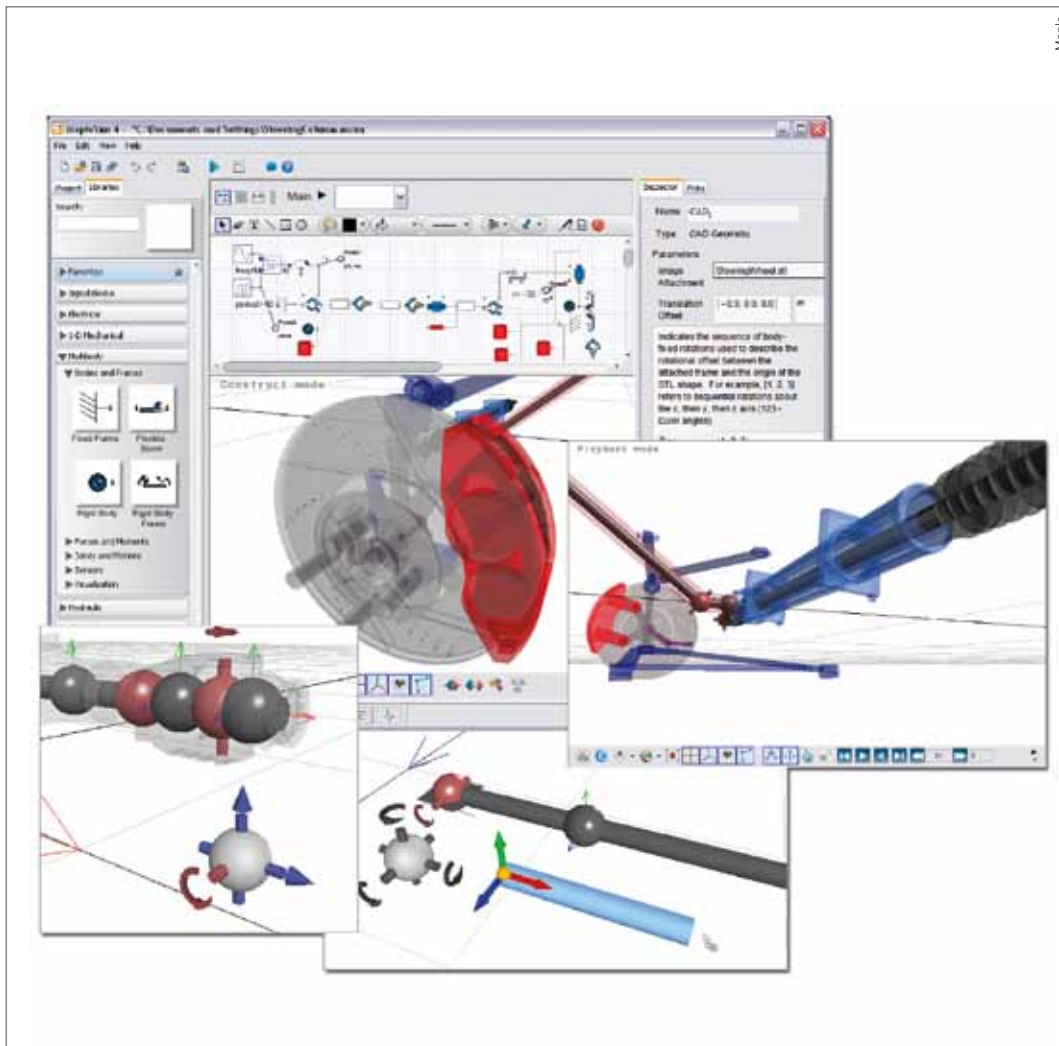


Modelica simuliert komplexe Systeme

Softwarehersteller wie Dassault Systèmes, MapleSoft oder Wolfram bieten seit ein paar Jahren Simulationsumgebungen für Modelica an. Dank dieser Unterstützung könnte sich Modelica zum Sprachstandard für die Modellbildung komplexer Systeme entwickeln. Modelica hat zudem das Potenzial, die Ausbildung der Ingenieurinnen und Ingenieure nachhaltig zu verbessern.



Die Modelle der einzelnen Komponenten werden der Bibliothek entnommen und zu einem simulationsfähigen System zusammen geklickt.

«Kommt auf den Wind an» lautete die überraschende Antwort auf die Frage, wie lange aus dieser Grube noch Kohle gefördert werden kann. Etwas weniger überrascht dürfte der Testfahrer gewesen sein, als sein Prototyp nach einem aufwändigen Manöver bockstill gestanden ist. Kohlekraftwerke werden heute zur Verstärkung der Windenergie eingesetzt und Autos sind so komplex geworden, dass die Testfahrer eher mehr Fehler als frü-

her finden. Beide Beispiele zeigen ein grundlegendes Dilemma bei der Entwicklung neuer Geräte und Systeme: Das Produkt sollte die individuellen Bedürfnisse der Kunden befriedigen und gleichzeitig robust arbeiten. Die Beanspruchung der Schaufel einer Dampfturbine bei gegebenen Strömungs- und Temperaturverhältnissen lässt sich mit einem gewöhnlichen PC berechnen. Will man aber mit dem gleichen Detaillierungsgrad ein

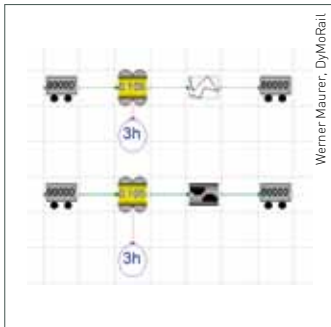
ganzes Kohlekraftwerk simulieren, sind auch die grössten Rechner überfordert. Komplexe Systeme sind so zu modellieren, dass sowohl in der räumlichen als auch in der zeitlichen Auflösung unterschiedliche Massstäbe kombiniert werden können. Zudem müssen mechanische, hydraulische, pneumatische, elektrische, stoffliche und thermische Komponenten in einem einzigen, umfassenden Modell darstellbar sein. Ereignisse wie Schalt-

zustände oder diskrete Übergänge sowie Regler sollten ebenfalls eingebaut werden können. Das Ganze nennt sich dann Multi-Domain Modeling.

Eine Sprache, mehrere Simulatoren

Modelica, ein offener Sprachstandard, der seit 1996 von einer wachsenden Gruppe von Fachspezialisten entwickelt wird (www.modelica.org), dürfte zurzeit die mächtigste Sprache zur Modellierung komplexer dynamischer Systeme sein. In den letzten Jahren ist die Zahl der Nutzer stark angestiegen. Dies hängt auch mit Entwicklung der Simulationswerkzeuge zusammen. Neben dem Klassiker, Dymola, der heute von Dassault Systems weiter entwickelt und vertrieben wird, bieten sowohl MapleSoft mit Maplesim als auch Wolfram mit MathModelica eigene Simulationssoftware an. Neben andern Tools wie etwa SimulationX von ITI GmbH Dresden entstehen mit OpenModelica und JModelica zwei Plattformen, die von jedermann unentgeltlich benutzt werden dürfen.

Modelica ist so konzipiert, dass die einzelnen Nutzer ihr Fachwissen ohne grosse Programmierkenntnisse einsetzen können. Als objektorientierte Sprache mit integrierten Graphik-elementen erlaubt Modelica den Aufbau komplexer Systeme nach dem Lego-Prinzip. Aus den bestehenden, frei erhältlichen Basisbibliotheken entnimmt man Feder-Dämpfer-Systeme, Getriebe, Kapazitäten, Ventile oder Wärmespeicher und fügt sie auf dem Bildschirm zusammen. Dabei sind Verbindungen nur zwischen gleichartigen Anschlüssen möglich. So kann ein Planetengetriebe wohl mit einem Schwungrad, aber nicht mit



Modelle von Güterwagen, verschiedenen Puffern und zugehöriger Hydraulik werden der Bibliothek DyMoRail entnommen und zu einem simulationsfähigen System zusammen geklickt.

einem verschiebbaren Körper verbunden werden. Ein elektrischer Widerstand lässt sich nur in einen elektrischen, aber nicht in einen hydraulischen Kreis einfügen. Daneben gibt es aber auch elektrische Widerstände, die einen dritten Anschluss aufweisen, über den die produzierte Wärme an einen thermischen Speicher abgeführt werden kann.

Ein Abbild der Physik

Die grundlegenden Konzepte von Modelica lassen sich am besten anhand einer Bibliothek erklären. Nehmen wir als Beispiel diejenige für analoge elektrische Systeme. Die Elemente, die beim Aufbau einer Bibliothek zuerst definiert werden müssen, sind die Verbindungen, hier Pins genannt. Ein Pin enthält die Definition des elektrischen Stroms und des elektrischen Potentials. Die Stromstärke ist zusätzlich mit dem Schlüsselwort `flow` gekennzeichnet. Werden nun zwei Pins verschiedener Elemente miteinander verbunden, generiert das Programm zwei Gleichungen: Die eine setzt die beiden Potentiale gleich, die andere bildet den Knotensatz, verlangt also, dass die Summe der beiden Stromstärken gleich Null ist. Auf einer zweiten Hierarchieebene werden Teilmodelle mit zwei oder vier Pins gebildet, die OnePort und TwoPort heissen. Aus den OnePorts werden ideale Widerstände, Kondensatoren und Spulen, indem man diese Teilmodelle vererbt und mit der konstituti-



Modelica ist so aufgebaut, dass die Nutzer ihr Fachwissen auch ohne grosse Programmierkenntnisse einsetzen können.

ven Gleichung wie z. B. $U = R \cdot I$ versteht. Das Teilmodell TwoPort dient unter anderem als Basis für ideale Transformatoren. Reale Transformatoren enthalten dann das Modell des idealen Systems sowie zusätzliche Elementen wie Widerstände, Kapazitäten und Induktivitäten, die das gemessene oder vorausgesagte Verhalten soweit wie nötig nachbilden.

Das Konzept von Modelica, das sich direkt auf die Gesetze der Physik abstützt, hat auch seine Tücken. So entstehen mit dieser Methode rasch einmal differentialalgebraische Gleichungssysteme mit mehreren tausend Unbestimmten. Weil man dem Benutzer das Sortieren und Kausalisieren der Gleichungen abnimmt, kümmert sich dieser auch nicht um die mathematischen Schwierigkeiten beim Parallelschalten von zwei Kondensatoren oder beim Serieschalten von Induktivitäten. Dazu kommen weitere Probleme wie extrem unterschiedliche Zeitkonstanten, schnelle Schaltvorgänge, Strukturänderungen während der Simulation oder Phasenübergänge in der Thermodynamik. Die Simulatoren, welche Modelica-Modelle verarbeiten, müssen solche Probleme algebraisch lösen, bevor das vereinfachte und kausalisierte Gleichungssystem integriert werden kann. Trotz dem damit verbundenen Entwicklungsaufwand liegen die Lizenzgebühren für die meisten Simulationsumgebungen im Bereich von nur einigen Tausend Euro.

Das Lego-Prinzip

Modelica ist heute eine ausgereifte Sprache mit frei verfügbaren Bibliotheken. Zudem bieten grosse Software-Hersteller taugliche Simulatoren an. Modelica hat das Potenzial, die Lingua Franca der Entwicklungsingenieure zu werden. Stellen wir uns eine Welt vor, in der die Hersteller von Elektromotoren, Getrieben oder Schockabsorbern neben den eigentlichen Produkten auch noch das zugehörige Modelica-Modell liefern. Dann könnten die Kunden schon in der Konzeptphase mit ein paar Mausklicks Varianten austesten, das transiente Verhalten studieren oder erste Regelkonzepte implementieren. Obwohl heute Automobilhersteller wie etwa BMW oder auch Zulieferer wie ZF Friedrichshafen vermehrt auf Modelica setzen, ist der grosse Boom bisher ausgeblieben. Denn bevor die Vision der flächendeckenden Modellierung nach dem Lego-Prinzip umgesetzt werden kann, müssen noch ein paar Voraussetzungen erfüllt sein. Dazu gehören ausgereiftere Basisbibliotheken, bessere Kompatibilität zwischen den einzelnen Simulatoren, allseits anerkannte Standards sowie mehr bereichsspezifische Bibliotheken, die von einer grösseren Zahl von Nutzern gemeinsam entwickelt werden.

Paradigmenwechsel in der Ausbildung

Eine entscheidende Rolle bei der weiteren Entwicklung dieser Multi-Domain-Sprache müssen die Hochschulen übernehmen. Solange in Ingenieur-Studiengängen der über Jahrzehnte gewachsene Fächerkanon nur in den oberen Semestern mit einigen Modulen zu ausgewählten Simulationsmethoden angereichert wird, findet der notwendige Paradigmenwechsel nicht statt. Modellbildung und Simulation sollten sich wie ein roter Faden durch die gesamte Ingenieur-Ausbildungen ziehen. Man muss die Gesetze der Natur nicht zuerst einzeln studieren, um danach eine Simulation des realen Prozesses durchzuführen. Statt die Physik anhand bis ins absur-

de vereinfachter Beispiele wie der im Vakuum geworfene Fussball zu vermitteln, sollte man von einem komplexen Phänomen wie etwa der Bananenflanke ausgehen und daraus die grundlegenden Gesetzmässigkeiten extrahieren. So lernen die Studierenden Mathematik und Physik im direkten Umgang mit anspruchsvollen Modellen kennen. Wer so geschult worden ist, durchschaut die dynamischen Strukturen komplexer Systeme besser und bleibt nicht bei den ewig gleichen Formeln hängen, die eh nur auf ausgewählte Spezialfälle zutreffen.

Modelica hat seinen Platz in der Automobilindustrie gefunden und wird vermehrt in andern Branchen eingesetzt. Die Basiskonzepte dieser Sprache (Bilanzen, Rolle der Energie, konstitutive Gesetze und hierarchische Modellierung) könnten aber auch zur Durchlüftung des Grundlagenunterrichts in der Ingenieurausbildung dienen. 

Werner Maurer
Dozent für Physik und
Systemdesign ZHAW

zudem

ASIM 2011

Vom 7.-9. September 2011 findet an der ZHAW in Winterthur das 21. Symposium Simulationstechnik der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM) der Gesellschaft für Informatik (GI) zum Thema «Grundlagen, Methoden und Anwendungen der Modellbildung und Simulation».

Das Symposium bietet einen Aus- und Überblick über Methoden und Anwendungsgebiete in Modellbildung und Simulation. Es fördert den Erfahrungsaustausch zwischen Fachleuten, zeigt neue Trends auf und vermittelt Kontakte zwischen Hochschulen und Wirtschaft.

www.engineering.zhaw.ch/ASIM2011