



## Kongress für Simulation im Produktentstehungsprozess 29./30. September 2011 Veitshöchheim

### Physikalische Modellierung 2.0: Unternehmensübergreifende Co-Simulation mit Hilfe der GUSMA-Plattform

#### Vortragender

Dipl.-Ing. Andreas Rüdener,  
Karlsruher Institut für Technologie,  
Institut für Fahrzeugsystemtechnik,  
Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen  
Fritz-Erler-Str. 1-3  
76133 Karlsruhe

#### Weitere Autoren

Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer,  
Karlsruher Institut für Technologie



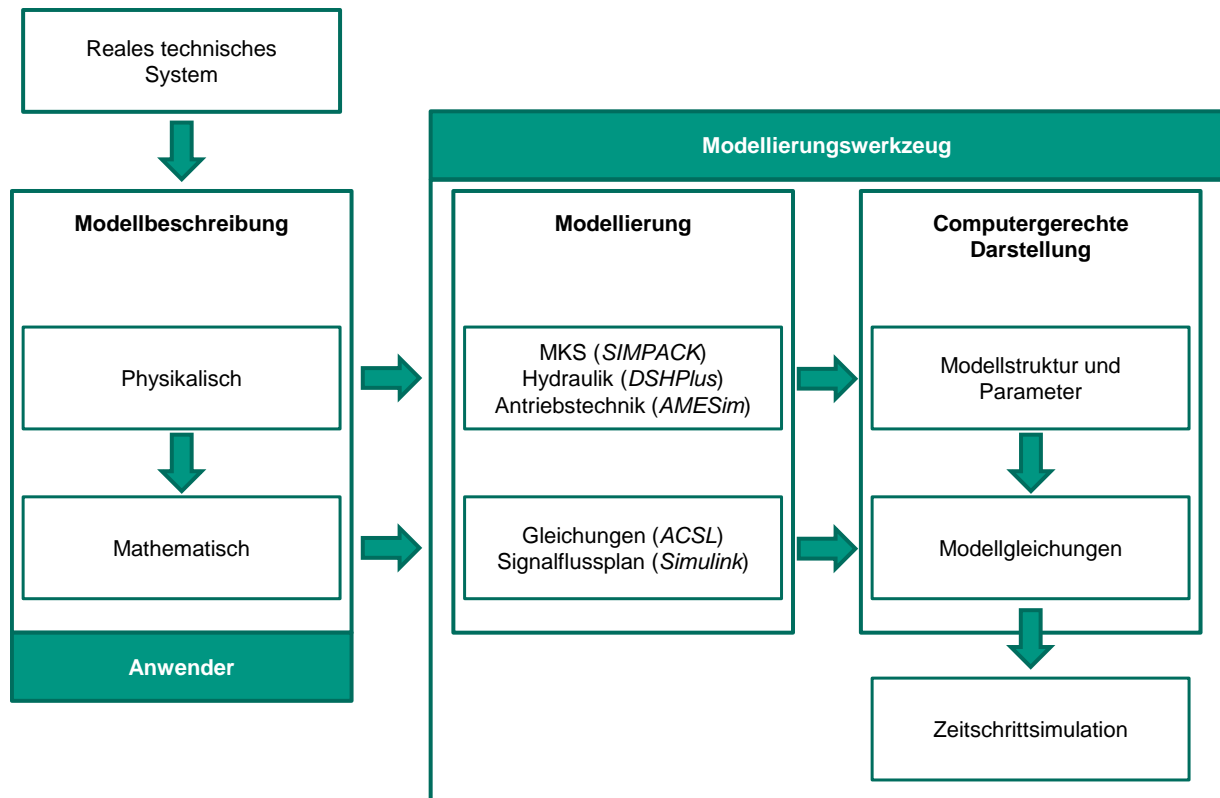
#### Abstract

Die Komplexität mechatronischer Produkte sowie auch der zunehmende Wettbewerbsdruck am globalisierten Markt setzen hohe Ansprüche an die Effizienz der Produktentstehungsprozesse deutscher Unternehmen. Die Anwendung von Simulationstools hat sich in diesem Zusammenhang in den vergangenen Jahren als ein Schlüsselfaktor zur Kosten- und Zeitersparnis in den Entwicklungsabteilungen erwiesen. Betrachtet man zusätzlich den Aspekt der heutzutage in Entwicklungs- und Zuliefernetzwerken stattfindenden Systementwicklungen, stellt hierbei besonders die Co-Simulation ein wichtiges Werkzeug dar. Das Ziel des am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) durchgeführten Verbundprojekts GUSMA ist es daher, die Co-Simulation für die unternehmensübergreifende Simulation nutzbar zu machen.

#### Modellierungsprozess in der Produktentwicklung

Bereits seit mehreren Jahrzehnten werden computergestützte Simulationen eingesetzt, um reale technische Systeme nachzubilden. Der Zweck liegt hierbei insbesondere darin, das Systemverständnis zu erhöhen, Optimierungen am System durchzuführen oder dessen Verhalten vorherzusagen [1]. Dieser Mehrwert an Informationen soll im Produktentwicklungsprozess zu einer Reduktion von Entwicklungszeit und –kosten bei gleichzeitiger Steigerung der Produktqualität führen.

Um ein reales System in der Simulation computergerecht darzustellen, gilt es, dieses in einem Ersatzmodell abzubilden. Die hierfür notwendige Beschreibung der Modelle erfolgt in einem mehrstufigen Prozess und kann je nach Anforderung und Betrachtungsweise in verschiedene Modellierungsarten eingeteilt werden. In diesem Beitrag wird der Fokus auf der Unterscheidung von mathematischer und physikalischer Modellbeschreibung gelegt. Gemäß **Abbildung 1** wird als erster Schritt vom Anwender eine Modellbeschreibung durchgeführt. Hierfür wird zumeist ein physikalisches Ersatzmodell vom realen System abgeleitet. Auf Basis des vereinfachten (physikalischen) Modells kann das Modell auf mathematische Weise beschrieben werden.



**Abbildung 1** - Beschreibungsformen und Modellierungsprozess (in Anlehnung an [1])

Eine wesentliche Herausforderung hierbei ist es, die Modellierungsart in Abhängigkeit vorhandener Ressourcen zu wählen, unter welchen insbesondere die vorhandene Software, Hardware, wie auch das Know-How der Ingenieure genannt seien. Anschließend muss das Ersatzmodell in Abhängigkeit des Modellierungswerkzeuges und der vorangegangenen Modellbeschreibung implementiert werden. Letztendlich erzeugen Software-interne Algorithmen in Anschluss an die Modellierung eine computergerechte Darstellung des Systems. Insofern das Modell in einer physikalischen Modellierungsumgebung erstellt wurde, stellt sich diese in Form einer Software-spezifischen Modellstruktur mit entsprechenden Parametern dar. Die für die Berechnung notwendigen Modellgleichungen werden intern von dieser Struktur oder im Falle der mathematischen Modellierung direkt beispielsweise aus den Gleichungen, beziehungsweise dem Signalflussplan abgeleitet.

Von diesen Modellgleichungen ausgehend können Analysemethoden durchgeführt werden, beispielsweise in Form von einer Zeitschrittsimulation. Auf diese Weise können die gewünschten Effekte in der Simulation für ein (Teil-)System dargestellt werden.

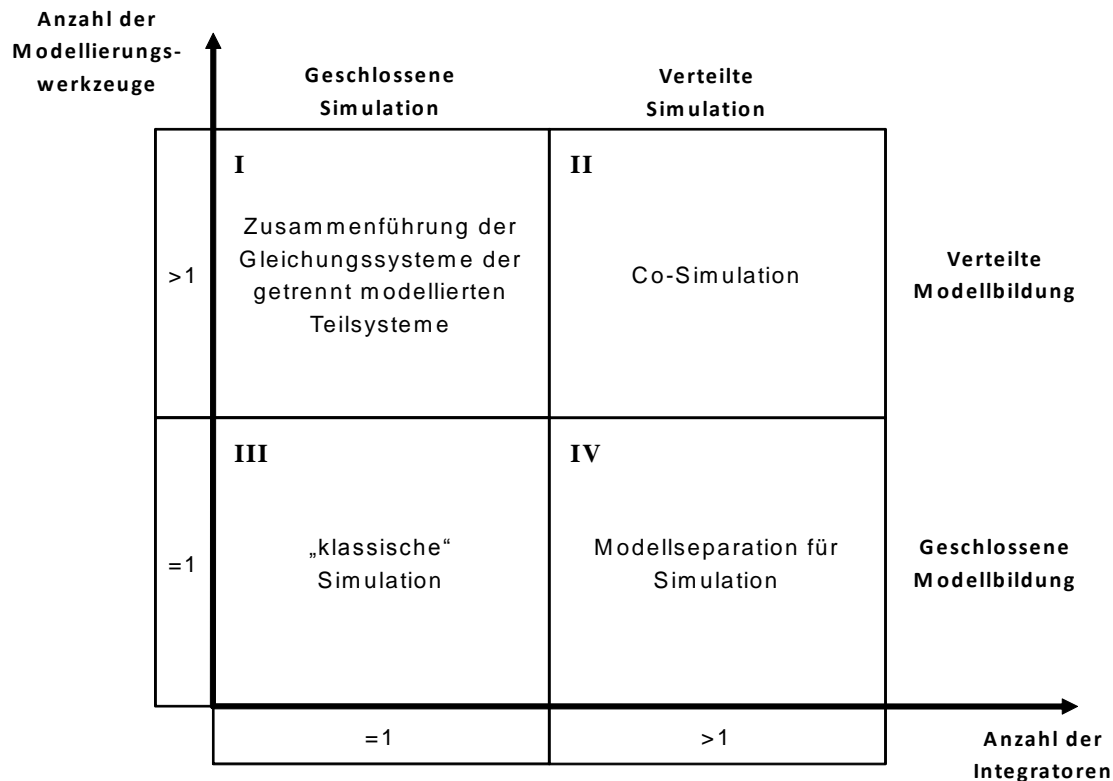
### Modellierung im Kontext einer Gesamtsystembetrachtung

Aus Sicht eines mechatronischen Gesamtsystems ergibt sich die Anforderung, die spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Domänen Mechanik, Hydraulik, Steuerung et cetera entsprechend der Bedürfnisse des Benutzers zu modellieren. Neben den wie in Abbildung 1 gezeigten mathematisch basierten Modellbeschreibungen, welche zum Beispiel in Form von Gleichungssystemen oder als Signalflussplan dargestellt werden können, existiert eine Vielzahl an spezialisierten Softwaretools zur physikalischen Beschreibung. Viele davon haben sich aus dem spezialisierten Fachgebiet heraus im Laufe der Zeit zu sogenannten Multidomain-Tools weiterentwickelt. Diese bieten die Möglichkeit komplette mechatronische Systeme in einem Simulationswerkzeug abzubilden. Ebenso erwähnt seien die Softwareprogramme, welche explizit zur Multidomain-Modellierung geschaffen wurden. Als ein Beispiel seien hier auf der Modelica-Sprache basierte Systeme genannt.

Die bisher genannte Modellbildungsform bezieht sich auf die Modellierung mit einem



Modellierungswerkzeug unter Benutzung eines darauf optimierten Integrators. Nach [2] wird dies in Abhängigkeit der beiden genannten Bezugsgrößen als „klassische“ Simulation bezeichnet.



**Abbildung 2** - Modellbildungsvarianten nach [2]

Für die Gesamtsystemsimulation bestehen allerdings weitere Modellierungsvarianten. Diese werden in **Abbildung 2** veranschaulicht. Abhängig von der Anzahl der Modellierungswerkzeuge unterscheidet man zwischen geschlossener und verteilter Modellbildung, wobei bei ersterer ein Modellierungswerkzeug und bei zweiterer mehrere Werkzeuge verwendet werden. Je nach Anwendungsgebiet werden für ein Gesamtsystem die Integratoren beziehungsweise die Solver von nur einem oder auch mehreren Tools verwendet. So unterscheidet man analog zur Anzahl der Modellierungswerkzeuge zwischen geschlossener und verteilter Simulation. Sehr häufig werden unter den vier möglichen Varianten die „klassische“ Simulation – Fall III – und die Co-Simulation - Fall II - verwendet.

### Chancen und Herausforderungen der gekoppelten Simulation

Nach [2] definiert sich eine Co-Simulation darüber, dass mindestens zwei Softwaretools miteinander gekoppelt werden und dabei mindestens zwei unterschiedliche Integratoren verwendet werden. Ein Gesamtsystem wird dann durch Kopplung der Teilsysteme simuliert. Hierbei werden die Teilmodelle aus ihren jeweiligen Simulationsumgebungen exportiert und auf einer gemeinsamen Plattform zu einem Gesamtmodell gekoppelt. Die Co-Simulation erfolgt in einer Master-Slave-Beziehung mit der Plattform als Master und den beteiligten Simulationsprogrammen als Slaves. Die Teilmodelle kommunizieren über entsprechende Schnittstellen mit der Plattform und liefern festgelegte Austauschgrößen zentral an den Master.

In Bezug auf eine „klassische“ Simulation birgt die gekoppelte Simulation als Modellbildungsvariante gewisse Herausforderungen. Eine Grundvoraussetzung für die Co-Simulation ist die Kompatibilität der Teilmodelle. Bereits mit der Wahl der



Simulationsumgebung muss sichergestellt sein, dass sich alle Teilmodelle in der Co-Simulation untereinander oder zumindest mit der als Master identifizierten Umgebung verständigen können. Des Weiteren müssen die Teilmodelle in den zu übergebenden Ein- und Ausgangsgrößen aufeinander abgestimmt sein. Dies impliziert sowohl die Anzahl der Parameter und Variablen, als auch deren Übergabe in einem einheitlichen Format. Als Beispiel hierfür wäre die Einheit der Variablen oder der Faktor einer Einheit zur entsprechenden SI-Einheit zu nennen. Insbesondere beim Modellaustausch über Unternehmensgrenzen hinweg spielt dies eine wichtige Rolle. An dieser Stelle sei auch der Know-How-Schutz der Teilmodelle erwähnt.

Während des Simulationsprozesses selbst bedarf es insbesondere einer zeitlichen Koordination der beteiligten Softwareprogramme. Der Kommunikationsaufwand, sowie die in vielen Fällen zu verwendende feste Schrittweite bedingt als Konsequenz meist höhere Rechenzeiten, als dies bei Multi-Domain-Umgebungen der Fall ist.

Für den Engineering-Prozess jedoch bietet die Anwendung einer gekoppelten Simulation Vorzüge, welche in [3] als Modellierungs-, Engineering- und Effizienzvorteil zusammengefasst werden. Diese sind wie folgt beschrieben:

- *Modellierungsvorteil:* Mit Hilfe einer Co-Simulation können unterschiedliche physikalische Disziplinen in dafür optimierten Simulationstools aufgebaut und bearbeitet werden. Die Spezialisierung der Programme gestattet es zudem, Modelle mit hohem Detaillierungsgrad aufzubauen.
- *Effizienzvorteil:* Jedes Teilmodell kann in der jeweiligen Modellierungsumgebung mit einer optimierten Schrittweite integriert werden. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die Teilmodelle stark unterschiedliche Frequenzen aufweisen.
- *Engineeringvorteil:* Der Aufbau eines Gesamtsystems aus verschiedenen Teilmodellen bietet eine hervorragende Grundlage für die Arbeitsteilung über Abteilungs- oder gar Unternehmensgrenzen hinweg. Durch die parallele Modellierung der unterschiedlichen Subsysteme trägt die Co-Simulation im Sinne des Simultaneous Engineering, wie auch des Collaborative Engineerings seinen Teil zur Optimierung von Entwicklungsprozessen bei.

Abgesehen davon, dass für jedes Fachgebiet ein hierfür spezialisiertes Simulationsprogramm eingesetzt werden kann, ist es dem Anwender weiterhin möglich in seiner gewohnten Simulationsumgebung zu arbeiten. Das Einarbeiten in weitere Softwarepakete ist somit hinfällig.

Obwohl gewisse Herausforderungen beim Durchführen einer Co-Simulation bestehen, erscheint diese als Modellbildungsvariante viel versprechend. Insbesondere zeigen die unter dem Modellierungs- und Engineeringvorteil genannten Aspekte das Potenzial auf, die gekoppelte Simulation unternehmensübergreifend im Entwicklungsprozess einzubinden.

## Das Verbundprojekt GUSMA

Mit dem Hintergrund, dass sich die unternehmensübergreifende Co-Simulation als Modellierungsvariante im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen bisher noch nicht durchgesetzt hat, wurde am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) das Verbundprojekt GUSMA initiiert. Ein zentrales Ziel ist es, diese für die genannte Branche nutzbar zu machen. GUSMA steht für „**G**ekoppelte **U**nternehmensübergreifende **S**imulation **M**obiler **A**rbeitsmaschinen zur Virtualisierung der Produktentstehung“. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) im Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Campus Nord, betreut. Projektbeginn war der 01.08.2008 und Projektende ist der 31.12.2011.

Die Branche der mobilen Arbeitsmaschinen ist gekennzeichnet durch die Entwicklung hoch komplexer Produkte. Hohe Vielfalt an Produktvarianten und geringe Stückzahlen, welche bis



hin zur individuellen Einzelfertigung reichen können, setzen hohe Ansprüche an die Effizienz der stark von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) geprägten Branche.

Der Einsatz von Simulationstechniken im Bereich der Produktentwicklung hat sich auch auf diesem Gebiet bewährt. Oft haben sich hier auf ihr Fachgebiet spezialisierte Simulationsprogramme durchgesetzt. Für eine Gesamtsystem- oder Gesamtfahrzeugbetrachtung ist es jedoch erforderlich, die Funktionsweise der domänen-spezifischen Teilmodelle kombiniert zu betrachten. Daher soll als ein zentrales Ziel im Projekt GUSMA die Zusammenarbeit in Entwicklungs- und Zuliefernetzwerken insbesondere im Bereich von KMU gestärkt werden, indem der Einsatz der gekoppelten Simulation unternehmensübergreifend nutzbar gemacht wird. Für diesen Zweck wurde eine Standardschnittstelle für den Datenaustausch von Teilmodellen definiert, sowie eine standardisierte Vorgehensweise für den Aufbau einer gekoppelten Simulation eingeführt. Weiterhin soll im Projekt eine Empfehlung zur Wahl eines geeigneten Detaillierungsgrades erstellt werden.

Die Durchführung des Projekts erfolgt in einem Zusammenschluss aus

- einem Forschungsinstitut, dem Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen, KIT,
- einem OEM, der AGCO GmbH/Fendt,
- einem Zulieferer, der HYDAC SYSTEM GmbH und
- mehreren Software-Unternehmen, der Fluidon GmbH, LMS Deutschland GmbH und der SIMPACK AG.

Die Kooperation der genannten Projektteilnehmer und der ständige Austausch tragen zur durchgängigen Validierung der Praxistauglichkeit der erzielten Forschungsergebnisse bei. Durch die Einbindung der erwähnten Software-Unternehmen wird darüber hinaus die Umsetzbarkeit der standardisierten Vorgehensweise geprüft. Gleichzeitig wird die Integration der notwendigen Software-Funktionalitäten sichergestellt.

In Zusammenarbeit mit den genannten Projektpartnern wird der Standard entwickelt und anhand einer hydropneumatischen Traktorvorderachsfederung mit Niveauregulierung validiert. Dabei werden teilparametrierbare Modelle in bedarfsgerechten Detaillierungsgrad von Zulieferern erstellt und an den Fahrzeughersteller geliefert, dessen Rolle in diesem Fall das Mobima übernimmt. Die Validierung der Projektergebnisse findet sowohl virtuell als gekoppeltes Simulationsmodell, als auch durch praktische Versuche am Prüfstand statt.

## Die GUSMA-Plattform

Die Grundlage für die Entwicklung eines solchen Standards ist der Gedanke an eine Plattform, welche den Anwender sowohl während des Aufbaus des Gesamtsystems, zum Beispiel bei der Parametrierung, wie auch bei der Simulation und im Post-Processing durch die Visualisierung von Simulationsergebnissen unterstützt. Neben der Austauschbarkeit der Teilmodelle soll ebenso eine zentrale Datenverwaltung integriert werden.

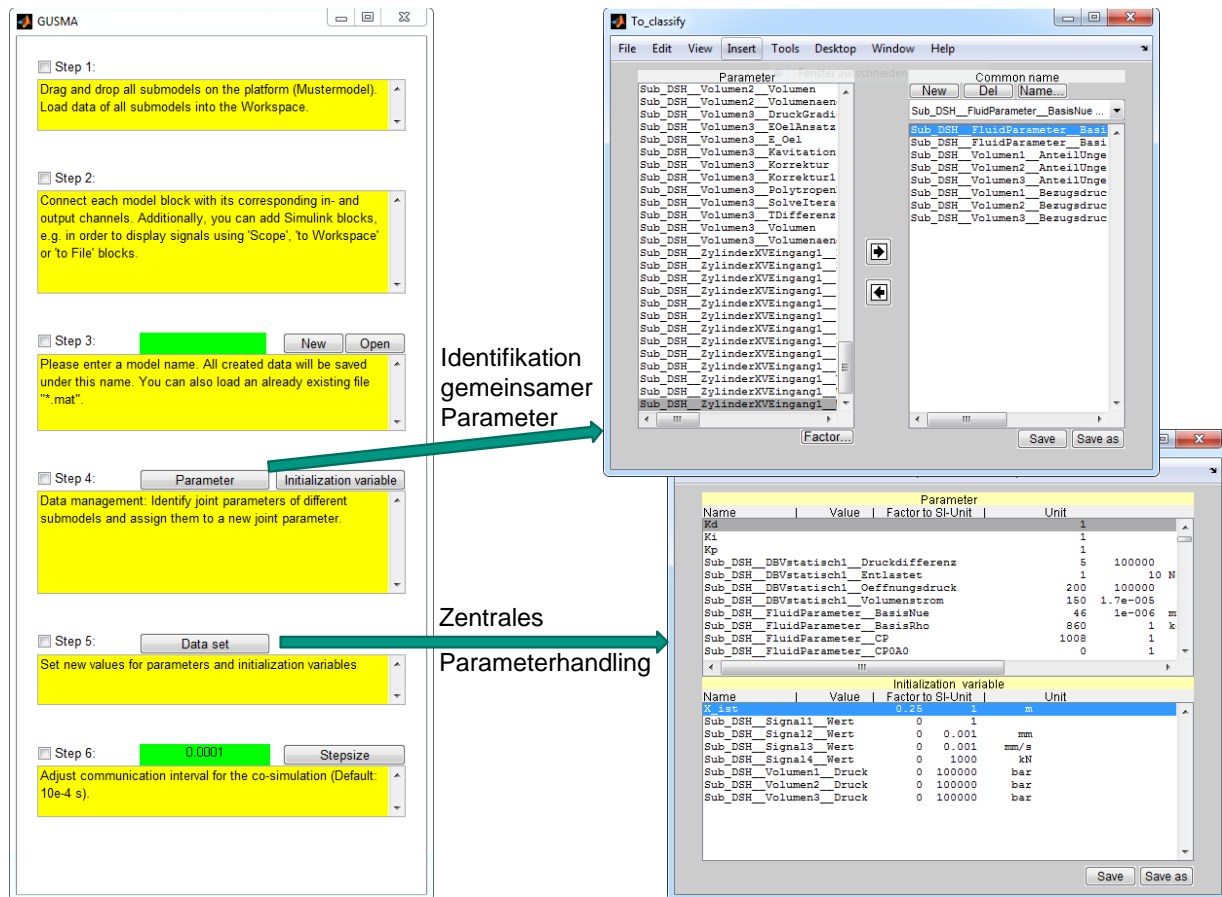
Als Basis für die GUSMA-Plattform wurde Mathwork's Matlab/Simulink gewählt. Die weite Verbreitung der Software am Markt, sowie die Tatsache, dass viele Simulationswerkzeuge bereits ein bestehendes Interface zu Matlab/Simulink anbieten, soll der einfachen Anwendung des GUSMA-Standards dienen. Somit wird der Vorteil der Co-Simulation zu Nutzen gemacht, dass der Anwender in gewohnten Softwareumgebungen arbeiten und für die Gesamtsystemsimulation keine neue Software erlernen muss. Ebenso können die Möglichkeiten der Visualisierung von Matlab/Simulink mitgenutzt werden.

Als Austauschdatenspeicher zwischen den gekoppelten Softwaresystemen dient der Matlab Workspace. Auf diese Weise soll eine langfristige Kompatibilität und Versionsunabhängigkeit der verschiedenen Softwaretools erreicht werden. Im Workspace werden alle Austauschdaten (Parameter und Initialisierungsvariablen) nach einem Standardformat als Structure eingeschrieben. In der Structure werden die Informationen Value, Unit, Factor und Marker übergeben. „Value“ gibt den aktuellen Wert eines gegebenen Parameters oder einer Initialisierungsvariable an. „Unit“ gibt die von einer Software übergebene Einheit an. Diese wird zusammen mit dem Factor, welche den Faktor zur entsprechenden SI-Einheit angibt,



übergeben. Der Marker gibt an, ob es sich bei der übergebenen Größe um einen Parameter oder eine Initialisierungsvariable handelt.

Für die standardisierte Vorgehensweise bei der gekoppelten Simulation wurde eine grafische Benutzeroberfläche (Graphical User Interface, GUI) entworfen, welches den Anwender Schritt für Schritt beim Aufbau einer gekoppelten Simulation unterstützt. **Abbildung 3** zeigt dieses GUI.



**Abbildung 3** - Grafische Benutzeroberfläche der GUSMA-Plattform

Im ersten Modellierungsschritt werden alle Teilmodelle auf die Plattform gezogen. Im Hintergrund werden automatisch die Parameter der Teilmodelle eingelesen. Im Projekt GUSMA wird zwischen drei Parametergruppen unterschieden - geschützte, änderbare und gemeinsame Parameter. Geschützte Parameter sind nur für den Ersteller eines Teilmodells zugänglich und auf der Plattform nicht sichtbar. Mit ihrer Hilfe soll das Know-how geschützt werden. Änderbare Parameter können auf der Plattform eingesehen und geändert werden (z.B. Blendengröße). Dadurch sollen Optimierungsrechnungen ermöglicht werden. Die gemeinsamen Parameter gehören zu den änderbaren Parametern, die in allerdings verschiedenen Teilmodellen verwendet (z.B. Zylinderlänge) und daher im Gesamtsimulationsmodell einheitlich definierbar und änderbar sein sollen.

Im zweiten Schritt werden die einzelnen Teilmodelle entsprechend ihrer Ein- und Ausgabegrößen grafisch miteinander verbunden. Als weiterer Bestandteil des GUSMA-Standards soll ein Modellblock die übergebenen Zustandsvariablen direkt am In- und Output mit Variablennamen angeben. Dies verbessert die Übersichtlichkeit und erleichtert den Aufbau eines Gesamtsystems. Elemente aus der Simulink-Bibliothek, wie beispielsweise Visualisierungs- oder Speichermöglichkeiten, können ergänzt werden.

Im dritten Schritt soll der Nutzer bei einem neuen Modell einen Dateinamen für die während der Modellerstellung erzeugten Parameterdateien eingeben. Alternativ können gespeicherte bzw. unterschiedliche Parametersätze aufgerufen werden.



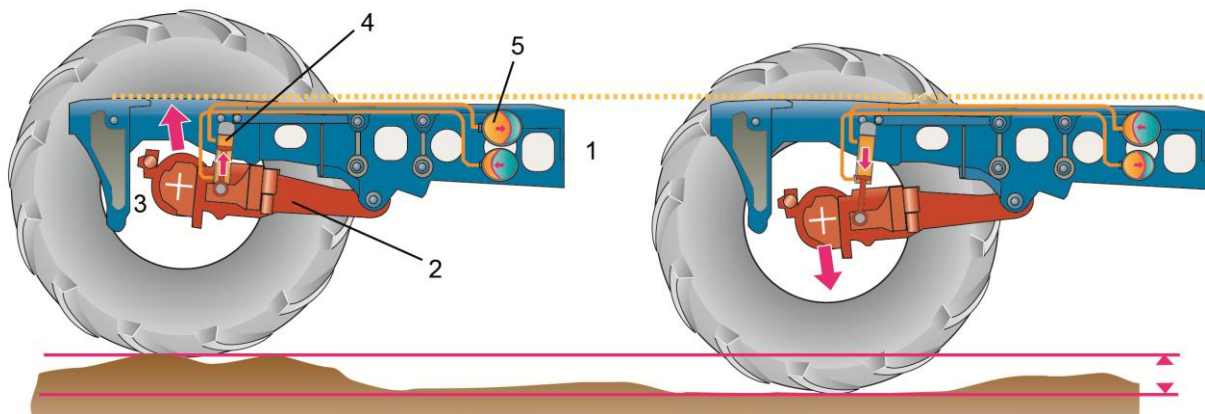
Im vierten Schritt erhält der Anwender die Möglichkeit, die für ihn sichtbaren Parameter zu verwalten, indem er die gemeinsamen Parameter identifiziert und diesen einen gemeinsamen neuen Parameter zuweisen kann. Dies gilt gleichermaßen für die Initialisierungsvariablen. Mit diesen werden die Startwerte von Zustandsgrößen festgelegt, also beispielsweise ein Startdruck oder eine Startposition. Die beiden letzten Schritte dienen der Unterstützung des Simulationsprozesses an sich.

Im Schritt fünf besteht die Möglichkeit, die Werte der änderbaren und gemeinsamen Parameter, sowie Initialisierungsvariablen festzulegen oder zu ändern. Der sechste Schritt dient dem Festlegen des Kommunikationsintervalls für die Simulation. Dieses bestimmt die Zeitpunkte, wann die einzelnen Teilmodelle miteinander kommunizieren und Daten austauschen. Das Kommunikationsintervall wird somit zentral für alle an der Co-Simulation beteiligten Softwareprogramme vorgegeben.

Nach der Ausführung der beschriebenen Schritte kann die Simulation mit dem Start-Knopf der Simulink-Plattform durchgeführt werden.

### Die hydropneumatische Vorderachsfederung als Referenzprozess

Die hydropneumatische Vorderachsfederung besteht aus mechanischen, hydraulischen und Regelungs-Elementen. **Abbildung 4** zeigt das Prinzip einer solchen Traktorvorderachse. An einer Rahmenkonstruktion (1) ist die Federschwinge (2) angebracht, die eine Federung der Vorderachse ermöglicht. Die Pendelachse (3) lässt eine Pendelbewegung der Vorderachse zu. Die Federwirkung der Vorderräder wird durch zwei Hydraulikzylinder (4) ermöglicht. Diese sind jeweils an zwei Hydrospeicher (5) angeschlossen, so dass zwischen Zylinder und Hydrospeicher ein Ölaustausch stattfinden kann. Die Federwirkung wird erzielt, indem der Federungszyylinder Öl in den Hydrospeicher verdrängt und dadurch das Gasvolumen komprimiert (Gasfeder). Die Dämpfung der Federung ergibt sich beim Fließen des Öls durch die Rohrleitung bzw. durch eingebaute Blenden.

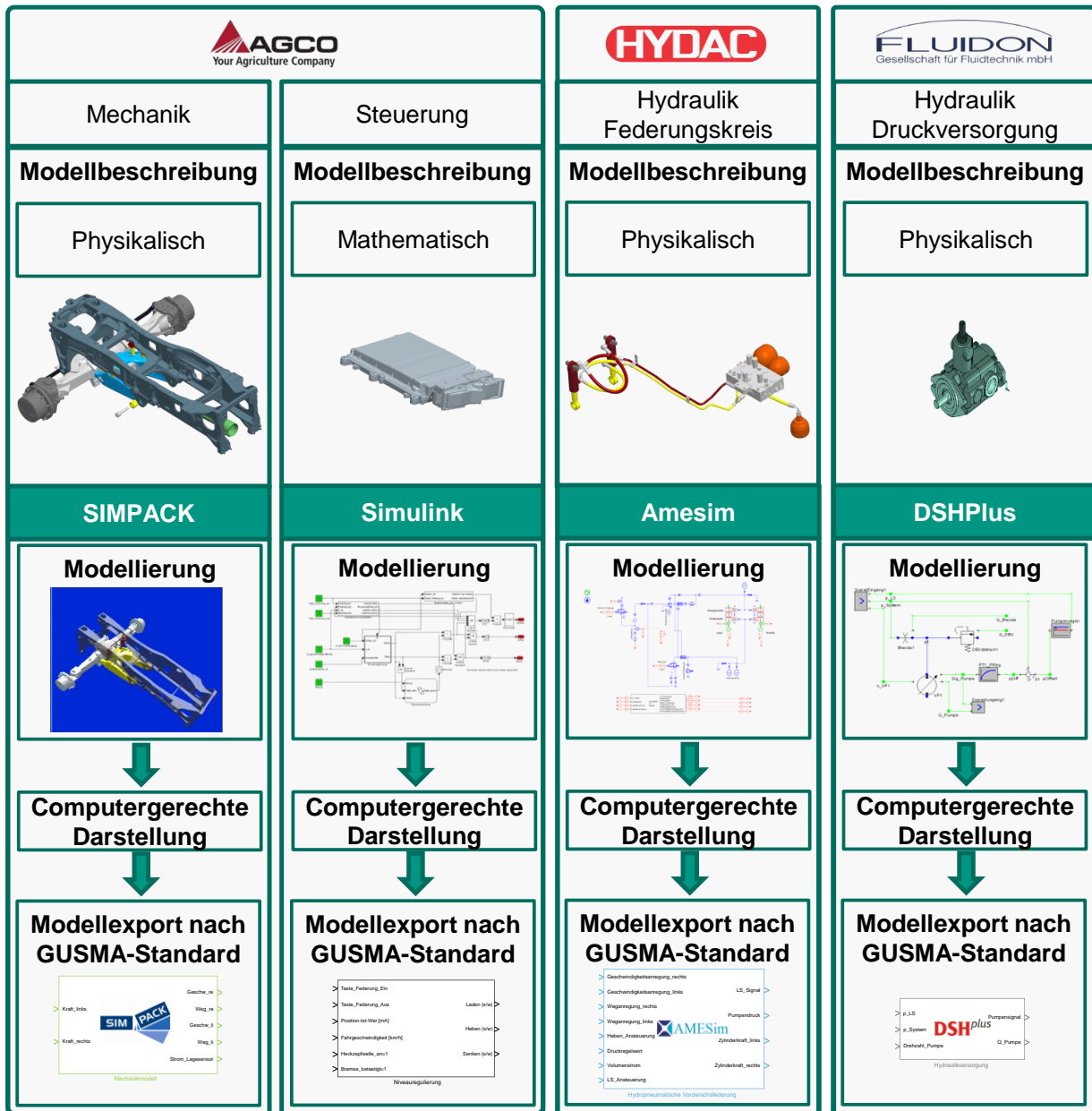


**Abbildung 4** - Prinzipbild einer hydropneumatischen Traktorvorderachsfederung

Für die Simulation wird die hydropneumatische Vorderachsfederung entsprechend der realen Aufteilung von Zulieferer und Fahrzeughersteller und somit auch anhand der beteiligten Ingenieursfachdisziplinen in Teilmodelle zerlegt. **Abbildung 5** zeigt das Vorgehen im Projekt GUSMA für den standardisierten unternehmensübergreifenden Modellierungsprozess.

Es existieren ein Steuerungs-, ein Mechanik- und zwei Hydraulikmodelle. Zwei Hydraulikmodelle entstehen, da die hydraulische Druckversorgung und die hydropneumatische Federung von unterschiedlichen Zulieferern stammen.

In Anlehnung an den in Abbildung 1 gezeigten Modellierungsprozess erstellt die Firma AGCO das Mechanik-, sowie das Steuerungsmodell. Dies erfolgt in den jeweiligen Fachabteilungen mit den Programmen SIMPACK und Simulink. Die Firma HYDAC liefert das in Amesim erstellte Hydraulikmodell für den Federungskreis und die Firma Fluidon als fiktiver Zulieferer in diesem Fall das Hydraulikmodell für die Druckversorgung.



Import voll funktionsfähiger und parametrierter Teilmodelle per Drag & Drop

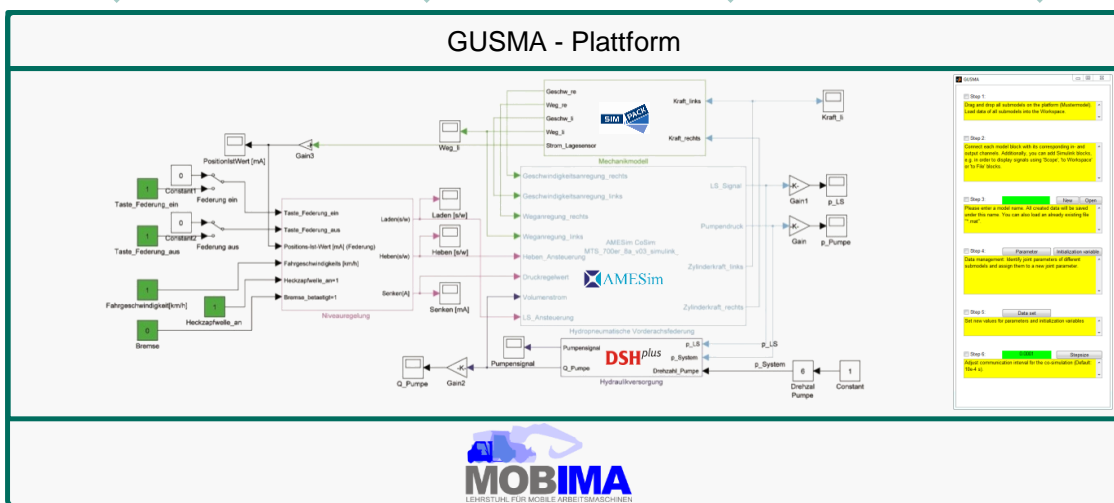


Abbildung 5 – Vorgehen bei standardisiertem unternehmensübergreifenden Modellierungsprozess





Jedes Unternehmen kann hierbei den Detaillierungsgrad entsprechend der Anforderungen an das Gesamtsystem anpassen und die zu übergebenden beziehungsweise die zu schützenden Parameter und Variablen auswählen. Die computergerechte Darstellung läuft Software-spezifisch innerhalb jedes Modellierungswerkzeuges ab.

Anschließend wird ein Modellexport nach Matlab/Simulink nach dem oben beschriebenen GUSMA-Standard durchgeführt. Auf diese Weise werden funktionsfähige und parametrisierte Teilmodelle erzeugt, die direkt per Drag & Drop auf der GUSMA-Plattform eingefügt werden können. Im Anschluss werden am Mobima - in der Rolle als Fahrzeughersteller - gemäß dem oben beschriebenen Vorgehen die Teilmodelle zum Gesamtsimulationsmodell der Vorderachsfederung zusammen gebaut.

## Zusammenfassung und Fazit

Vor dem Hintergrund die Co-Simulation für den Zweck der unternehmensübergreifenden Simulation nutzbar zu machen, wurde das Verbundprojekt GUSMA am Mobima initiiert. Hierfür wurde eine Simulationsplattform auf Basis von Matlab/Simulink entwickelt, welche die Vorgehensweise bei der Durchführung einer Co-Simulation standardisiert und eine intuitive Handhabung derselben gewährleistet. Auf diese Weise soll dem Ingenieur die Anwendung einer gekoppelten Simulation vereinfacht und der Engineering Prozess unternehmensübergreifend unterstützt werden. Die Validierung der Software-Plattform wird am Beispiel einer hydropneumatischen Vorderachsfederung eines Traktors mit Niveauregulierung vorgenommen. Dies findet sowohl virtuell auf der entwickelten Plattform, als auch durch praktische Versuche am Prüfstand statt.

Der im Projekt GUSMA beschriebene Modellierungsprozess, bei welchem Teilmodelle entsprechend ihrer Domänen-spezifischen Herkunft auf eine Plattform gezogen und zusammengesetzt werden, ist der der physikalischen Modellierung bei Multidomain-Softwaresystemen ähnlich. Durch eine im Projekt definierte Standardschnittstelle können diese Modelle jedoch abteilungs- und unternehmensübergreifend ausgetauscht und unabhängig von der ursprünglichen Modellierungsumgebung weiterverwendet werden. Dieser Aspekt eröffnet neue Möglichkeiten, um die Expertise von Hersteller und Zulieferer bereits in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses zu bündeln. Auf diese Weise kann die unternehmensübergreifende Simulation in hohem Maß zur Zeit- und Kosteneinsparung im Entwicklungsprozess beitragen.

Der GUSMA Standard wird als VDMA-Richtlinie veröffentlicht werden. Dieser befindet sich derzeit in der Ausarbeitung und wird ab Ende des Jahres 2011 zur Verfügung stehen.

## Literaturverzeichnis

[1] *Dronka, S.*: Die Simulation gekoppelter Mehrkörper- und Hydraulik-Modelle mit Erweiterung für Echtzeitsimulation; Shaker-Verlag, 2004, Aachen.

[2] *Geimer, M., Krüger, T., Linsel, P.*: Co-Simulation, gekoppelte Simulation oder Simulationskopplung? Ein Versuch der Begriffsvereinheitlichung. O+P 50, 2006, Nr. 11-12, S. 572-576

[3] *Schweizer, B., Busch, M.*: Numerische Ansätze zur gekoppelten Simulation; Vortrag Fluidon Konferenz, 2009, Aachen.