwischen Spezialisten, die durch verschiedene Gewerke, Fachgebiete und Abteilungen isolierten sind.

Ausführbare Modelle sind ein hervorragendes Mittel zum Austausch von präzisiertem Wissen während der verschiedenen Stufen der Entwicklung. Solche Modelle erfordern exakte, verifizierbare Beschreibungen von Anforderungen, Schnittstellen und Implementationen und können so das Rückgrat einer lebendigen, **ausführbaren Dokumentation** bilden.

Des Weiteren sind solche ausführbaren Modelle ein ausgezeichneter Weg, **automatisierte Tests** am virtuellen Gesamtsystem schon frühzeitig zu ermöglichen. Dadurch können konzeptionelle Fehler zeitig gefunden und kontinuierlich Reifegradaussagen gemacht werden.

Um diese Vision zu verwirklichen, brauchen wir Entwicklungswerkzeuge, die mehr als heute üblich bieten wie z.B. Bibliotheken, Parametrisierung, hierarchische Komposition. Die nötigen Features für Entwicklungswerkzeuge sind **Unterstützung für verteilte Entwicklung** mittels Versionskontrolle, Co-Simulation und Konfigurationsmanagement, für Varianten und Kompetenzen von Modellen (im Gegensatz zu Software).

#### Outline

In dem Vortrag werden wir, ausgehend von einer kurzen Geschichte des V-Modells [1] und der Aufzählung anderer Vorgehensmodelle, Softwareentwicklung mit Mechatronikentwicklung vergleichen. Die grundlegenden Unterschiede zeigen, dass die Vorgehensweise des V-Modells wohl Projektmanagern hilft, aber nicht Ingenieuren der Mechatronikentwicklung. Ingenieure müssen nämlich über Disziplinen und Abteilungen hinweg miteinander kommunizieren.

Die Mechatronikentwicklung leidet vor allem an der Verteilung des Entwicklerwissens in den verschiedenen Abteilungen und Köpfen der Spezialisten. Aber gerade die Spezialisierung ist notwendig, um die steigende Komplexität mechatronischer Produkte überhaupt noch beherrschen zu können. Darüber hinaus wird in den meisten uns bekannten Entwicklungsabteilungen Entwicklungsleistung durch Anpassung erbracht, indem Unterlagen und Entwürfe bestehender Produkte kopiert und gezielt angepasst werden. Ausserdem laufen viele der Phasen in den unterschiedlichen Abteilungen unterschiedlich schnell, eine unnötige zusätzliche organisatorische (im Gegensatz zur technisch-inhaltlichen) Verzahnung sollte also vermieden werden. Variantenentwicklung ist eine der zeitaufwendigsten Entwicklungsarbeiten, in der reinen Softwareentwicklung ein nahezu unbekanntes Phänomen.

Traditionelles V-Modell besagt, dass die Subsystementwicklung in den Abteilungen durch Tests abgesichert wird, bevor die Subsysteme dann in Gesamtsysteme integriert werden. Leider wird aber wichtige Funktionalität erst im Zusammenspiel des Gesamtsystems erleb- und testbar. Somit wird der Test des Gesamtsystems immer wichtiger und kommt in der traditionellen Integrationsphase zu spät, um kostengünstig konzeptionelle Fehler zu beseitigen.

Zusätzlich dazu wird die Gesamtsystemspezifikation zunehmend iterativ ausgeführt, also während der Entwicklung. Es ist schlichtweg unmöglich, eine vollständige und kostengünstige Spezifikation für Gesamtsystem und jedes Gewerke zu erarbeiten, weil die Komplexität der Systeme und die Verteilung des Know-Hows dies verhindern.

Modelle in verschiedenen Ausprägungen (Modellkompetenzen) und deren Austausch können hier Verbesserung schaffen. Es wird damit möglich, innerhalb eines Gewerkes eigene, detaillierte Modelle mit vereinfachten Modellen anderer Gewerke im Systemverbund frühzeitig zu testen, um konzeptionelle Fehler zeitig zu erkennen und die (System-)Spezifikationen zu verfeinern.

Wenn Modelle ausgetauscht werden, dann erfordert dies von beiden Seiten, eine präzisere Definition der Schnittstellen, als in prosa Dokumenten möglich ist. Änderungen an Schnittstellen und/oder Verhalten in einem Modell können nicht wochenlang unentdeckt bleiben, sondern führen zu erkennbaren Fehlern, sobald diese Modelle in Partnerabteilungen verwendet werden. Die Entwicklung verläuft in einer Art **verteilten, kooperativen Evolution**.

Dadurch werden Modelle zu lebender, weil benutzter und dadurch verifizierter, Dokumentation, oder mindestens wichtiger Bestandteil des Dokumentationsprozesses. Wir wollen dies **ausführbare Dokumentation** nennen.

Wie aber wird nun ein komplexes (virtuelles) mechatronisches System getestet? Wer kann das, was da in verschiedensten Subsystemen und Komponenten verschiedenster Abteilungen und Zulieferer in einem System zusammen wirkt überhaupt noch überblicken? Wer kann die Menge der nötigen Tests definieren, die notwendig sind, um den Entwurf eines mechatronischen Systems umfassend zu prüfen? Umfassend hinsichtlich gewünschter Funktion trotz Fertigungstoleranzen, spontaner Bauteilfehler, weit streuender Umwelteinflüsse, Fehlbedienung, Verschleiß und Alterungseffekten, in allen Produktvarianten, ... ?

Auch hier sind Modelle eine Voraussetzung für einen plausiblen Lösungsansatz: **automatisierter Test**, oder: die Maschine testet die Maschine (richtiger: den Entwurf der Maschine) [2]. Durch gezielte Instrumentierung können Modelle mit einem Testfallgenerator kommunizieren. Der Generator versucht Testfälle zu finden, die Schwachstellen offenbaren.

Der Testfallgenerator spielt dabei eine Art Schach gegen den Systementwurf (als Modell kodiert). Der Systementwurf versucht kritische Zustände zu vermeiden, wohingegen der Generator versucht, diese zu provozieren indem er mit system-externen Einflussgrößen „spielt“. Dabei werden Hunderttausende Szenarien durchgespielt und die wenigen, als kritisch markierten, Szenarien in einem übersichtlichen Testbericht dem Menschen mitgeteilt [3,4].

Nur die Ausführbarkeit von virtuellen Gesamtsystemen (SW+HW als Software-in-the-Loop) erlaubt diese Vorgehensweise. Mit Hardware-in-the-Loop (HiL) ist ein solches „Spiel“ nicht praktikabel, aus Zeit und Kostengründen. Allerdings profitieren HiL-Anwender auch von Modellen mit hoher Qualität.

Werden diese automatisierten Tests als integraler Bestandteil der Systementwicklung für „jeden“ Entwicklungsstand ausgeführt, können Manager anhand der Testberichte den Entwicklungsfortschritt (oder Reifegrad) verfolgen.

Was brauchen wir noch, um diese wünschenswerten Funktionalitäten zu realisieren? Wir benötigen Versionsverwaltung und Konfigurationsmanagement auch für Modelle und zwar aus den Modellierungs- und Simulationswerkzeugen heraus bedienbar. Es muss ein Leichtes sein, einen Überblick über die freigegebenen/vorhandenen Modellversionen einer anderen Baugruppe zu erhalten, dokumentiert und annotiert mit den entsprechenden Konfigurationsdaten. Da Modelle aus verschiedenen Simulationsumgebungen stammen, brauchen wir auch Co-Simulation.

In einer solchen *schönen neuen Welt* wäre es möglich, dass ein Mitarbeiter einer beliebigen Abteilung ein Gesamtsystemmodell zusammenstellt und simuliert um festzustellen, ob ihre Implementation kompatibel mit der der Kollegen aus der Nachbarabteilung ist. Oder, dass ein Chef die letzte Softwareversion mit dem vom Zulieferer zuletzt eingestellten Modell einer Komponente übers Wochenende durch einen automatisierten Test laufen lässt, um am Montag morgen per email über alle neuen Fehler einen Bericht zu bekommen.

#### Literaturangaben

- [1] *V-Model-XT: Grundlagen zum V-Modell*, online: <http://ftp.uni-kl.de/pub/v-modell-xt/Release-1.2/Dokumentation/pdf/V-Modell-XT-Teil1.pdf>
- [2] D. Jackson und G. Samulat, *Neue Wege zu sicherer Software*, online: <http://www.spektrum.de/artikel/860303>
- [3] *Virtual testing of mechatronic components*, in Automotive Products Finder, Spektrum der Wissenschaft, Januar 2007, auch online: <http://www.automotiveproductsfinder.com/Articles/AR2006/DEC/AR-04.asp>
- [4] *Zug um Zug zum perfekten Zusammenspiel*, in Autofachmann, online: [http://www.autofachmann.de/fachartikel/af\\_startseite\\_5231034.html](http://www.autofachmann.de/fachartikel/af_startseite_5231034.html)

## Simulationsstudien für eine energieoptimierte Turnhallen-Sanierung

Manfred Mevenkamp  
mmev@informatik.hs-bremen.de  
Institut für Informatik und Automation, Hochschule Bremen  
Flughafenallee 10, 28199 Bremen

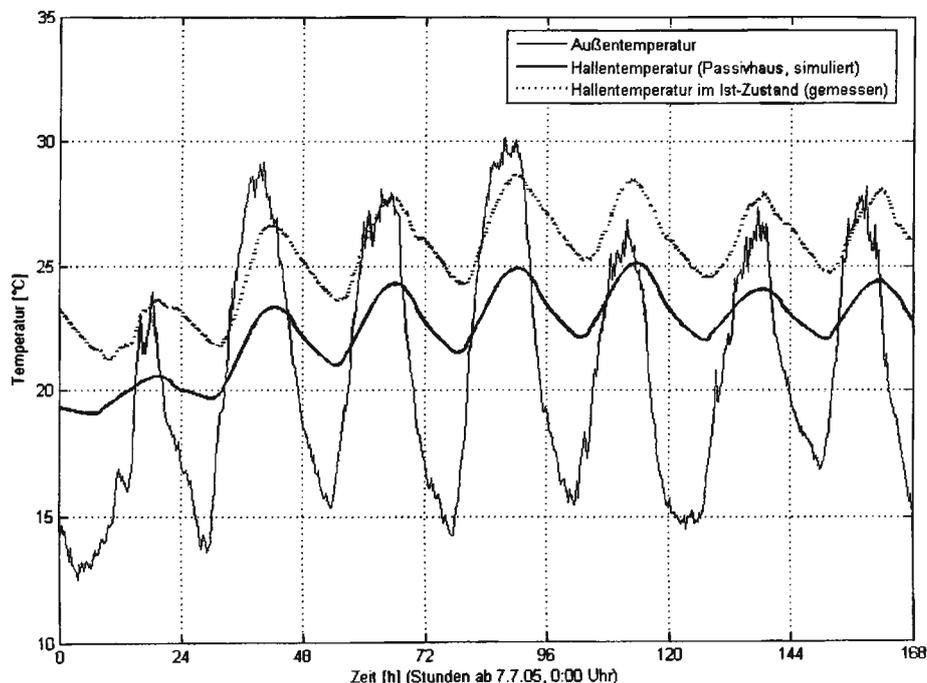
Der Beitrag zeigt am konkreten Beispiel die Rolle der energetischen Gebäudesimulation im Zuge der Planung einer Sporthallensanierung auf. Die Entwicklung eines auf diesen Gebäudetyp zugeschnittenen dynamischen Simulationsmodells und dessen Anwendung zur Evaluation unterschiedlicher Sanierungsvarianten wird dargestellt.

Bei den Sporthallen in Deutschland gibt es einen Sanierungsstau von großem Ausmaß. Die Folge des schlechten Bauzustands sind ausufernde Kosten beim Betrieb der Hallen sowie Umweltbelastungen durch Verschwendung von Wasser und Energie. Durch eine energetisch optimierte Sanierung lassen sich die Energieverbräuche, die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Betriebskosten drastisch reduzieren [1].

Im Projekt "MeTuSa-lem – Modellhafte energieoptimierte Turnhallen-Sanierung – langfristig einsparend modernisieren"<sup>2</sup>, wird von einem Projektkonsortium aus Industriefirmen, Planungsbüros und Hochschulen die bauliche und energetische Sanierung einer Sporthalle so geplant und umgesetzt, dass diese Planung als Modell für eine Vielzahl weiterer anstehender Sporthallensanierungen dienen kann. Der Modellcharakter entsteht dabei insbesondere durch die vollständige Ausarbeitung von mehreren Sanierungsvarianten, denen jeweils eine unterschiedliche Gewichtung von erforderlichen Investitionskosten und erreichbarer Energieeinsparung zugrunde liegt. Diese Varianten werden vergleichend bewertet.

Die energetische Gebäudesimulation wird dabei als ein wesentliches Werkzeug der Sanierungsplanung eingesetzt. Für eine aussagekräftige Evaluation der Sanierungsvarianten reichen die Energiebedarfsrechnungen nach den einschlägigen Normen (z. B. DIN V 18599) nicht aus. Entscheidende Kriterien können nur mit Hilfe dynamischer Simulationsmodelle geprüft werden, die das thermische Verhalten der Halle im Tages- oder Wochenverlauf abbilden. Hierzu gehören beispielsweise die Ermittlung der notwendigen Heizleistung, um die Halle in Frostperioden morgens frühzeitig auf die für den Sportbetrieb üblichen Temperaturen zu bringen oder die Frage, ob im "Sommerfall" die Halle überhitzt und unbespielbar wird (siehe Abbildung).

<sup>1</sup> Das Projekt wird u. a. gefördert durch DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt), Bremer Energie-Konsens GmbH und das Bundesinstitut für Sportwissenschaft



<sup>2</sup> Das Projekt wird u. a. gefördert durch DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt), Bremer Energie-Konsens GmbH und das Bundesinstitut für Sportwissenschaft

Auch Detailfragen nach besonderen Eigenschaften spezieller Baustoffe und deren Auswirkungen auf das thermische Verhalten der Halle (z. B. Einsatz von Zellulose-Dämmstoffen an Stelle von Polystyrol) lassen sich mit Hilfe der dynamischen Simulation analysieren.

Das eingesetzte Simulationsmodell wurde für dieses Projekt als 1-Zonen-Modell neu entwickelt und durch Vergleich mit den an der Halle aufgenommenen Temperatur- und Heizleistungsmessreihen validiert. Durch die energetische Simulation konnten die Unterschiede im thermischen Verhalten der Sanierungsvarianten detailliert aufgezeigt werden. Die Vorteile einer nach Passivhausstandard gedämmten Halle traten dabei deutlich zu Tage.

#### Literatur

- [1] *Spindler, E. A. (Hrsg.): Die energieeffiziente Sporthalle. Heidelberg, 2004.*
- [2] *Feist, W.: Thermische Gebäudesimulation - Kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze. Heidelberg, C.F. Müller Verlag, 1994.*
- [3] *Reim, T., Spinnler, M.: Einblicke in die thermische Gebäudesimulation, Architektur & Bau Forum, No. 2004/04, S. 9-11, 2004*
- [4] *Felgner, F., Merz, R., Agustina, S., Cladera Bohigas, R., Litz, L.: Simulation thermischer Gebäudedynamik in Modelica. In: Frontiers in Simulation – 16. Symposium Simulationstechnik (ASIM 2002), S. 579 – 584, Rostock, 2002.*

## Einsatz von Simulationstools im Bereich des HF-Schaltungsentwurfs

A. Bangert  
 HAWK – Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen  
 Fakultät Naturwissenschaften und Technik  
 Von-Ossietzky-Str. 99, D-37085 Göttingen  
 E-mail: bangert@hawk-hhg.de

Anhand zweier einfacher Beispiele wird gezeigt, wie sich die kostenfreie Version (*Student Version*) einer komplexen Entwurfsumgebung [1] für das Design von Mikrowellenschaltungen motivierend in die Ausbildung angehender Ingenieurinnen und Ingenieure integrieren lässt.

### Einleitung

Die Kenntnis des Verhaltens elektronischer Bauelemente bei höheren Frequenzen gewinnt immer größere Bedeutung. Die Einhaltung von EMV-Vorschriften, der zunehmende Einsatz drahtloser Kommunikations- und Steuerungssysteme sowie stetig steigende Taktraten bei digitalen Systemen wie PCs und Mikroprozessorsteuerungen erfordert die Sensibilisierung nachwachsender Ingenieurinnen und Ingenieure für die Eigenschaften von Bauelementen und Systemkomponenten bei hohen Frequenzen.

### Beispiel 1: Stehende Wellen auf Leitungen

Bei der Verarbeitung hoher Signalfrequenzen sind Wellenphänomene insbesondere dann zu berücksichtigen, wenn die Abmessungen von Bauelementen in der Größenordnung der Wellenlänge oder darüber liegen. Dabei gilt es zu beachten, dass, erstens, die Wellenlänge in anderen Medien als Vakuum oder Luft um den Faktor  $\sqrt{\epsilon_r}$  geringer ist und, zweitens, rechteckförmige Signale – abhängig von der Flankensteilheit – Harmonische bei ungradzahligen Vielfachen der Grundschwingung besitzen (siehe Feldtheorie und Fourier-Analyse).

Das Problem stehender Wellen auf Leitungen – dazu zählen u.U. auch Leiterbahnen zwischen Bauelementen sowie Leiterbahnen innerhalb integrierter Schaltungen – lässt sich auf einer anderen Abstraktionsebene lösen. Die mathematische Beschreibung des Problems erfolgt mit einer linearen Differentialgleichung 2. Ordnung:

$$\frac{\partial^2 U}{dz^2} = (R' + j\omega L') \cdot (G' + j\omega C') \cdot U = \gamma^2 \cdot U \quad (1)$$

Die mathematische Herleitung zur Lösung dieses Problems ist nicht sehr aufwändig [2], trotzdem stößt man in Studentenkreisen teils auf Verwunderung bzgl. des Sachverhalts der stehenden Wellen und ihrer Konsequenzen. Die Verwendung einer Messleitung, wie sie teils in Laborpraktika eingesetzt wird, kostet Raum, Zeit und Geld.

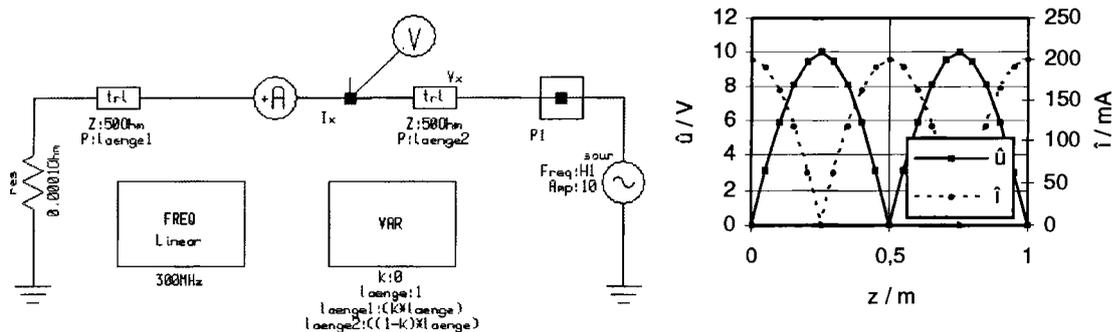


Abb. 1: Simulation stehender Wellen auf einer Leitung mit  $Z_0 = 50\Omega$  und  $Z_2 = 0\Omega$ .

Ein ähnliches Ergebnis bzgl. des pädagogischen Erfolges wie mit der Messleitung lässt sich durch den Einsatz einer Studentenversion einer professionellen Software erzielen. Die Studierenden können spielerisch ausprobieren, Parameter variieren und damit die Theorie in einer (virtuellen) Realität überprüfen. In Abb. 1 ist ein mögliches Ergebnis dieses Experiments dargestellt.

### Beispiel 2: Streifenleitungsfilter

Das Heranziehen von Anwendungen aus der Praxis bzw. dem täglichen Leben ist für Lernende äußerst motivierend. Ein weiteres Projekt, das im Rahmen der hochfrequenztechnischen Ausbildung verwendet wird, ist eine Filterstruktur, die in einem Low-Noise-Block (LNB) für Satellitenfernsehen integriert ist. Weitere interessante Projekte findet man in [3].

Die Studierenden sollen im Rahmen eines *reverse engineering* die Eigenschaften (S-Parameter) eines aus mehreren gekoppelten Einzelstrukturen bestehenden Streifenleitungsfilters [4] bestimmen. Dabei werden Angaben zum Substratmaterial (Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  und Substratdicke  $h$ ) vorgegeben, die anderen Parameter müssen von den Studierenden aus dem Layout abgenommen werden. Auch in diesem Beispiel sollen durch Variation der Parameter die Auswirkungen analysiert werden. Ein selbst zu entwerfendes Filter rundet das Projekt ab.

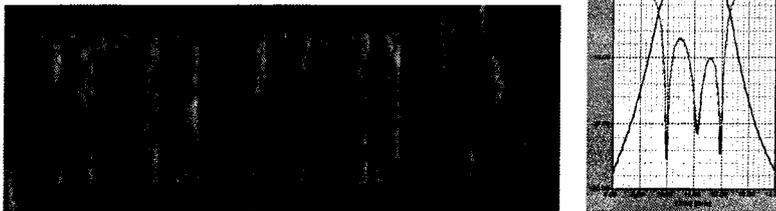


Abb. 2: Reale Streifenleitungsfilterstruktur (links) und simulierte S-Parameter in dB (rechts).

### Fazit

Unbestritten ist es auch für Hochschulen sinnvoll und erforderlich, Volllizenzen zum Betrieb komplexer Softwarepakete zu erwerben – die Anbieter räumen den Hochschulen im Allgemeinen gute Sonderkonditionen ein. Allerdings stellt die Option einer absolut kostenfreien Version für Studierende einen unschätzbaren Vorteil für alle Beteiligten dar: Die Software-Hersteller profitieren von der Erinnerung der Studierenden an die kostenlose, aber trotzdem hilfreiche Software, wenn diese bei ihren späteren Arbeitgebern bei der Softwarebeschaffung mitentscheiden dürfen, die Studierenden können in angenehmer Atmosphäre am heimischen PC oder Laptop umfangreiche Experimente durchführen und die Theorie in einer virtuellen Praxis überprüfen und die Hochschulen freuen sich über motivierte, selbstständige und sich aktiv in Vorlesungen und Seminare einbringende Studierende. – Leider fehlt vielen Anbietern der Mut zu Studentenversionen. Bei der hier eingesetzten Software musste leider auch eine Reduktion der Möglichkeiten im Laufe der Jahre entdeckt werden [5].

### Literatur

- [1] N.N.: „Ansoft Designer SV2.2“, <http://www.ansoft.de/ansoftdesignersv/>, 15.02.07.
- [2] Küpfmüller, K.: „Einführung in die theoretische Elektrotechnik“, Springer-Verlag, Berlin, 1984.
- [3] Kraus, G.: „Ansoft Designer SV2.0 – Tutorial“, <http://www.elektronikschule.de/~krausg/>, 15.02.07.
- [4] Jansen, W.: „Streifenleiter und Hohlleiter“, Hüthig-Verlag, Heidelberg, 1992.
- [5] N.N.: „Ansoft Serenade SV8.5“, 2000.

# Einsatz von Simulation und Testmodellen im herkömmlichen Entwicklungsprozess (Praxisbericht)

**IT Power Consultants**  
Gustav-Meyer-Allee 25  
13355 Berlin  
www.itpower.de

**Hans-Werner WIESBROCK**  
hans-werner.wiesbrock@itpower.de  
Tel.: 030 / 46 77 69 47

**Meike LIM**  
meike.lim@itpower.de  
Tel.: 030 / 46 77 69 46

Auch wenn modellbasierte Entwicklung und Codegenerierung vielerorts als State-Of-The-Art der Steuergeräteentwicklung angesehen werden, werden eingebettete Systeme vom Automobilzulieferer heute noch vielfach konventionell direkt in C erstellt. In diesem Praxisbeitrag wird gezeigt, dass auch in diesem Fall durch eine begleitende Funktionsmodellierung der herkömmliche Entwicklungsprozess optimiert und sinnvoll unterstützt sowie ein sanfter Übergang zur vollständigen modellbasierten Entwicklung vorbereitet werden kann.

Da dabei nur die reine Funktionalität modelliert werden muss, ist der Modellierungsaufwand gering. Skalierungen und Fixpunktarithmetik können dabei vernachlässigt werden.

Anhand von konkreten Anwendungsfällen aus der Praxis wird dargelegt, wie diese parallelen Entwicklungsaktivitäten in die Phasen der Anforderungsanalyse, Modultests und Systemtests eingeflochten werden und welche Optimierungen damit erzielt werden können.

## Anwendungsfälle

Im Verlauf des Entwicklungsprozesses wurden verschiedene Anwendungsfälle identifiziert, in denen eine parallele Modellierung mit Simulation sinnvoll ist und eingesetzt werden sollte.

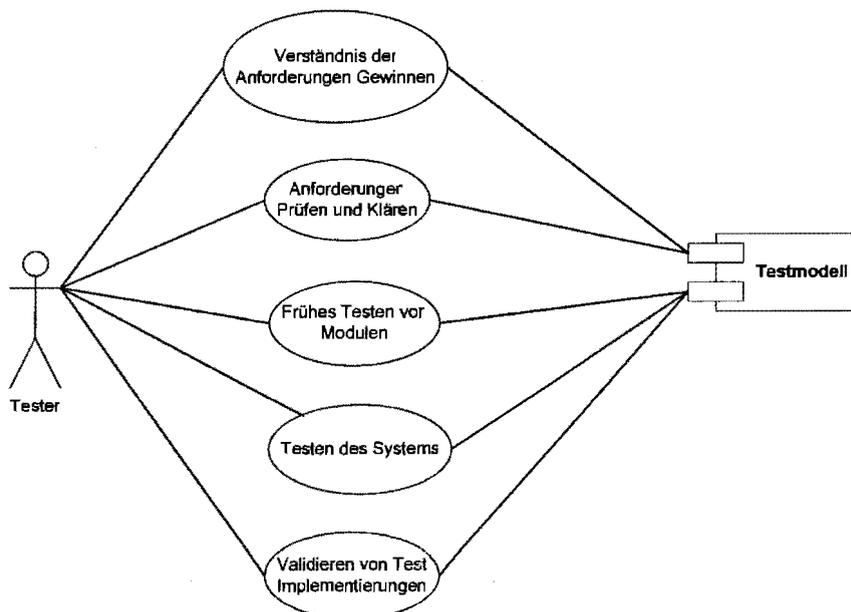


Abbildung 2: Anwendungsfälle für eine parallele Modellierung und Simulation

## **Verständnis der Anforderungen gewinnen**

In der Anforderungsanalyse tragen einfache Verhaltensmodelle zum besseren Verständnis des Entwicklers bei.

Ein gutes Grundverständnis des Entwicklers für die geforderte Funktionalität erhöht die Qualität der Software. Einfache Verhaltensmodelle unterstützen ihn hierbei, in ihrer Simulation mit verschiedenen Einstellungen kann er bereits frühzeitig die Wirkung unterschiedlicher Einflüsse erfahren.

## **Anforderungen prüfen und klären**

Die ersten Modellierungen zeigen häufig noch offene und/oder unklare Anforderungen auf. Anhand der Simulationen können diese Fragen präzisiert und so schnell mit den Auftraggebern geklärt werden.

## **Frühes Testen von Modulen**

Das Steuergerät kommuniziert vorwiegend über einen CAN-Bus mit seiner Umgebung. Die einzelnen erstellten Module werden meist vom Entwickler u.a. in CANoe der Firma Vector Informatik GmbH getestet. Über die Restbus-Simulation lässt sich die Applikation mit geeigneten Testvektoren bedaten und die erzeugten Ausgaben aufzeichnen. Diese Messdaten können anschließend mit den entsprechenden Simulationsdaten verglichen werden. So sind bereits frühzeitig Modultests durch Back-To-Back Tests möglich. Bei Abweichungen muss allerdings genau analysiert werden, worin diese begründet sind, ob Fehler im Modell, im C Code oder auch in der Simulation vorliegen.

## **Testen des Systems**

In einem effektiven Testprozess können ausgewählte Modultests auch in den Systemtests wieder verwendet werden. Zum Anderen erlaubt ein Ausbau des Modells auch weitere Back-To-Back-Tests auf Systemebene. Die Aufgabe besteht dann in einer geeigneten Transformation der Modelldaten in eine Testimplementierung auf dem HiL-Stand.

In diesem Projekt wurden durch geeignete Toolkopplungen Tests auf Modellebene als auch auf dem HiL-Stand im CTE XL definiert. Als Besonderheit ist hier noch zu bemerken, dass auch die zu erwarteten Ausgaben im CTE XL spezifiziert wurden und eine automatische Auswertung der Testläufe erfolgte.

## **Validieren von Test-Implementierungen**

Ein Engpass des Testprozesses ist häufig der HiL-Stand. Um nun frühzeitig bereits die größten Fehler in der Testspezifikation herauszufiltern, kann ein Testlauf auf dem Modell durchgeführt werden. Liegen aussagekräftige Modelle vor, so lässt sich auf diese Weise die Effizienz erheblich steigern. Insbesondere im Falle ausführbarer Lastenhefte ist dies äußerst nützlich.

## **Literatur**

[CFG+] M. Conrad, I. Fey, M. Grochtman, T. Klein: "Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Fahrzeugsoftware bei DaimlerChrysler" Informatik Forsch. Entw. (2005) 20: 3-10

[MB] S.J. Mellor, M. Balcer: „Executable UML, A Foundation For Model-Driven Architecture“ Addison-Wesley 2002

[P] A. Pretschner: „Zur Kosteneffektivität des modellbasierten Testens“ (Dagstuhl-Workshop MBEEES: Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme II“ (09.-13.01.2006)

## Modelling and Simulation of Hydronic Systems

*Dr.-Ing. Stefan Wischhusen, XRG Simulation GmbH, Hamburg*

A lot of thermodynamic applications are operating with liquid fluids as heat transfer medium. Those hydronic systems can be described either by compressible or by incompressible balance equations. The latter approach usually assumes that the specific volume remains constant which simplifies mass and energy balance equations for a defined volume. The simulation of incompressible flows appears to be easier at a first glance than it turns out later. Simulating open systems one can choose to provide pressure conditions at one end and mass flow rate on the other end. For systems with splits and joints quickly non-linear systems of equations are resulting when the pressure drop of each flow path determines the mass flow rate through each branch. The total equation system may be solved more or less efficiently or successfully. The more non-linear equations are part of the equation system the less efficient is simulation in general.

Closed systems with parallel flow paths cannot be modelled using the same balance equations or flow models without avoiding non-linear equations due to the requirement that the pressure drop for each path is equal. One could invent control algorithms in order to find a ratio of mass flow rates which satisfies this requirement. In this case the balance equations were enhanced by using the compressibility of a fluid in order to allow a pure physical reason for improving the numerical robustness of system simulation.

This talk will present concepts of modelling transient hydronic systems incorporating complex flow networks using Modelica for programming. Those concepts are used to model heating and cooling systems with the Modelica libraries **HKSim** [1, 2] and **Hydronix**© developed by XRG Simulation GmbH. The Hydronix library applies medium model specifications of the Modelica.Media library (part of Modelica Standard Library[3]) in order to create user-defined medium models. The library will also be extended by a broader range of special dissipation laws for heat transfer and pressure drop, going to be developed in the European research project EUROSYSLIB.

### References

- [1] Wischhusen, St.: "Dynamische Simulation zur wirtschaftlichen Bewertung komplexer Energiesysteme", Dissertation am AB Thermofluidynamik der TU Hamburg-Harburg, Cuvillier Verlag, Göttingen, 2005.
- [2] Lüdemann, B., Wischhusen, St., Schmitz, G., Engel, O.: „Optimierte Energiesysteme“, BWK, Springer-Verlag, Bd. 55, Nr. 9, pp. 50-55, 2003.
- [3] Modelica Association: „Modelica Standard Library 2.2.1“, Linköping, Sweden, 2006.

## **Betrachtung einadriger Leitungen elektrischer Fahrzeugbordnetze mit Hilfe von Simulation**

*Stefan Fischer, Manfred Klinkenberg*

Manfred Klinkenberg  
Yazaki Europe Ltd.  
Robert-Bosch-Str. 43  
D-50769 Köln  
Telefon: (0221) 59799-146  
Fax: (0221) 593151  
E-Mail: manfred.klinkenberg@yazaki-europe.com

Die Entwicklung, Test und Verifikation einadriger Kfz-Leitungsanteile elektrischer Fahrzeugbordnetze wird durch Simulation unterstützt.

Nach Möglichkeit wird dabei die Auslegung, Absicherung und Funktion eines elektrischen Stromkreises im Fahrzeug in Abhängigkeit seiner Last, Umgebungstemperatur und Lage im Fahrzeug unter Einbeziehen bestimmter Betriebszustände mit berücksichtigt.

Ziel ist es den Schutz und die Funktionalität des elektrischen Bordnetzes, sprich der Fahrzeugleitungen, nach allgemeinen und kundenspezifischen Anforderungen zu gewährleisten.

Unterstützend eingesetzt wird die Simulation

- während verschiedener Entwicklungsabschnitte neuer Fahrzeugprogramme,
- bei Design-Änderungen sich schon in Produktion befindlicher Fahrzeugprogramme,
- bei allgemeinen technischen Problemen und Fragestellungen.

Die ermittelten Ergebnisse sind dabei auch abhängig von

- der allgemeinen Ausgangssituation,
- der verwendeten Software,
- den verwendeten Modellen,
- den zugänglichen Informationen.

Die beiden Beispiele „Design-Überprüfung des Laststromkreises einer Servolenkung“ und „Betrachtung einer Startersicherung und -leitung“ geben einen etwas tieferen Einblick

Literatur:

- Autoelektrik/-elektronik, 4. Auflage, Robert Bosch GmbH (Hrsg.), 2002, Vieweg Verlag
- Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 1. Auflage, Braess/Seiffert (Hrsg.), 2000. Vieweg Verlag



Form des Energieerhaltungssatzes eingeführt. Im Verlauf der Herleitung wird gezeigt, dass sich mit bestimmten Annahmen eine gewöhnliche Differentialgleichung 1. Ordnung mit variablen Koeffizienten für die Bestimmung des Summenmomentes  $M_{\Sigma}$  ergibt.

$$\frac{Y' - M_{\Sigma} (1 + X')}{X} = M_{\Sigma}'$$

Hinter den Ausdrücken Y und X verbergen sich Funktionen des Kurbelwinkels, der gemessenen Kurbelwinkelgeschwindigkeit sowie der Kurbelwinkelbeschleunigung. Die Notation ( )' beschreibt innerhalb der Gleichung die erste Ableitung nach dem Kurbelwinkel. Es wird zunächst davon ausgegangen, dass sich diese Differentialgleichung entsprechend numerisch lösen lässt und die Charakteristik des Momentenverlaufes richtig wiedergibt. Eine entsprechende Validierung liegt zur Zeit noch nicht vor. Bei einer positiven Bestätigung der Modellgüte kann der modellierte Momentenverlauf als Grundlage für die Bestimmung der selektiven Zylinderdrücke herangezogen werden. Dabei müssen jedoch Effekte wie die Kurbelwellentorsion berücksichtigt werden.

### Literatur

- [EA02] L. Eriksson and Ingemar Andersson. An analytic model for cylinder pressure in a four stroke SI engine. SAE-Paper 2002-01-0371, Vehicular Systems, Linköping University and Mecel AB, 2002.
- [Feh91] H. Fehrenbach. Berechnung des Brennraumdruckverlaufes aus der Kurbelwellen-Winkelgeschwindigkeit von Verbrennungsmotoren. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991.
- [FH04] M. Fam and E. Hendricks. A load torque estimator. SAE-Paper 2004-01-1372, Oersted-DTU, Automation, Technical University of Denmark, 2004.
- [Hen95] M. Henn. On-Board Diagnose der Verbrennung von Ottomotoren. Dissertation, Universität-Fridericiana Karlsruhe, 7 1995.
- [ISK00] R. Isermann, A. Schwarte, and F. Kimmrich. Diagnosemethoden dieselmotor. Forschungsbericht 709, Technische Universität Darmstadt, 2000.
- [LRG+01] B. Lee, G. Rizzoni, Y. Guezennec, A. Soliman, and M. Cavalletti. Engine control using torque estimation. SAE-Paper 2001-01-0995, Center for Automotive Research and Intelligent Transportation, The Ohio State Univ. and University of Perugia, 2001.
- [ZA04] P. Zeng and D.N. Assanis. Cylinder pressure reconstruction and its application to heat transfer analysis. SAE-Paper 2004-01-0922, Automotive Research Center, University of Michigan, 2004.

## Ordnungsreduktionsverfahren bei der automatisierten Modellgenerierung für den Elektronik- und Mikrosystemtechnikentwurf

A. Köhler<sup>1)2)</sup>, S. Reitz<sup>2)</sup>, J. Bastian<sup>2)</sup>, P. Schneider<sup>2)</sup>, Ch. Clauß<sup>2)</sup>, P. Schwarz<sup>2)</sup>

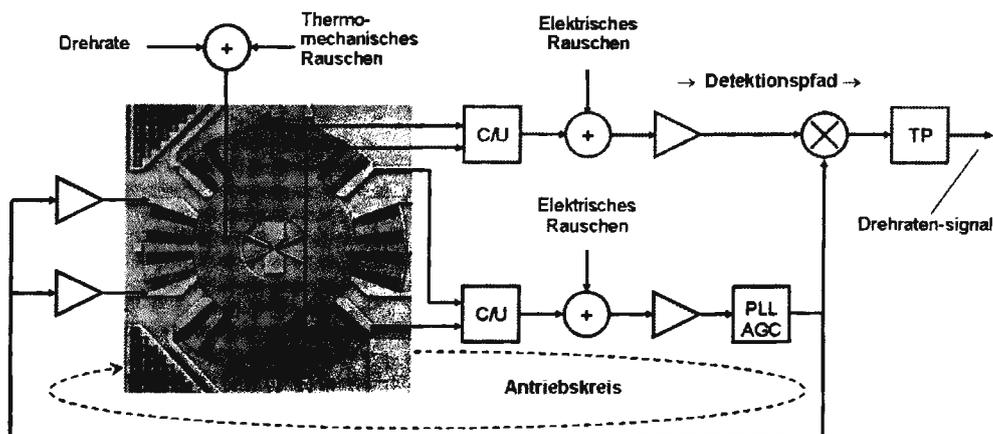
<sup>1)</sup>TU Bergakademie Freiberg,

<sup>2)</sup>Fraunhofer IIS/EAS Dresden

Zeunerstraße 38, 01069 Dresden

Email: {andreas.koehler|sven.reitz}@eas.iis.fraunhofer.de

Entwurfsprozesse in der Mikrosystemtechnik und Mechatronik sind dadurch charakterisiert, dass mehrere, oft sehr unterschiedliche Komponenten zur Realisierung einer Funktionalität zu einem Gesamtsystem integriert werden. Gerade für den Entwurf von elektronischen Komponenten und bei der Entwicklung von Signalverarbeitungsalgorithmen stellt die Gesamtsystems simulation, d.h. die simultane Analyse von elektrischen und nichtelektrischen Komponenten ein wichtiges Hilfsmittel dar. Bild 1 zeigt ein typisches Beispiel für die Einbeziehung mechanischer Komponenten in den Entwurf von Signalverarbeitungs-komponenten am Beispiel eines Drehratensensors.



*Bild 1: Drehratensensor mit Antriebs- und Auswerteschaltung*

Grundvoraussetzung für die Gesamtsystems simulation ist die Verfügbarkeit von adäquaten Modellen für alle Komponenten des Systems. Dies stellt gleichzeitig ein wesentliches Hindernis für den Einsatz von Simulationen beim Systementwurf dar. Eine wesentliche Problemstellung für eine wirksame Unterstützung des Entwurfsprozesses heterogener Systeme ist daher die Unterstützung der systematischen und wenigstens für bestimmte Systemklassen automatisierten Modellbildung.

Eine wichtige Methode ist dabei die Ordnungsreduktion. Üblicherweise werden bei der Entwicklung von Komponenten, z.B. in der Mechanik Finite-Elemente-Simulatoren für die genaue Berechnung des Verhaltens eingesetzt. Dies ist in der Regel mit langen Rechenzeiten verbunden. Die von diesen Simulationswerkzeugen verwendete interne mathematische Beschreibung der Komponente in Form von Systemmatrizen (z.B. in der Mechanik Massen-, Dämpfungs- und Steifigkeitsmatrizen bzw. in der Thermik Wärmekapazitäts- und Wärmeleitwertmatrizen) können auch für die Modellierung auf Systemebene herangezogen werden. Aus diesen Systemmatrizen mit teilweise sehr hoher Ordnung (>100.000) können mit Hilfe von Ordnungsreduktionsverfahren Systeme geringerer Ordnung (<100) abgeleitet werden, welche Grundlage für die anschließende automatische Erzeugung von Verhaltensmodellen in verschiedenen Modellbeschreibungssprachen sind.

Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten wurden verschiedene numerische Verfahren für lineare Systeme erster und zweiter Ordnung an Beispielen aus Mechanik, Thermik und Elektronik erprobt. Dazu wurden Verfahren aus der Literatur herangezogen, die auf Momentenanpassung (moment matching) mittels Krylov-Unterraumverfahren basieren: PRIMA, SOAR, SAPOR, WCAWE, ein modifiziertes ENOR-Verfahren, qAMR, strAMR und SPRIM. Ein Teil dieser Verfahren ist zur strukturhaltenden Modellreduktion von RCL-

Netzwerkgleichungen geeignet. Alle Verfahren wurden in Matlab implementiert. Dabei wurde viel Wert auf numerische Robustheit gelegt. So kommt u.a. selektive Reorthogonalisierung sowie inexakte Deflation zum Einsatz. Ferner ist es möglich, die Momente zu mehreren Entwicklungspunkten gleichzeitig anzupassen (rationale Block-Krylov-Verfahren).

Zu den betrachteten Anwendungsbeispielen gehören aus der Mechanik Inertialsensoren wie z.B. Beschleunigungs- und Drehratensensoren, aus der Thermodynamik das Temperaturverhalten eines Operationsverstärkers und aus der Elektrotechnik RLCG-Leitungsmodelle für parallele Leiterbahnen in integrierten Schaltkreisen.

Ziel dieses Vortrages ist die Veranschaulichung von Einsatzmöglichkeiten der Ordnungsreduktion in Entwurfsprozessen in Elektronik, Mikrosystemtechnik und Mechatronik. Neben einem Leistungsvergleich der verschiedenen Verfahren werden auch Grenzen der untersuchten Verfahren aufgezeigt. So sind Krylov-basierte Modellreduktionsverfahren in der Praxis sehr beliebt, weil sie im Gegensatz zu Verfahren, die auf Balancieren und Abschneiden beruhen, auch auf hochdimensionale Systeme angewendet werden können. Jedoch fehlt ihnen eine globale Fehlerschranke, weshalb eine gute Approximation des Übertragungsverhaltens nur in einem begrenzten Frequenzbereich zugesichert werden kann. In der Praxis kann sich dieser Umstand schon bei sehr einfachen Systemen wie RLCG-Leitungsmodellen bemerkbar machen.

#### Literatur

- [1] Bastian, J.; Haase, J.; Reitz, S.; Verhaltensbeschreibung von Systemen mit verteilten Parametern durch Ordnungsreduktion; 5. GI/ITG/GMM-WS "Rechnergestützter Entwurf von Schaltungen und Systemen", Tübingen, 25.-27. 02. 2002, S. 144-153
- [2] Freund, R. W.: Model Reduction Methods Based on Krylov Subspaces; Numerical Analysis Manuscript No. 03-4-01, Bell Laboratories, 2003
- [3] Köhler, A.: Modellreduktion von linearen Deskriptorsystemen erster und zweiter Ordnung mit Hilfe von Block-Krylov-Unterraumverfahren. Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg, 2006
- [4] Li, R.-C.; Bai, Z.: Structure-preserving model reduction using a Krylov subspace projection formaton. Communications in Mathematical Sciences, 3:179-199, 2005.
- [5] Reitz, S.; Döring, Ch.; Bastian, J.; Schneider, P.; Schwarz, P.; Neul, R.: System Level Modeling of the Relevant Physical Effects of Inertial Sensors using Order Reduction Methods; DTIP 2004, Montreux, Switzerland, May 12-14, 2004, S. 383-387
- [6] Schwarz, P.; Schneider, P.: Model Library and Tool Support for MEMS Simulation. SPIE's conference "Microelectronic and MEMS Technology", Edinburgh, Scotland. 30.5.-1.6.2001, SPIE Proceedings Series Volume 4407
- [7] Su, T.-J.; Craig, R. R. Jr.: Model reduction and control of flexible structures using Krylov vectors. Journal of Guidance Control and Dynamics, 14:260-267, 1991.

# Flexible Umgebungsmodellierung im Designprozess von Fahrerassistenzsystemen

Jörg Becker, Lutz Muche, Peter Schneider  
Fraunhofer Institut Integrierte Schaltungen, Institutsteil Entwurfsautomatisierung  
Zeunerstraße 38, 01069 Dresden  
Email: [joerg.becker@eas.iis.fraunhofer.de](mailto:joerg.becker@eas.iis.fraunhofer.de)

## Motivation

Modellierung und Simulation sind heute etablierte Entwurfsmethoden, die helfen, den Umfang komplizierter Messungen und Tests für das Produkt-Design in vielen Anwendungsgebieten zu verringern. Im Automotive-Bereich umfasst die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen Konzeptstudien zur Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle und zur Systemintegration. Dies betrifft den Entwurf von Sensoren, Aktuatoren und Elektronik, sowie von Signalverarbeitungsalgorithmen zur Fahrzeug-umfelderfassung. Alle genannten Aufgaben können durch eine flexible Modellierung der Fahrzeugumgebung, d.h. der Nachbildung von anderen Fahrzeugen, Verkehrszeichen, Bäumen, Gebäuden etc., wirksam unterstützt werden. Dadurch werden eine frühzeitige Bewertung von Systemkonzepten, sowie eine Einsparung von Testfahrten möglich.

## Herausforderungen für das Design eines Fahrerassistenzsystems

Wachsende Verkehrsdichte und komplexer werdende Fahrsituationen begründen die Notwendigkeit eines unter vielfältigen Bedingungen stabil und zuverlässig arbeitenden Fahrerassistenzsystems. Die Entwicklung solcher Systeme erfordert problemangepasste Modelle, leistungsfähige Simulationsmethoden und eine realitätsnahe Visualisierung der Ergebnisse. Weiterhin ist die Einbindung von realen Messdaten in die Simulation ein wichtiger Aspekt für deren praxisnahen Einsatz.

## Umgebungsmodellierung des Fahrerassistenzsystems

Ziel der hier beschriebenen Umgebungsmodellierung ist die Simulation eines kompletten Fahrerassistenzsystems zur Fahrzeugumfelderfassung einschließlich Sensor- und Signalverarbeitung. Ausgangspunkt für die Umgebungsmodellierung waren der Open-Source-Autorenn-Simulator RARS [1], sowie Arbeiten zur Modellierung von optoelektronischen Komponenten von LIDAR-Systemen [2], [3]. RARS ist ein Softwaresystem auf der Grundlage von C++ und Open-GL, in dem in ihrem Verhalten konfigurierbare Fahrzeuge (Modelle) gegeneinander in Rennen antreten. Dabei werden komplexe Fahrzeuginteraktionen berechnet und typische Fahrsituationen können in 2D und 3D visualisiert werden. Für die Verwendung von RARS für die Fahrzeugumfeldmodellierung mussten:

- das Verhalten der Fahrzeuge den Regeln der Straßenverkehrsordnung angepasst,
- Schnittstellen für die Sensorsimulation und die Integration von Messdaten implementiert und
- für die Sensorik wesentliche physikalische Effekte ergänzt werden.

Mit der nun verfügbaren Lösung können Fahrzeuge individuell parametrisiert werden und für ein Fahrzeug ist die Möglichkeit der separaten Steuerung über ein Lenkrad gegeben.

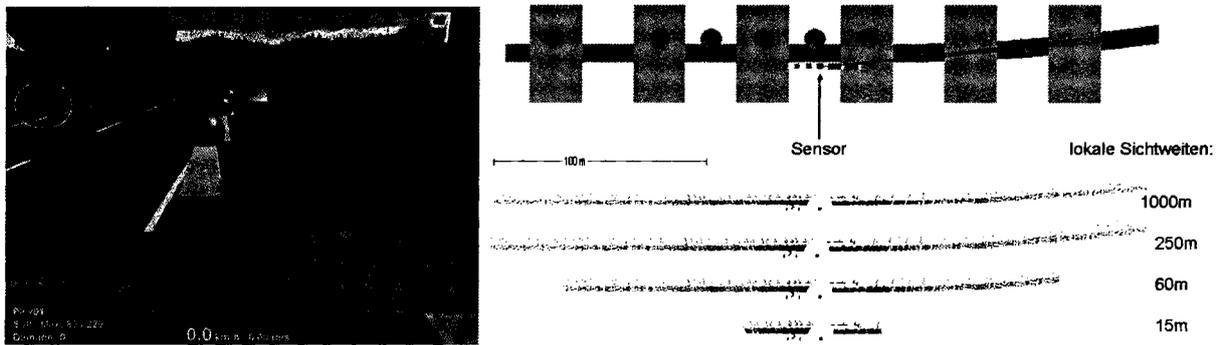


Abb. 1: links: 3D-Ansicht, Visualisierung des Umgebungsmodells des Fahrerassistenz-systems bei Programmstart rechts: 2D-Ansicht mit lokalen Sichtbehinderungen (Nebel, graue Rechtecke), darunter die vom am Straßenrand stehenden Sensor detektierten Punkte vorbeifahrender Fahrzeuge für unterschiedliche Sichtweiten

Aufzeichnen von Fahrscenen ist möglich und bei der Wiedergabe können jeweils unterschiedliche Sensoren verwendet werden. Das Programm verfügt über eine modulare Struktur, die die Generierung eigener Fahrzeuge und Sensorsysteme (LIDAR, RADAR, Ultraschall) ebenso wie die Anpassungen der Umgebung (Objekte in Straßennähe, Sichtweiten, lokale Sichtbehinderungen, Einfluss der Sonne) ermöglicht. Schwerpunkt bisheriger Untersuchungen ist ein mehrstrahliges LIDAR-System. Die Output-Daten der Simulation werden für den Entwurf von Algorithmen für die Signalverarbeitung und Objekterkennung genutzt.

### Zusammenfassung/Ausblick

Die vorliegende Lösung ermöglicht eine flexible Modellierung von Fahrzeug-interaktionen sowie weiterer Umgebungsbedingungen und ist für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen einsetzbar. Sie stellt Schnittstellen für die Integration von Sensoren bereit und ermöglicht Konzeptstudien für verschiedene Sensor-konfigurationen und Signalverarbeitungs-algorithmen. Sie visualisiert Fahr-situationen sowie Sensor-operationen und bietet eine effektive Unterstützung des Design-Prozesses. Ein weiteres Anwendungsgebiet, in dem sich der beschriebene Ansatz einsetzen lässt, ist die Ausbreitung von Funk-signalen in der Car-to-Car-Kommunikation.

### Referenzen

- [1] RARS – Robot Auto Racing Simulator, <http://rars.sourceforge.net>
- [2] Jünemann, Reimann, Becker, Haase, Schwarz: "Besonderheiten bei der Simulation von Systemen zur optischen Entfernungs- und Sichtweitemessung", Vortrag zur 6. Chemnitzer Fachtagung MST, 2003
- [3] Jünemann, Reimann, Becker, Haase, Schwarz, Schubert: "Neuer MINILIDAR für optische Distanzmessung", Vortrag zur 10. GMM-Tagung, Cottbus, 2004

## Echtzeitmodelle für den Test automotiver Steuergeräte

Dr. Hagen Haupt, dSPACE GmbH

Der Anteil der Elektronik in der Automobilentwicklung steigt stetig. Gleichzeitig erhöht sich auch die Komplexität elektronisch realisierter Funktionen. Aus diesem Grund wird es immer wichtiger, diese neuen Komponenten und ihre Funktionalitäten im gesamten Entwicklungsprozess zu testen. Die Hardware-in-the-Loop-Simulation (HIL-Simulation) hat sich dafür als ein geeignetes Hilfsmittel erwiesen.

Die Anforderungen der im Rahmen der HIL-Simulation eingesetzten Streckenmodelle ergeben sich aus ihrem Einsatzzweck. HIL-Simulationsmodelle dienen nicht dazu, einen physikalischen Zusammenhang möglichst genau nachzubilden, sie müssen vielmehr in der Lage sein, die von einem elektronischen Steuergerät initiierten Aktorikeinstellungen zu verarbeiten und daraus für die Sensorik plausible Signale zu generieren. Ein weiteres Hauptziel ist die Befriedigung der Steuergeräte-Diagnosefunktionen. Erst wenn sichergestellt ist, dass ein Steuergerät fehlerfrei am Simulator läuft, können gezielt wieder Fehler eingespeist werden, um das Steuergeräteverhalten zu verifizieren und die Diagnosesoftware zu testen.

Die speziellen Anforderungen an HIL-Streckenmodelle stehen im Mittelpunkt dieses Vortrags. Am Beispiel der dSPACE Produktfamilie Automotive Simulation Models (ASM) werden diese diskutiert und Lösungen aufgezeigt.

Die Modelle können generell in fünf Hauptkomponenten unterteilt werden (Bild). Für die Fahrdynamiksimulation werden insbesondere die Bereiche Antriebsstrang, Fahrdynamik und das Umgebungsmodell angesprochen.

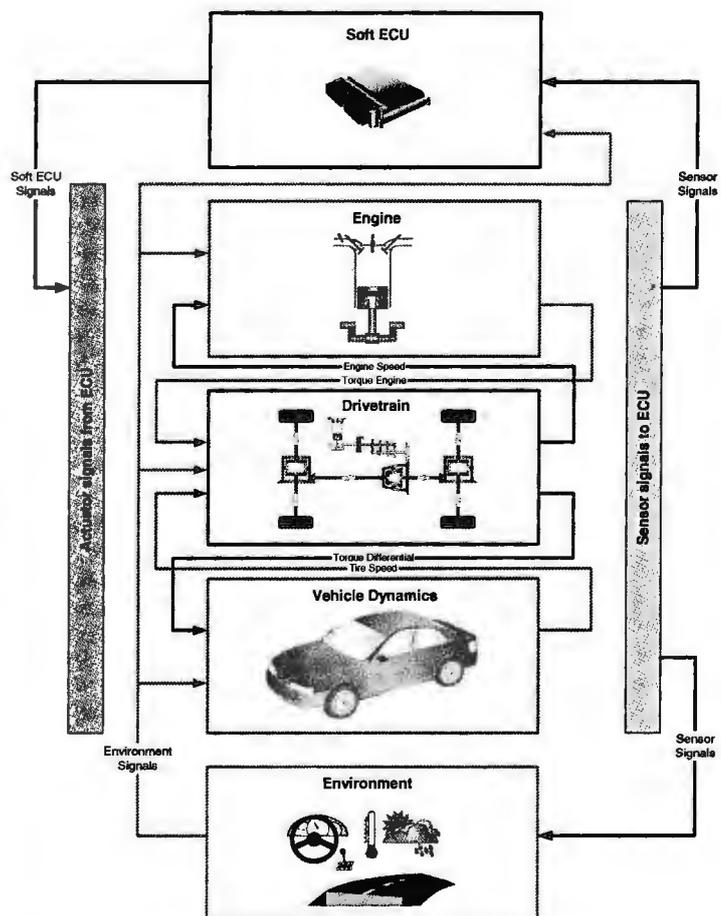
Am Beispiel eines Dieselmotors wird der derzeit übliche Mittelwertansatz erläutert. Außerdem geht der Vortrag auf neue Entwicklungen im Bereich der Echtzeit-Verbrennungssimulation ein. Künftige Steuergerätegenerationen verfügen über Regelfunktionen, die auf dem Zylinderinnendruck aufbauen. Die Simulation der dafür verwendeten Sensorsignale und die notwendige Erweiterung der Mittelwertmodelle wird erläutert.

### Literatur:

Herbert Schütte, Peter Wältermann: Hardware-in-the-Loop Testing of Vehicle Dynamics Controllers – A Technical Survey. SAE-paper 2005-01-1660

Herbert Schütte, Markus Plöger: Hardware-in-the-Loop-Testing of Engine Control Units – A Technical Survey. SAE-paper 2007-01-0500, to be published

Tino Schulze, Markus Wiedemeier, Herbert Schütte: Crank Angle - Based Diesel Engine Modeling for Hardware-in-the-Loop Applications with In-Cylinder Pressure Sensors. SAE-paper 2007-01-1303, to be published



## VHDL-AMS Sicherungsmodell - Erweiterungen und Anwendungsfälle für eine ISO-Norm gerechte Sicherungsauslegung

*Dipl.-Ing. Thomas Reinders*

*Delphi Deutschland GmbH  
Customer Technology Center Wuppertal  
Delphiplatz 1  
D-42119 Wuppertal  
[thomas.reinders@delphi.com](mailto:thomas.reinders@delphi.com)*

Die stetig steigende Anzahl von Sicherheits-, Komfort- und Kommunikationsfunktionen im Kfz führt zu immer komplexeren Leistungs- und Signalverteilungssystemen. Trotz des Trends zum Einsatz von intelligenten Halbleiterschaltern mit integrierter Sicherungsfunktion spielen bei der Auslegung der Fahrzeugelektrik heute und auch zukünftig konventionelle Schmelzsicherungen für den Schutz des Leitungssatzes eine unverzichtbare Rolle. Die Unterbrechung eines Überstroms im Fehlerfall durch das Schmelzen eines Sicherungselements hat sich hierbei als zuverlässige und kostengünstige Lösung bewährt.

Ungeachtet des grundsätzlich einfachen physikalischen Prinzips ist eine Beschreibung des Sicherungsverhaltens für den gesamten Anwendungsbereich in Form eines Simulationsmodells eine anspruchsvolle Aufgabe. Für die Bordnetz-Simulation sind daher in der Vergangenheit sowohl von Automobilherstellern und -zulieferern als auch von Anbietern von Simulationswerkzeugen diverse Modelle mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad erstellt worden. Im Rahmen des Aufbaus einer allgemeinen Modellbibliothek für die Simulation von Kfz-Systemen wurde im VDA/FAT-Arbeitskreis 30 ebenfalls ein Sicherungsmodell in VHDL-AMS entwickelt [1]. Grundlage hierfür waren wie allgemein üblich Datenblätter und Angaben eines Komponenten-Herstellers.

Im vorliegenden Beitrag soll zum einen der Leistungsumfang und die Funktionsweise des bestehenden VHDL-AMS-Sicherungsmodells vorgestellt werden. Zum anderen wird eine Erweiterung des Modells vorgeschlagen, um nicht nur das Verhalten des Sicherungstyps eines bestimmten Herstellers möglichst genau abzubilden zu können, sondern auch um die Einhaltung der in Sicherungsnormen [2] definierten Grenzen und sonstigen Spezifikationen garantieren zu können. Die Herausforderung in der Erstellung eines solchen erweiterten Modells liegt u.a. in dem eingeschränkten Informationsumfang dieser Normen. Zur Entwicklung eines dennoch aussagekräftigen Simulationsmodells wird in dieser Arbeit daher eine spezielle Methodik zur Überprüfung der Sicherungsauslegung anhand verschiedener kritischer Anwendungsfälle aufgezeigt.

### Literatur

- [1] Dr. Joachim Haase, Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen/Außenstelle Entwurfsautomatisierung (EAS), Erstellung einer VHDL-AMS-Modellbibliothek für die Simulation von Kfz-Systemen – Abschlussbericht, 2006
- [2] International Standard ISO 8820, Road vehicles – Fuse-links, 2002

# Ein effizientes Kompaktmodell zur Simulation und Analyse von Crosstalk-Fehlern

Walter Anheier und Ajoy K. Palit

UNIVERSITÄT BREMEN  
Institut für Theoretische Elektrotechnik und Mikroelektronik (ITEM)  
Otto-Hahn Allee NW 1  
D-28359 Bremen – Germany

Beim Entwurf sehr schneller digitaler Systeme kann die Verzögerungszeit auf Grund der Verbindungsleitungen und insbesondere aufgrund von gekoppelten Leitungen auf dem Chip einen signifikanten, ja sogar einen dominanten Einfluß auf das Systemverhalten gewinnen. Es wurde bereits vor längerem, unter anderem in [1] bewiesen, daß auch in der CMOS-Technologie unter ungünstigen Bedingungen Leitungen durch parasitäre Kapazitäten einen solchen Grad von gegenseitiger Beeinflussung erreichen können, daß selbst digitale Signale durch Störung der logischen Pegel verfälscht werden können. Das seit langem bekannte Phänomen Übersprechen (*crosstalk*) kann also als ein Defekt angesehen werden, der Verletzungen des Zeitverhaltens und damit logische Fehler bei synchronen Schaltungen erzeugt. Deswegen gewinnt beim Entwurf und der Analyse von heutigen sehr schnellen Integrierten Schaltungen die korrekte Berechnung des Zeitverhaltens gekoppelter Verbindungsleitungen immer mehr an Bedeutung. Bei der Analyse der sogenannten Signalintegrität (*signal integrity*) ist die sehr genaue Abschätzung der einzelnen Anteile der Verzögerungszeitinformation, wie die eigentliche Laufzeit des Signals auf der Leitung, die Störung durch Übersprechen als Verzögerung oder Beschleunigung, aber auch eine Verformung des Signalverlaufs durch Über- oder Unterschwingen und positive oder negative Signaleinbrüche (*glitches*), notwendig. Deswegen wurde im Rahmen dieser Arbeit ein sehr genaues und effizientes Computermodell für die Simulation von zwei oder mehreren gekoppelten Leitungen entwickelt. Zu diesem Zweck werden verteilte ABCD Modelle mit RLGC Leitungsparametern sowohl für die Aggressor genannte erste Leitung wie auch die Opfer genannte zweite Leitung benutzt, um die jeweiligen Ausgangssignale nach Anlegen eines Eingangsimpulses zunächst im Laplace-Bereich zu entwickeln. Zur Berücksichtigung der Kopplung werden die verteilten parasitären Kapazitäten und Brückenleitwerte zwischen den beiden Leitungen in das Modell einbezogen. Treiber und Last von Aggressor und Opfer werden durch lineare RC-Modelle dargestellt. Schließlich werden die Ausgangssignale sowohl der Aggressor- als auch der Opferleitung aus dem Laplace-Bereich in den Zeitbereich transformiert. Diese Umformung geschieht mit Hilfe der inversen Laplace-Transformation von Partialbrüchen, die bei beiden Ausgangssignalen dadurch entstehen, daß die Ausgangsgleichungen beider Näherungen von vier  $T_j(s)$  Zählern nur bis zur vierten Ordnung betrachte werden. Dabei trägt jedes dieser  $T_j(s)$  tatsächlich zu vier System-Nullstellen für  $j = 1, 2, 3, 4$  bei. Dies führt schließlich zu acht System-Polstellen, die durch die charakteristische Gleichung  $(T_1(s) \cdot T_3(s) - T_2(s) \cdot T_4(s)) = 0$  des Systems erzeugt werden. Wie schon in [2], [3] gezeigt wurde, führt die Näherung der Systemgleichungen bis zur vierten Ordnung, d.h. Berücksichtigung nur der ersten vier System-Polstellen, zu sehr genauen Ergebnissen im Zeitbereich. Dieses Aggressor-Opfer Modell dient als Grundlage für einen Schaltkreissimulator für gekoppelte Leitungen, XSIM, der eine signifikant bessere Abschätzung des Delay-Verhaltens und des Auftretens und der Auswirkung von Phänomenen wie *glitch* und *overshoot* gegenüber bisherigen Modellen der Schaltkreissimulation erlaubt. Das gleiche Modell läßt sich auch auf die Berechnung der reinen Leitungsverzögerung anwenden, wenn sowohl die Koppelkapazität als auch der Brückenleitwert zu Null gesetzt werden. Andererseits lassen sich durch Variation dieser Parameter kritische Werte für Übersprechen und die gegenseitige Beeinflussung logischer Pegel eingrenzen. Damit können neben den reinen Verzögerungsfehlern auch Brückenfehler simuliert werden. Das Modell ist hocheffizient. Es berechnet den transienten Spannungsverlauf der beiden gekoppelten Leitungen mehr als 10 mal schneller als PSPICE, ohne daß Einschränkungen der Genauigkeit erkennbar werden. Es ist flexibel und kompakt. Alle möglichen Kombinationen der Eingangssignale der beiden Treiber für die Aggressor und die Opferleitung einschließlich beliebiger zeitlicher Verschiebung (*skew*) können berücksichtigt werden, und es kann als integraler Bestandteil z.B. eines Programms zur Testmustererzeugung eingesetzt werden. Im Vortrag werden Simulationsbeispiele, basierend auf der 130nm Technologie von Philips (NXP), im Mittelpunkt stehen, die die Anwendbarkeit des Modells bei Entwurf und Test von integrierten Schaltungen im Nanometerbereich belegen.

## Literatur

- [1] R. Anglada and A. Rubio, "An approach to crosstalk effect analysis and avoidance techniques in digital CMOS VLSI circuits," Intern. J. of Electr., 65(1), pp. 9-17, 1988.
- [2] L. T. Pillage and R. A. Rohrer, "Asymptotic Waveform Evaluation for Timing Analysis," IEEE Tr. on CAD of Integrated Circuits and Systems, 9(4), pp. 352-366, April 1990.
- [3] K. Banerjee and A. Mehrotra, "Analysis of on-chip Inductance effects for distributed RLC interconnects," IEEE Tr. on CAD of Integrated Circuits and Systems, 21(8), pp. 904-915, August 2002.

## Modellierung von MEMS mit Computeralgebra

*Stefan Braun*  
*SmartCAE*

Die Modellierung von MEMS wird sehr häufig mit Hilfe von Finiten Elementen durchgeführt. Dies zeichnet sich zwar durch einen hohen Detaillierungsgrad aus, allerdings verbunden oft mit hohen Rechenzeiten. Anhand eines Drucksensors wird eine mögliche Vorgehensweise bei der Simulation mit Hilfe von Computer-Algebra gezeigt. Durch einen symbolisch-numerischen Ansatz lassen sich so gekoppelte Systeme sehr effizient berechnen.

## Dynamische Modellierung einer Bleibatterie

*Stefan Braun*  
*SmartCAE*

Die VHDL-AMS Bibliothek besteht aus verschiedenen Komponenten. Darunter befindet sich auch ein dynamisches Modell für eine Bleibatterie. In diesem Vortrag wird das Modell mit seinen Möglichkeiten und Grenzen vorgestellt.

*Ziel: Energiemanagement*

## Automatische Generierung dynamischer Modelle auf der Basis von Messdaten mit Hilfe von eICP

Helmuth Stahl  
ExpertControl GmbH  
Email: hstahl@expertcontrol.com

Die Entwicklung von Komponenten und Systemen in Industrien wie Automotive, Luft- und Raumfahrt, Verfahrenstechnik und Antriebstechnik erfordert zunehmend die Anwendung modellbasierter Entwicklungsmethoden. Um die Produktqualität steigern zu können, müssen diese Modelle sowohl die statischen als auch die dynamischen Eigenschaften des zu modellierenden Systems beinhalten. Diese Modelle haben den Vorteil, dass sie gleichermaßen für Simulationsuntersuchungen und Regelungsdesign verwendbar sind. Beschreitet man bei der Modellentwicklung ausschließlich traditionelle Wege mit physikalisch basierten Modellen, dann erfordert dies i.d.R. umfangreiche Kenntnisse der zugrunde liegenden Theorien und ist sehr zeitaufwändig. Der Vorteil physikalisch basierter Modelle liegt in der Tatsache, dass die Zusammenhänge und Wechselwirkungen klar und strukturiert vorliegen und daraus physikalisch untermauerte Schlussfolgerungen ableitbar sind. Andererseits sind messdatenbasierte Modelle vorteilhaft, da sie schnell erzeugbar sind und Messungen von vornherein einbezogen werden, die von der realen Komponente bzw vom realen System stammen. Fallabhängig kann es daher auch sinnvoll sein, beide Vorgehensweisen zu kombinieren. Messdatenbasierte dynamische Modelle lassen sich mit geeigneter Software wie eICP schnell generieren. Um eine hohe Qualität zu erzielen, sind u.a. folgende Punkte zu beachten:

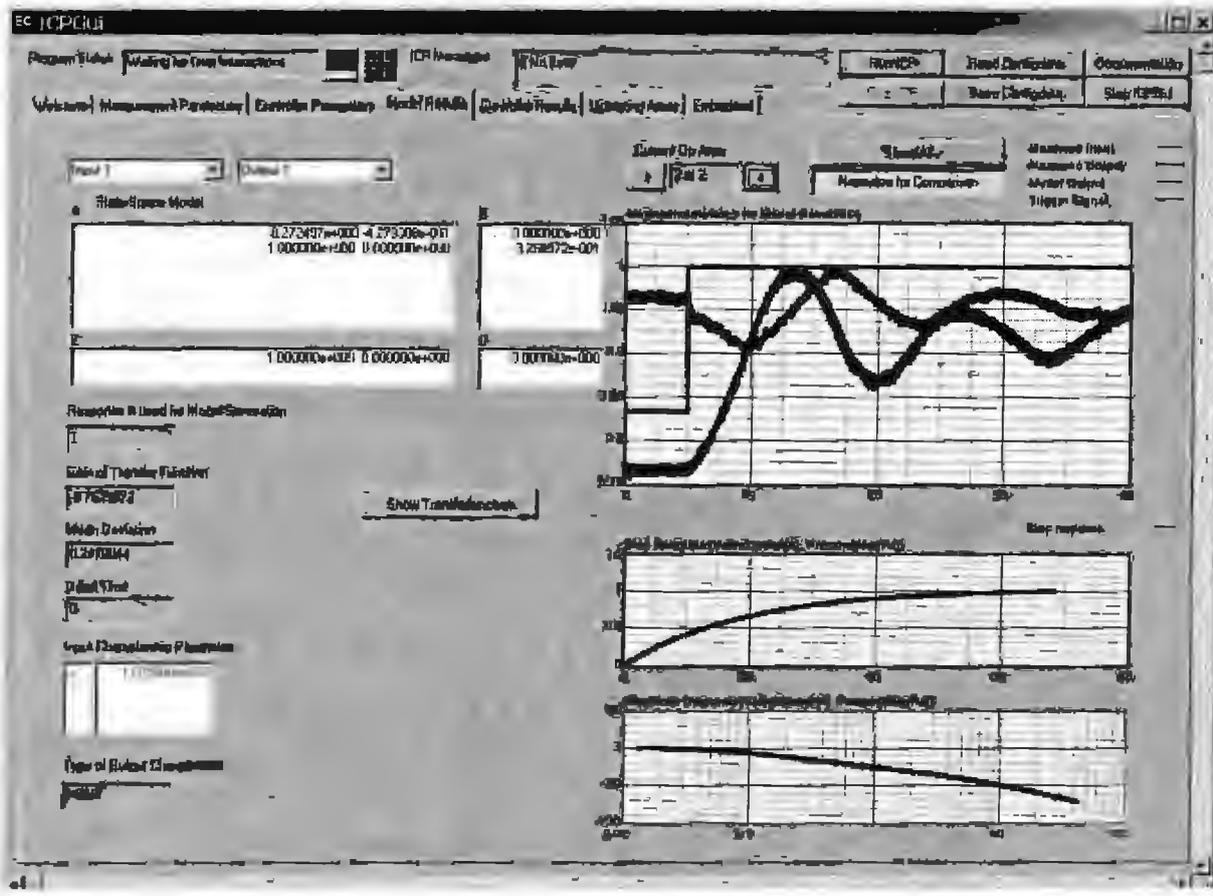
- Durchführung von Messungen mit möglichst hoher Auflösung
- Messrauschen
- Ausreichend schnelles Abtasten zur Erfassung der relevanten Systemdynamik
- Abdeckung des Arbeitsbereiches
- Problemstellungsgerechte Stimulation der Komponenten oder des Systems
- Nichtlineare Effekte: dynamisch / statisch
- Sensor- und Aktuator-Nichtlinearitäten.

Während der Vortrag auf diese Themen detaillierter eingeht, wird hier aus Platzgründen nur die problemgerechte Systemstimulation weiter betrachtet.

Bei SISO-Systemen erfolgt die Systemstimulation oft (und sofern systembedingt zulässig) durch Aufschaltung von Sprüngen am Systemeingang und Verarbeitung von Sprungantworten. Bei Systemen mit mehreren Ein- und Ausgängen (MIMO) ist dieses Vorgehen meist nicht ausreichend, da insbesondere auch eine Anregung der Querkopplungen stattfinden muss. Welche Anregungen hierbei in Frage kommen können, ist systembedingt unterschiedlich. Einige Möglichkeiten werden im Rahmen des Beitrags anhand von Beispielen und unter Verwendung des Softwarewerkzeugs eICP vorgestellt.

eICP benötigt für den automatischen Modellbildungsprozess Messdaten. Man kann dabei zwischen realen und virtuellen Messdaten unterscheiden. Reale Messdaten sind offensichtlich diejenigen, die aus einem realen System mit entsprechender Messtechnik gewonnen werden. Virtuelle Messdaten sind dagegen solche, die z.B. aus Simulationsumgebungen in Form von Simulationsergebnissen entstehen. Diese Daten lassen sich verwenden, um daraus vereinfachte Modelle zu bestimmen, die aus Gründen der Rechenzeiteinsparung bei Echtzeitapplikationen (einschließlich HiL) zur Anwendung kommen können. Außerdem eignen sich diese vereinfachten Modelle als Grundlage zum modellbasierten Regelungsentwurf.

Das nachfolgende Bild zeigt beispielhaft ein aus Messdaten generiertes Modell für die Druckdynamik des Kraftstoff-Luftgemisches am Einspritzventil. Zur Systemstimulation (roter Kurvenverlauf) war es hier nicht möglich, eine sprungförmige Anregung aufzuschalten. Die Druckdynamik am Ventil musste vielmehr im laufenden, geregelten Betrieb vermessen werden. Auf der linken Seite des Bildes sind die Kenndaten des automatisch ermittelten Modells angegeben.



Literatur:  
 [1] User's Manual: ecICP, ExpertControl, [www.expertcontrol.com](http://www.expertcontrol.com)

# Modellbildung für die integrierte Firmware-Entwicklung für ein Beatmungsgerät

Florian Dietz,  
Weinmann Geräte für Medizin GmbH+Co. KG, Hamburg

Der Beitrag stellt Verfahren und Methoden zur integrierten modellbasierten Entwicklung im Sinne des V-Modells am Beispiel einer Mikrocontroller-Firmware für ein Beatmungsgerät dar. Ziel ist eine durchgängige Nutzung von Modellen im gesamten Software-Entwicklungsprozess für lebenserhaltende Medizingeräte. Die Integration der verwendeten Tools in den Entwicklungsprozess ist wichtig um durchgängige Prozesse zu erhalten. Da die Entwicklung auch eine Code-Generierung umfasst, besteht ein wichtiger Teil des Vorgehens darin, die Sicherheit des generierten Codes entsprechend der Norm DIN EN ISO 60601-1-4 (Entwicklung und der Lebenszyklus von Software für programmierbare elektrische medizinische Systeme (PEMS), [EN60601-1-4:2001]) über den gesamten Lebenszyklus zu gewährleisten.

Eine besondere Rolle spielt dabei das so genannte V-Modell. Bezüglich der Software-Erstellung beschreibt das V-Modell zunächst den Weg der Dekomposition vom Anforderungsprofil bis zur Modulimplementierung und dann den Weg der Aggregation/Integration vom Modultest bis zur Anwendungsvalidierung.

## Herausforderungen

Im Rahmen des Systementwurfs wurde beschlossen, dass die vollständige Firmware über eine Code-Generierung aus einem simulierbaren Modell entstehen soll. Im Gegensatz zu vielen anderen Projekten aus der Industrie wird damit nicht nur beispielsweise ein dedizierter Regel-Algorithmus, sondern auch die gesamte Laufzeitumgebung realisiert.

Die abzusehende große Komplexität der zu erstellenden Software machte zusätzliche Methoden zur Qualitätssicherung notwendig. Das dynamische Testen der Software, d.h. während der Laufzeit, sollen dabei Untersuchungen zur Funktion, Fehlerfreiheit und Robustheit erlauben. Nichtfunktionale Tests wie z.B. Laufzeitverhalten, Prozessorauslastung (Profiling), und Code-Abdeckung (Coverage) lassen sich dabei nur am ausgeführten Zielsystem zuverlässig beurteilen. Insbesondere die Automatisierbarkeit und Reproduzierbarkeit von Testläufen soll erneute vollständige Tests nach jeder neuen Software-Revision ermöglichen (durchgängige Verifikation). Im Sinne des V-Modells werden parallel zum linken Schenkel bereits diejenigen Testkriterien und -verfahren festgelegt, die im rechten Schenkel des V-Modells während der Verifikation angewendet werden.

Eine durchgängige Dokumentation während der Entwicklung soll den Prozess weiter unterstützen. Schließlich ist die vollständige Realisierung der Software auf Basis der Festkomma-Arithmetik zu unterstützen.

## Umsetzung

Nach der Modellierung der Steuerung/Regelung und der Umwelt unter Simulink erfolgt die Codegenerierung der Steuerung mittels des Embedded Coders der Fa. MathWorks (inkl. Laufzeitumgebung) bzw. die Erstellung einer Echtzeit-Umgebungssimulation mittels Real Time Workshop auf eine dSPACE-Plattform. In der laufenden Entwicklung werden zur Verifikation die folgenden Verfahren eingesetzt, um die Funktionalität der Software abzu prüfen:

Model-open-Loop (MoL): Erste Implementierung der Steuerung im Modell als ausführbare Spezifikation. Die Simulation des Modells wird durch Messvektoren stimuliert. Es können funktionale und nichtfunktionale Fehler wie z.B. Überläufe von Festkommagrößen aufgedeckt werden.

Model-in-the-Loop (MiL): Modell im Zusammenspiel mit einer Umweltsimulation als Basis für die weiteren Verifikationsschritte (Vergleich von Ergebnissen mit Back-to-Back-Tests, Fehlerinduktion etc.). Für die Umwelt kommen je nach Anforderung physikalische Modelle unterschiedlicher Komplexität in Frage. Erste Rückkopplungen zu den Anforderungen sind möglich. Unterschiedliche Implementierungen der Steuerungs-Modelle: Fließ-/Festkomma-Arithmetik, evtl. verschiedene Datentypen zur Berücksichtigung unterschiedlicher Prozessortypen. Zusätzlich werden bei der Fa. Weinmann noch weitere Aspekte wie Coverage, Profiling, Einhaltung von Modellierungsrichtlinien und Regelgütekriterien getestet. Dazu wird ein eigenes Tool zum automatisierten Test der genannten Kriterien eingesetzt.

Software-in-the-Loop (SiL): Kompilierte Software (z.B. nach automatischer Codegenerierung), die mit dem Umwelt-Modell auf dem Host-PC gekoppelt wird, um Abweichungen etwa durch Fehler in der Codegenerierung oder durch abweichende Datentyp-Definitionen zu entdecken. Durch die Verwendung anderer Compiler im Vergleich zum Mikrocontroller für SiL ist die Aussagefähigkeit dieser Tests jedoch nur eingeschränkt.

Rapid Prototyping (RP): Ausführung des Steuerungsmodells auf einer fließkommafähigen echtzeitfähigen Plattform. Über vielfältige Anschlüsse erfolgt die Anbindung der Umwelt (z.B. Elektronik, Mechanik). Somit können Funktionsmuster schnell in Betrieb genommen werden, ohne langwierige Anpassungen an bestimmte Prozessorarchitekturen, Festkommaarithmetiken oder Schnittstellen durchführen zu müssen. RP ist sinnvoll zur Datenakquisition, zur Parallelisierung von Testaufgaben und für Demonstrationen.

Hardware-in-the-Loop (HiL): Die Zielhardware wird mit einem Umwelt-Modell gekoppelt. Dieses Umwelt-Modell wird jedoch auf einem Echtzeitsystem (dSPACE) mit umfangreichen Schnittstellen implementiert (vgl. RP). Es werden alle Hardware-Schnittstellen und Treiber des Zielsystems berücksichtigt. Back-to-Back-Tests müssen aufgrund der Hardware-Kopplung mit einer gewissen Toleranz bewertet werden.

Mit der Produkt-Implementierung erfolgt schließlich die System-Validierung. Mit einem programmierbaren Lungensimulator werden dabei Back-to-Back-Tests durchgeführt.

### **Zukünftige Verbesserungsmöglichkeiten**

Eine Umsetzung von Processor-in-the-Loop (PiL - wie PoL, jedoch Kopplung mit dem Modell der Umwelt auf dem Host-PC) ist mit der eingesetzten Toolkette derzeit nicht möglich, da die Strukturvariabilität der Steuerungssoftware derzeit nicht unterstützt wird. Weiterhin ist eine durchgängige Datenhaltung (Data Dictionary) unter Simulink schwierig umzusetzen, da sich die Möglichkeiten und Vorgehensweisen unter Simulink und Stateflow z.T. unterscheiden oder nur mit großem Aufwand zu verwalten sind. Schließlich werden je nach Zielsystem nicht alle Möglichkeiten zur Codeoptimierung umgesetzt, so dass bei zeitkritischen Algorithmen evtl. Handoptimierungen nötig sind.

### **Zusammenfassung**

Bereits mit der Einführung der Werkzeuge und Methoden ist eine Zeitersparnis in der Entwicklung gegenüber nicht-modellbasierten Ansätzen erkennbar. Durchgängige Back-to-Back-Tests können bis zum fertigen Produkt ausgeführt werden. Fehler in der Codegenerierung konnten trotz der Komplexität der Steuerung bislang nicht festgestellt werden. Insbesondere für zukünftige Projekte sind deutliche Zeiteinsparungen zu erkennen.

### **Literaturhinweise**

[Lamberg2005]

K. Lamberg, M. Beine, „Testmethoden und -tools in der modellbasierten Funktionsentwicklung“ in Proceedings der Jahrestagung der ASIM/GI Fachgruppe 4.5.5 ‚Simulation technischer Systeme‘, Berlin, 2005, ISSN 1436-9915

[EN60601-1-4:2001]

DIN EN 60601-1-4:2001, Medizinische elektrische Geräte – Programmierbare elektrische medizinische Systeme, Beuth, Berlin, 2001

[V-Modell-XT2006]

<http://www.v-modell-xt.de>. Koordinierungs- und Beratungsstelle der Bundesregierung für Informationstechnik in der Bundesverwaltung, Berlin, 2006

## Simulatoren in der Aus- und Weiterbildung

*Prof. Dr.-Ing. L. Palotas  
FH Wiesbaden University of Applied Sciences  
FB ING Ingenieurwissenschaften  
FG Übertragungstechnik und Netzwerktheorie  
[palotas@ite.fh-wiesbaden.de](mailto:palotas@ite.fh-wiesbaden.de)*

Simulatoren sind heutzutage auch in der Aus- und Weiterbildung nicht mehr wegzudenken. In den letzten Jahren stehen neben den Voll- und Demoversionen verschiedener Simulatoren auch äußerst leistungsfähige „Freeware-Simulatoren“ zu Verfügung, die mit Hilfe von weiteren Entwicklungstools sowohl die Modellbildung als auch eine professionelle Simulation komplexer analoger und digitaler Schaltungen ermöglichen. Der Beitrag stellt anhand von zahlreichen Beispielen die erweiterten Eigenschaften, wie z.B. Modellgenerierung, hierarchischer Entwurf, Monte Carlo Analyse, simulatorgekoppelte Optimierung u.s.w., dieser Simulatoren vor.

*Das ist ein sehr gutes Beispiel  
LT Spröde - Komp. zu Spröde,  
Schaukel*

# Modelle für Mehrleitersysteme im Kraftfahrzeug mit VHDL-AMS und Modelica

Kerstin Siebert, Stephan Frei

Arbeitsgebiet Bordsysteme  
Universität Dortmund  
Friedrich-Wöhler-Weg 4  
44227 Dortmund  
[www.bordsysteme.uni-dortmund.de](http://www.bordsysteme.uni-dortmund.de)

Im Kraftfahrzeug werden für immer mehr Anwendungen Bussysteme, wie z.B. LIN, CAN oder FlexRay eingesetzt. Besonders bei schnellen Bussystemen wie FlexRay ist die Datenübertragung über die im Kfz üblichen einfachen und ungeschirmten Rundleiter kritisch. Datenfehler können entstehen und die Anwendung bei sicherheitskritischen Systemen, wie zum Beispiel elektronische Lenkung und Bremse, problematisch machen. Zur Systemanalyse ist die Simulation ein außerordentlich wichtiges Hilfsmittel. Die hierzu nötigen Modelle von Mehrleitersystemen in geeigneten Modellierungssprachen wie VHDL-AMS und Modelica waren bisher nicht verfügbar. Mehrleitermodelle für die Signalintegritätsbetrachtung wurden entwickelt und messtechnisch verifiziert.

Die elektromagnetische Wechselwirkung zwischen  $n+1$ -Leitern zeigt sich in einer Verkopplung der Leitungsgleichungen, d.h. die Spannung  $U$  und der Strom  $I$  jedes einzelnen Leiters hängen von den Spannungen bzw. Strömen aller  $n$  Leiter ab [1]:

$$\frac{d}{dz} \begin{bmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{11} & \cdots & Z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & \cdots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dabei setzt sich die  $n \times n$  Impedanzmatrix  $[Z]$  aus der Widerstandsbelagsmatrix  $[R]$  und der Induktivitätsbelagsmatrix  $[L]$  zusammen

$$[Z] = [R] + j\omega[L]. \quad (2)$$

Analog können die Gleichungen für die kapazitive Kopplung angegeben werden.

Zur Implementierung des Modells eines Mehrleitersystems in Modellierungssprachen wie VHDL-AMS und Modelica wird eine Entkopplung der Leitungsgleichungen [1] vorgenommen. Dadurch kann für jeden der  $n$  entkoppelten Leiter das bekannte und bereits in VHDL-AMS und Modelica implementierte Zweileitermodell [2,3] verwendet werden.

Zur Modellierung der Verkopplung der Leiter werden gesteuerte Spannungs- und Stromquellen eingefügt, welche von den Spannungen bzw. Strömen aller  $n$  Leiter gesteuert werden. Implementierungen solcher mehrfach gesteuerten Quellen sind in VHDL-AMS und Modelica noch nicht verfügbar. Diese wurden in beiden Modellierungssprachen erstellt und in das Modell des entkoppelten Mehrleitersystems eingefügt. Zur Veranschaulichung wird in Abbildung 1 beispielhaft das Dreileitermodell gezeigt, da es das einfachste Mehrleitersystem ist, welches aber bereits alle nötigen Modellierungseigenschaften eines beliebig großen Mehrleitersystems aufweist.

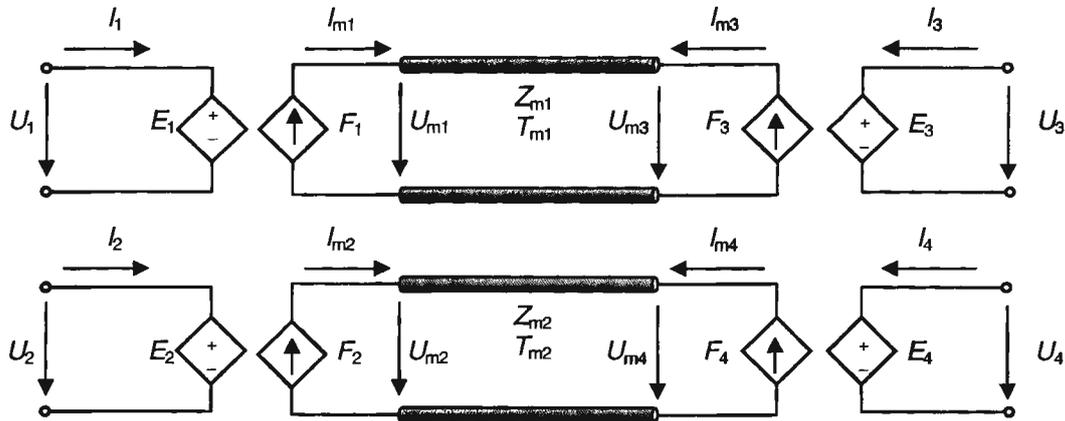


Abbildung 1: Ersatzschaltbild des entkoppelten Dreileitersystems

Zur Verifikation der Simulationsergebnisse wurde ein Leitersystem mit einer für den Serieneinsatz vorgesehenen FlexRay-Leitung aufgebaut und messtechnisch untersucht. Für die Simulation notwendige Parameter, wie Leitungsbeläge und Signallaufzeit werden entsprechend der Geometrie und den Materialien des Aufbaus berechnet und in die Modelle eingegeben. Die Mess- und Simulationsergebnisse sind in Abbildung 2 gegenübergestellt und zeigen eine gute Übereinstimmung.

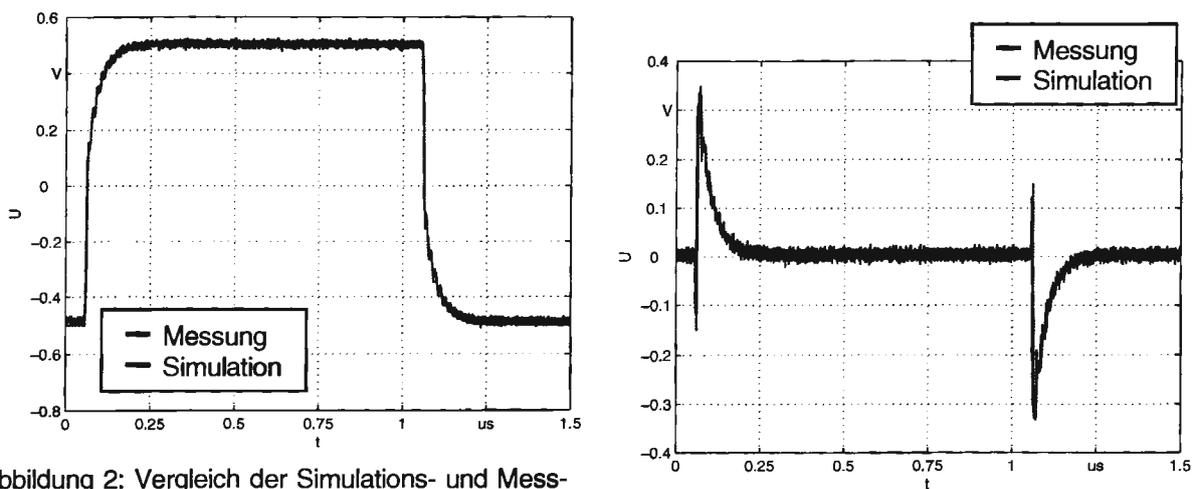


Abbildung 2: Vergleich der Simulations- und Messergebnisse einer FlexRay-Leitung

### Literatur

- [1] Clayton R. Paul: Analysis of Multiconductor Transmission Lines, John Wiley & Sons, 1994
- [2] VDA/FAT-Arbeitskreis 30; <http://fat-ak30.eas.iis.fraunhofer.de>
- [3] Modelica Association; <http://www.modelica.org>

## Automatisierte Speichermodellierung mit Hilfe impedanzbasierter Verfahren

*Dipl.-Ing. L. Morawietz, Prof. Dr.-Ing. B. Bäker*  
*Lehrstuhl Fahrzeugmechatronik, Institut für Automobiltechnik Dresden (IAD)*  
*Technische Universität Dresden*  
*Tel.: 0351 / 463 33 351, Fax: 0351 / 463 32 866*  
*E-Mail: morawietz@ivk.tu-dresden.de*

In den letzten Jahren haben sich die Anforderungen an Speicher im elektrischen Energiebordnetz von Kraftfahrzeugen stark gewandelt. Neben dem reinen Starten des Verbrennungsmotors übernehmen die Speicher die Funktion der Spannungsglättung im Bordnetz, das Abfangen von Leistungsspitzen und die Speicherung rekuperierter Energie. Um diesen neuen Aufgaben gerecht zu werden finden in modernen elektrischen Energiebordnetzen neben den herkömmlichen Blei-Akkumulatoren und deren Derivaten (Blei-Gel, Blei-Vlies) auch neue Technologien wie beispielsweise elektrochemische Doppelschichtkondensatoren (Superkondensatoren – SCAPs) Anwendung.

Außerdem ergeben sich auch neue Herausforderungen in der Integration der Speicher ins Bordnetz und somit für die Modellierung und Simulation. Neben quasistatischen Speichermodellen für die Ladebilanzierung sind hochdynamische Modelle notwendig, um Aussagen über die Spannungsantwort der Speicher auf Stromsprünge vorhersagen zu können.

Um die dynamischen Eigenschaften von Prozessen zu charakterisieren wird in vielen Bereichen die Impedanzspektroskopie genutzt [01]. Dabei wird das zu untersuchende System im Frequenzbereich vermessen und anhand der Messergebnisse System- bzw. Modellparameter bestimmt. Der relevante Frequenzbereich ist dabei vom System abhängig.<sup>3</sup>

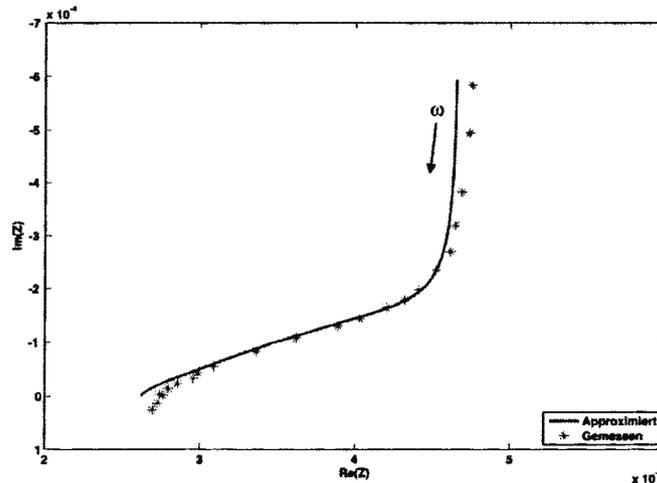
Basierend auf den Arbeiten von [02] und [03] wurde an der TU Dresden ein Prüfstand für die Untersuchung von Speichern aufgebaut, an dem unter anderem das Verfahren der Impedanzspektroskopie für Superkondensatoren und Blei-Batterien umgesetzt ist. Der Prüfstand besteht im Wesentlichen aus der Kombination einer elektronischen Quelle und einer Last, mit deren Hilfe der Speicher elektrisch untersucht werden kann. Auf Grund des großen Einflusses der Temperatur auf das Verhalten der Speicher stellt die Klimakammer eine weitere wichtige Komponente dar. Sie ermöglicht die Durchführung der Messungen in einem Temperaturbereich von -40°C bis 180°C.

Grundlegend gliedert sich das gesamte Vermessungs- und Modellierungsverfahren in folgende Schritte:

1. Einstellen des Arbeitspunktes (Konditionieren)
2. Aufzeichnen der Spannungsantwort auf sinusförmige Eingangsströme unterschiedlicher Frequenz (mit überlagerten DC-Strömen)
3. Ermittlung der Phasenverschiebung und Verstärkung (Ortskurve)
4. Bestimmen der Parameter der Ortskurve
5. Berechnen der Modellparameter
6. Erzeugen der Modelle im Zeitbereich

<sup>3</sup> Bereich für Blei-Batterien: Kiloherz bis Millihertz, für Superkondensatoren 100 Herz bis Millihertz

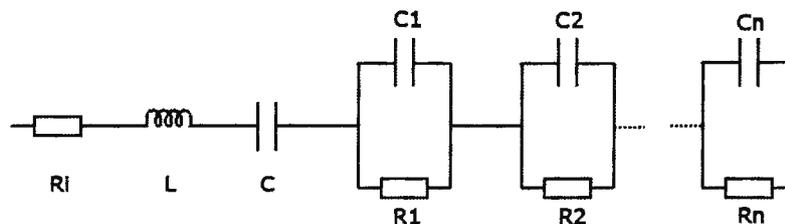
Abbildung 1 zeigt beispielhaft eine ermittelte Ortskurve einer Superkondensator-Zelle. Anhand eines elektrochemisch motivierten Ersatzschaltbildes (siehe Abbildung 2) können über eine nichtlineare Kurvenanpassung die Parameter der Ersatzschaltung ermittelt werden und ein Modell im Zeitbereich erzeugt werden.



**Abbildung 3:** Beispielhafte Ortskurve einer Superkondensator-Zelle

Durch den hohen Automatisierungsgrad ist es möglich, innerhalb von zwei Stunden<sup>4</sup> ein vollständig parametrisiertes Modell eines Superkondensators zu ermitteln. Die Vermessung von Batterien ist an diesem Prüfstand in gleicher Weise umgesetzt. Auf Grund des größeren Frequenzbereiches, in dem die wesentlichen Informationen enthalten sind, und der zusätzlichen Abhängigkeit des Arbeitspunktes vom Strom ergibt sich jedoch eine deutlich höhere Messdauer.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Verfahren der Impedanzspektroskopie erfolgreich an der



**Abbildung 4:** Ersatzschaltbild einer Superkondensator-Zelle

TU Dresden umgesetzt wurde und somit ein leistungsstarkes Werkzeug für die Erstellung dynamischer Modelle von Speichern im Bereich des Kfz-Energie-Bordnetzes zur Verfügung steht.

Literatur:

- [01] D. U. Sauer et al: Impedanzspektroskopie – Grundlagen und Anwendungen, Technische Mitteilungen des Haus der Technik e.V. Essen, 2006
- [02] S. Buller, E. Karden, D. Kok, R.W. De Doncker: Modeling the dynamic behaviour of supercapacitors using impedance spectroscopy. Technical report, RWTH Aachen and Ford Research Center Aachen, 2001.
- [03] S. Buller, M. Thele, R.W. De Doncker, and E. Karden: Impedance-based simulation models of supercapacitors and li-ion batteries for power electronic applications. Technical report, RWTH Aachen and Ford Research Center Aachen, 2003.

<sup>4</sup> Unter Voraussetzung der Messung bei einer Temperatur und eines vortemperierten Superkondensators.

## **Integrierte Analyse und Optimierung kontinuierlicher Erstarrungsprozesse (Prozeßanalyse, Modellierung/Simulation, Mitarbeiterschulung)**

*Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Rüdiger Böhmer*

*Thinkware for Science and Practice, Büro für Prozessanalyse und -simulation, D-57518 Betzdorf*  
Gleichzeitig: Universität Hildesheim, Fachbereich Informations- und Kommunikationswissenschaften, Institut für Physik und Technik, 31141 Hildesheim

Auch im Bereich der Analyse und Optimierung kontinuierlicher Erstarrungsprozesse, insbesondere bei Stranggießprozessen in der Metallindustrie, hat die mathematische Prozeßmodellierung und -simulation die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen verlassen und arbeitet Hand in Hand mit den Prozeßverantwortlichen vor Ort. Stranggießen ist das wichtigste Verfahren zur Herstellung von Halbzeug, z.B. Blöcken, Barren oder Brammen, aber auch endabmessungsnäheren Profilen, aus Metallen und ihren Legierungen. Dabei wird Metallschmelze in kontrollierter Weise durch eine gekühlte Kokille als geformter Strang ins Freie geführt. Innerhalb des Kühlers erstarrt die Schmelze zumindest in den Randbereichen unter Ausbildung einer tragfähigen Schale, außerhalb der Kokille wird die Wärme durch Strahlung und natürliche Konvektion, oft auch unterstützt durch erzwungene Konvektion (z.B. Direktkühlung mit Wasser), weiter abgegeben, bis der Strang vollständig durcherstarrt und abgekühlt ist. Fragestellungen ergeben sich hinsichtlich der Steuerungsmöglichkeiten des Prozeßgeschehens und des Optimierungspotentials, z.B. einer definierten und robusten Kühlerkonstruktion, einer geometrisch und zeitlich angepaßten Kühlung sowie optimaler Ziehparameter. Qualitätsmerkmale sind vor allem Art und Gleichmäßigkeit der Gefügeausbildung und die Abwesenheit von Oberflächenfehlern wie tiefen bzw. unregelmäßigen Hubmarken, Überläufern oder Rissen. Ziel ist über die gesamte Gießdauer sicheres und einwandfreies Gießen mit möglichst hoher Ausbringung, ebenso das gezielte Einstellen von Materialeigenschaften, auch um Nachbehandlungen zu vermeiden oder zu minimieren.

Computergestützte Prozeßanalyse und Prozeßsimulation haben auch im Bereich kontinuierlicher Erstarrungsprozesse einen hohen Nutzwert erreicht und liefern mit ausgefeilten Algorithmen und fortschrittlichen Darstellungs- und Animationsmöglichkeiten detailreiche und anschauliche Ergebnisse. Durch Zustandsbeobachtungsmodelle können aus meßbaren Größen unsichtbare innere Zusammenhänge berechnet und sichtbar gemacht werden. Andererseits läßt das Experimentieren am numerischen Prozeßmodell die qualitativen und quantitativen Konsequenzen von Parameteränderungen deutlich werden und reduziert die Zahl durchzuführender Betriebsversuche auf ein Minimum. Die Analyse und Diskussion der Problemstruktur am Modell ersetzt kostspieliges Lernen durch Versuch und Irrtum in der Praxis. Durch Modellsimulationen am Computer können noch nicht gebaute Anlagen und noch nicht realisierte Verfahrensweisen virtuell erprobt werden.

Doch Modellwelt und betriebliche Wirklichkeit trennt der Graben der Abstraktion: Geschickt muß in Modellgleichungen und Datenstrukturen das Wesentliche der sachlichen und ablauftechnischen Gegebenheiten codiert werden. Ebenso muß nach einer Modellberechnung die Parametersensitivität der Modellergebnisse am technisch und wirtschaftlich Möglichen kritisch gemessen werden. Sind endlich die zur technischen Problemlösung erforderlichen Schritte im Team erarbeitet und erkannt, muß ihre Umsetzung in die betriebliche Wirklichkeit durch Information aller Beteiligten vorbereitet werden. Dies erfolgt projektbegleitend durch Abstimmung der Verantwortlichen im Arbeitsteam und bei Bedarf nachfolgend durch betriebliche Schulungsmaßnahmen vor Ort.

Besonders erfolgversprechend auf diesem mehrstufigen Weg ist es, wenn den Betrieben Beratungsdienstleistungen „aus einer Hand“ zur Verfügung gestellt werden können. Dies setzt eine breite Erfahrung des Beauftragten ebenso voraus wie seine Fähigkeit und Bereitschaft, Beiträge zur Datenerhebung und zur investigativen Prozeßanalyse, zur Erfassung von Meßdaten am Prozeß und zu ihrer Verarbeitung und Interpretation, zur Modellbildung, -parametrierung und -simulation zu leisten. Am Modell gewonnene Erkenntnisse sind sodann vor dem Hintergrund der eingegangenen Modellprämissen zu erläutern, Entscheidungen durch Aufzeigen des Handlungspotentials vorzubereiten und die Zusammenhänge abschließend auch weniger fachkundigen Mitarbeitern im Betriebsteam zu vermitteln.

Aus Informations- und Kommunikationsgründen, aber auch im Hinblick auf begrenzte Ressourcen wird heute dieses durchgängige Betreuungs- und Beratungskonzept erwartet, das Expertise in den Bereichen Meßtechnik, Datenakquisition, Modellierung/Simulation und Schulung umfaßt. Die Beschreibung dieser Bereiche, ihr Zusammenwirken und der Stellenwert der verwendeten Simulationssoftware ContiSim® sind Gegenstand des Vortrags. Neben der Erreichung verfahrenstechnischer Ziele existiert in der Industrie der Wunsch, gut ausgebildetes Personal jeweils über den neuesten Stand der Weiterentwicklungen multimedial

zu informieren, um effektives Arbeiten und mit hohen Qualitätsergebnissen zu gewährleisten. Dieser durch organisatorische Maßnahmen erreichbare Mehrwert ist bei geschickter Umsetzung kostengünstig, wirkt motivationsfördernd, eröffnet bedeutsame Wettbewerbsvorteile und trägt zur Standortsicherung bei.

#### Literatur:

J.R. Boehmer, „Methodik computergestützter Prozessmodellierung“, R. Oldenbourg Verlag, München, 1997.  
P. Baumgartner, H. Häfele, K. Maier-Häfele, „E-Learning Praxishandbuch“, Studienverlag, Innsbruck, 2002.  
J.R. Boehmer, „Möglichkeiten und Grenzen der Optimierung des Stranggießens von NE-Metallen durch Anwendung von Modellierungswerkzeugen“, Metall, 58(3), 125-133, 2004.

## **Komponentenbasierte Mixed-Level Modellierung mit variablen MOSFET Verhaltensmodellen**

*Jürgen Weber*

*Design Methodology ,Business Center Automotive & Control*

*Atmel Germany GmbH*

*Theresienstrasse 2 , D-74072 Heilbronn, Germany*

*Phone: +49 7131 67-3174, Fax: +49 7131 67-3003*

*Email: [juergen.weber@hno.atmel.com](mailto:juergen.weber@hno.atmel.com)*

Im Zuge verkürzter Produktionszyklen in der Halbleiterindustrie kommen modernen Verfahren eine immer größere Bedeutung zu. Hierzu zählen nicht nur die Entwurfsverfahren sondern auch die Testentwicklung spielt eine grosse Rolle. Der Einsatz von HDL-Modellen stellt hier eine zentrale Anforderung dar. Bei den Entwurfsverfahren liefert der HDL-basierte Entwurf von Mixed-Signal Systemen in diesem Kontext einen Lösungsansatz für die Simulation immer aufwendigerer Schaltungen unter sich ständig ändernden Randbedingungen. Ebenso werden HDL-Modelle beim Einsatz von virtuellen Testverfahren benötigt. Eine separate Entwicklung der Modelle wäre wirtschaftlich in den meisten Fällen nicht tragbar. In diesem Beitrag soll ein Methode präsentiert werden, wie MOS-Modelle partitioniert und deren Eigenschaften aktiviert oder deaktiviert werden können, mit dem Ziel einen Performancegewinn zu erhalten und sowohl für den Entwurfsprozess als auch den Virtuellen Test universell einsetzbar sind. Diese Methode soll anhand von MOS-Verhaltensmodellen, auf Basis von Level1-MOSFET Beschreibungen, in einer "komponentenbasierten Mixed-Level Modellierung", demonstriert werden.