

## Mathematik-Software optimiert Hardware-in-the-Loop-Tests in der Automobilindustrie

Die Berechnungs-Software Maple ist ein ideales Tool für Automobilingenieure zur schnellen Erstellung von Systemmodellen für Anwendungen wie Hardware-in-the-Loop-Tests, bei denen eine hohe Präzision und Echtzeitleistungen gefragt sind. Maple verwendet eine leistungsfähige Symbolic Math Engine, bei der numerische Approximationen entfallen und die eine umfassende Analyse jedes beliebigen Systems - sei es mechanischer, physikalischer oder elektronischer Art - ermöglicht. Durch die automatische Formelvereinfachung werden die Ausführungszeiten optimiert und hohe Echtzeitleistungen erreicht.

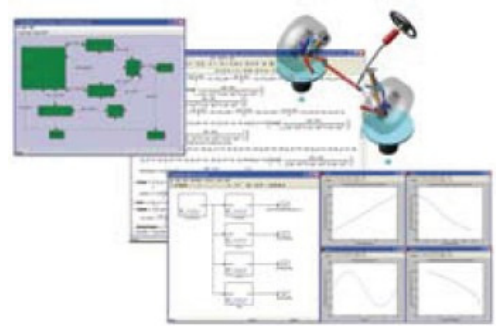
Maple und seine neuen Add-on-Module bieten Automobilingenieuren viele zeitsparende, innovative Einsatzmöglichkeiten: die mathematische Leistung kann ohne die Eingabe von Formeln erreicht werden, um problemlos die optimalen Parameter eines Systems zu finden, ein auf echten Daten basierendes mathematisch-symbolisches Modell zu erstellen oder die Verwendung von Simulink zu optimieren.

Die Hardware-in-the-Loop (HIL) Simulation ist eine Technik, die verstärkt bei der Entwicklung und beim Test von Embedded-Real-Time Systemen eingesetzt wird. Der Zweck der HIL-Simulation ist es, eine leistungsfähige Plattform zum Erreichen der Zielsetzung zur Verfügung zu stellen. Die HIL Simulation bietet hierfür unter Berücksichtigung der gesamten Komplexität einer Regelung eine effiziente Plattform zu Testzwecken an. Die Komplexität der Regelung wird durch Hinzufügen der mathematischen Beschreibung aller damit in Beziehung stehenden dynamischen Systeme in die Tests und die Entwicklung integriert. Die Leistungsfähigkeit der Math Engine von Maple sowie ihre Benutzerfreundlichkeit und ihre Schnittstellen spielen auf dieser Ebene eine wichtige Rolle.

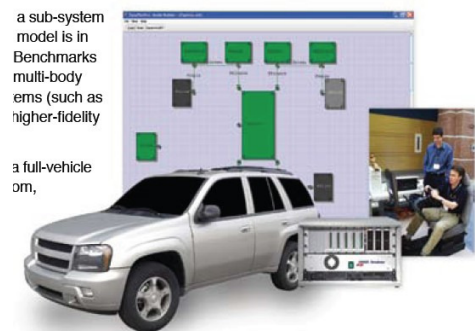
### Mathematische Leistung ohne Eingabe von Formeln

Bei der Modellierung eines mechanischen Mehrkörpersystems braucht man sich nicht mehr mit der Eingabe mathematischer Formeln zu beschäftigen. Das Add-on-Modul DynaFlexPro bietet die Möglichkeit, das System graphisch zu definieren und die Bewegungsgleichungen daraus zu generieren. Die graphische Benutzerschnittstelle DynaFlexPro/ModelBuilder ermöglicht die Erstellung der Systemmodelle über Blockdiagramme, wobei die Blöcke die Systemkomponenten - z.B. Querträger, Kurbelwellen, elastische Balken, optional auch Reifen - darstellen, die durch Gelenke miteinander verbun-

den sind, welche wiederum durch Linien dargestellt werden. Für die Blöcke und Linien muss eine Reihe von Parametern eingestellt werden (Masse, Trägheitsmomente, Gelenkbeanspruchungen usw.). Außerdem können Sie problemlos Points of Interest durch Eingabe eines eigenen Bezugssystems definieren. Weiterhin sind spezielle Automotive-Module wie das Tire-Modul erhältlich, das drei verschiedene Reifenmodelle für die Interaktion zwischen Fahrbahn und Reifen umfasst. Das Systemmodell wird dann in Maple importiert, das automatisch die dynamischen und kinematischen Gleichungen sowie andere analytische Beschreibungen und Eigenschaften wie Jakobimatrizen generiert. Anhand dieser Daten kann eine detaillierte Analyse des Systems durchgeführt werden, um die Konstruktionsparameter innerhalb der Maple-Umgebung zu optimieren.



Wenn der Anwender mit dem Modell zufrieden ist, kann er den BlockBuilder verwenden, um mit einem Mausklick einen Subsystemblock für Simulink zu erstellen. Und da das mathematische Modell eine höchst kompakte Form hat, ist das Systemmodell echtzeitfähig. Benchmarks haben ergeben, dass die Ausführungsgeschwindigkeit mit anhand von DynaFlexPro generierten mechanischen Mehrkörpermodellen sehr viel höher ist als bei vergleichbaren Modellen, die mit anderen Systemen wie ADAMS (DynaFlexPro ist ca. 20 Mal schneller) und SimMechanics® (DynaFlexPro ist ca. 26 Mal schneller) erstellt wurden.

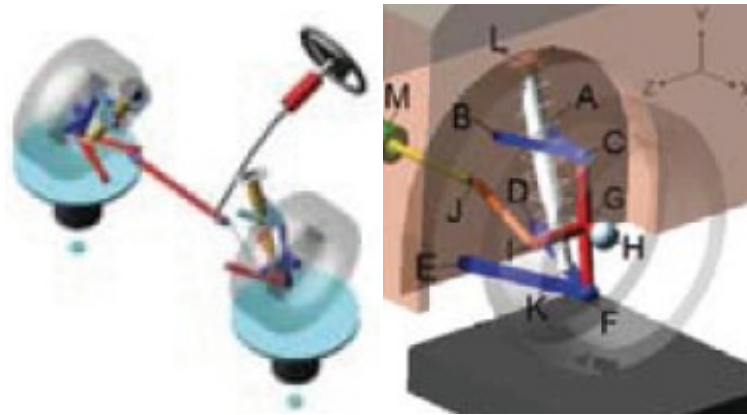


## Mathematik-Software optimiert Hardware-in-the-Loop-Tests in der Automobilindustrie

Auf diese Weise kann der Ingenieur Modelle für die HIL-Tests mit einer sehr viel höheren Zuverlässigkeit erstellen. Zum Beispiel konnten die Ingenieure in einem kürzlich durchgeführten Konstruktionsprojekt ein Vollfahrzeugmodell eines Chevy Equinox mit Reifen (22 Freiheitsgrade, 36 Zustandsvariablen) mit nur wenigen Blöcken erstellen, es erst in Simulink und dann über Real-Time Workshop in einen dSPACE-Simulator exportieren. Selbst auf einem Simulator mit geringen Leistungen (DS 1103 1GHz PPC) konnten Update-Rates von 300  $\mu$ s erreicht werden.

### Problemlose Erstellung der optimalen Parameter eines Systems: kinematische Modellierung einer Double-Wishbone-Radaufhängung

Die dynamische Stabilität eines Fahrzeugs sowie der Kraftstoffverbrauch und der Reifenverschleiß hängen direkt vom kinematischen Verhalten der Radaufhängung ab. Es ist mit beträchtlichem Aufwand verbunden, die bestmögliche Bewegung des Sturzes sowie einen guten Nachlauf und eine optimale Spur zu erreichen, wenn die Federung auf eine Unebenheit der Fahrbahn reagiert. Dieses



Hardpoints - Position der Gelenke und der Radnabe

Verhalten ist bei einer Doppelquerlenker-Radaufhängung besonders schwierig zu simulieren, da zehn Gelenke die Geometrie des Systems sowie die Position der Radnabe und des Lenkzylinders beeinflussen. Diese Anlenkpunkte, sogenannte „Hardpoints“, sind als Koordinaten im Raum definiert.

Die Herausforderung besteht darin, diese Hardpoints so zu definieren, dass die gewünschte Kinematik für das Fahrzeug erreicht wird. Anhand von DynaFlexPro™ kann die Topologie des Mechanismus problemlos (mit Hilfe von Blöcken und Linien) definiert werden; daraufhin werden die Gleichungen automatisch generiert. Die wirksamste Vorge-

hensweise ist dann, die Standardkurven als Datensätze zu importieren und die Global Optimization Toolbox für Maple zu benutzen. Mit Hilfe der globalen Optimierung erhält der Anwender schnell Parameter, die die Unterschiede zwischen der Antwort des Systems und der gewünschten Antwort ohne manuelle Wiederholung der Lösung auf ein Minimum reduzieren. Die Hardpoints, die sich beliebig verschieben lassen, können jetzt vom System identifiziert werden. Die Global Optimization Toolbox stellt daraufhin die am besten passenden Koordinaten fest, die die Kinematik möglichst getreu der gewünschten Kurve erstellen. In Modellen, die über mehrfache Optima verfügen, sucht die Global Optimization Toolbox die beste Lösung unter Berücksichtigung der Betriebsumgebung des Systems. Man braucht nur die Modellvariablen sowie ihre Randwerte festzulegen und die Zielfunktion und ihre Einschränkungen anzugeben.

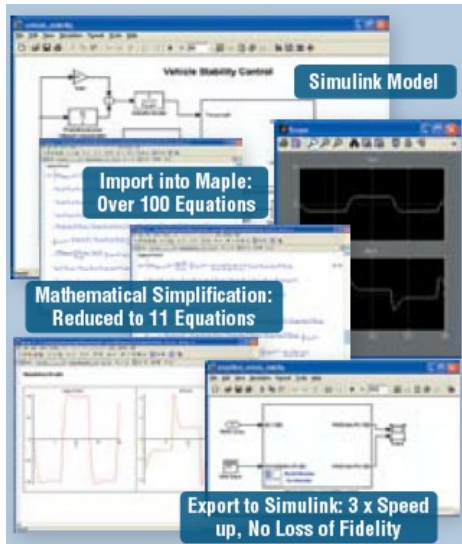
Der Ingenieur kann ebenfalls die numerischen Werte für die X-, Y- und Z-Koordinaten jedes Hardpoints eingeben. Maple löst dann das resultierende System aus Differentialgleichungen, um Radsturz, Nachlauf und Spur über eine gegebene Vertikalverschiebung des Rades zu erzeugen (in diesem Fall eine Sinuskurve mit einem Ausschlag von 100mm zur Darstellung von Bodenwelle und Rückstoß). Die Ergebnisse werden mit den Standardkurven verglichen, um sicherzustellen, dass sie mit der gewünschten Kinematik für das Fahrzeug im Einklang stehen. Die Ingenieure müssen selbstverständlich die Hardpoints anpassen, um die gewünschte Kurve zu erhalten.

Wenn das Modell optimiert worden ist, kann es als eine S-Function mit Hilfe von BlockBuilder™ für Simulink in Simulink® exportiert werden. Auf diese Weise erhält man eine höchst zuverlässige Komponente für die Fahrzeugsimulation, insbesondere für Hardware-in-the-Loop-Tests in Echtzeit im Labor, aber mit realitätsnahen Fahrbahnverhältnissen.



## Mathematik-Software optimiert Hardware-in-the-Loop-Tests in der Automobilindustrie

**Optimierte Nutzung von Simulink und eine fünf Mal bessere Berechnungsgeschwindigkeit: BlockImporter für Simulink**



Bidirektionaler Austausch mit BlockImporter und BlockBuilder:

1. Simulink-Modell
2. Import in Maple: mehr als 100 Gleichungen
3. Mathematische Vereinfachung: auf 11 Gleichungen reduziert
4. Export nach Simulink: 3 Mal schneller, keine Beeinträchtigung der Detailtreue

BlockImporter™ für Simulink ermöglicht es dem Ingenieur, ein Simulink-Modell zu importieren und es innerhalb der Maple-Umgebung in mathematische Gleichungen umzuwandeln. Dadurch wird die Validierung, die Analyse oder einfach das bessere Verständnis des Modells um einiges vereinfacht – entweder durch Prüfung der Gleichungen oder durch Eingabe von Daten und Überprüfen der Antwort. Außerdem können die analytischen Fähigkeiten von Maple zur Optimierung und Vereinfachung des Modells eingesetzt werden, um eine kompaktere Darstellung zu schaffen, die bedeutend schneller als das Originalmodell läuft, ohne dass dabei die Detailgenauigkeit reduziert wird. Wenn BlockImporter™ zusammen mit BlockBuilder zur Erstellung einer S-Function benutzt wird, um das Modell zurück in Simulink zu exportieren, kann die Ausführungsgeschwindigkeit um 500 % verbessert werden, wodurch der Unterschied zwischen einem durchführbaren oder nicht durchführbaren HIL-Modell deutlich wird.

### Techniken für bahnbrechende Innovationen

Jeder Konstruktionsingenieur im Automotive-Bereich wird Software-Tools, die ausgereifte Berechnungstechniken für die Modellierung und Analyse des dynamischen Verhaltens von Fahrzeugen - lange vor der Fahrtüchtigkeit eines Prototyps - bieten, zu schätzen wissen. Viele Produkte, die diese Funktion aufweisen, sind allerdings so spezialisiert, dass der Anwendungsbereich oft erheblich eingeschränkt wird. Die Palette der Analyseprodukte von Maplesoft ergänzt die vorhandenen Werkzeuge, wodurch der Ingenieur Ideen und Konzepte weit über die Grenzen herkömmlicher Tools hinaus verfolgen kann.

Dank des Einsatzes symbolischer Berechnungsmethoden auf dem höchsten Stand der Technik in Verbindung mit den in diesem Artikel beschriebenen Zusatzprodukten haben viele Ingenieure festgestellt, dass sie dynamische Systemmodelle entwickeln können, die numerisch weitaus effizienter sind als herkömmliche Tools. Das bedeutet, dass die Eingliederung dynamischer Fahrzeugmodelle in Hardware-in-the-Loop- und Driver-in-the-Loop-Simulatoren mit einem weitaus höheren Zuverlässigkeitsgrad erreichbar ist, wodurch die Designkosten sowie die Gefahr von Konstruktionsfehlern erheblich reduziert werden.

Maplesoft bietet eine leistungsfähige, flexible und einfach zu benutzende Umgebung zusammen mit einer umfangreichen Palette an Add-on-Produkten, anwendungsspezifischen Benutzerschnittstellen, analytischen Libraries sowie Import-/Export-Funktionen und ist somit in der Lage, dem Konstruktionsingenieur Werkzeuge zur Verfügung zu stellen, die seine Arbeit - Definition der Systeme, Erstellung und Validierung von Systemmodellen sowie deren Umsetzung in der Toolkette - erleichtert und beschleunigt. Dieser integrierte Ansatz trägt beträchtlich zu einer Verbesserung der Effizienz und Leistungsfähigkeit des Konstruktionsprozesses insgesamt bei.

### Für mehr Informationen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung:

Scientific Computers GmbH  
Friedlandstrasse 18  
51064 Aachen / Germany  
☎ +49 241 40008-0  
☎ +49 241 40008-13  
[www.scientific.de](http://www.scientific.de)  
[info@scientific.de](mailto:info@scientific.de)