

Andreas Rüdener, Song Han und Marcus Geimer

# Optimierung des Entwicklungsprozesses mobiler Arbeitsmaschinen mithilfe standardisierter Co-Simulation

Die Komplexität mobiler Arbeitsmaschinen sowie wirtschaftliche Rahmenbedingungen – verhältnismäßig geringe Produktionsvolumen bei hoher Variantenanzahl – beeinflussen deren Produktentwicklung maßgeblich. Die Produktentwicklung findet hauptsächlich in mittelständigen Unternehmen statt, an die hohe Anforderungen gestellt werden, um sich am Markt zu behaupten. Ein vielversprechender Ansatz ist es, die Unternehmen in Hersteller-Zulieferer-Netzwerken durch den Einsatz virtueller Prototypen enger miteinander zu verknüpfen und somit eine Zeit- und Kostenersparnis zu erzielen. Im Rahmen des Verbundprojektes GUSMA wurde am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen am Karlsruher Institut für Technologie eine Co-Simulationsplattform entwickelt, welche den unternehmensübergreifenden Aufbau von virtuellen Prototypen unterstützt.

## Schlüsselwörter

Virtuelle Produktentwicklung, Co-Simulation, unternehmensübergreifend, GUSMA, Mechatronik

## Keywords

Virtual product development, co-simulation, cross-company, GUSMA, mechatronics

## Abstract

Rüdener, Andreas; Han, Song and Geimer, Marcus

Optimization of the development process of mobile machines using a standardized co-simulation

Landtechnik 67 (2012), no. 2, pp.122–126, 3 figures, 2 references

The complexity of mobile machines as well as economic conditions, as relatively low output volumes at a high number of product variants, have a great influence on the development of those machines. In order to operate successfully on the market, there are high requirements concerning the efficiency of the product development process of these companies,

which are mainly characterized by small- and medium-sized businesses. One promising approach is to establish close OEM-supplier-networks by using cross-company virtual prototypes. This way, time and cost savings can be achieved. In the joint research project GUSMA, a co-simulation platform, which enables the build-up of cross-company virtual prototypes, has been developed at the Chair of Mobile Machines at the Karlsruhe Institute of Technology.

■ Bei der Entwicklung von mobilen Arbeitsmaschinen stellt die zunehmende Komplexität immer höhere Anforderungen an einen effizienten Ablauf des Entwicklungsprozesses – sei es bei Detailoptimierungen auf Komponentenebene oder im Hinblick auf das Gesamtsystem. Auf jeder Produktebene muss sichergestellt sein, dass die jeweiligen Funktionen erfüllt werden. Um dies bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung gewährleisten zu können, hat sich der Einsatz von Simulationswerkzeugen bewährt. Mithilfe dieser Werkzeuge können beispielsweise Tests, die zu teuer oder zu gefährlich wären, virtuell durchgeführt werden. In den Entwicklungsabteilungen können mit Unterstützung der Simulation somit deutlich weniger physische Versuchsmodelle und Prototypen angefertigt werden und damit Zeit und Materialkosten gespart werden.

Um aber mittels Simulation fundierte Aussagen über das zu entwickelnde Produkt treffen zu können, ist es erforder-

lich, das Know-how aller Entwicklungspartner frühestmöglich in den Entwicklungsprozess mit einzubinden. Je nach Fertigungstiefe eines Unternehmens befindet sich das Wissen über einen gewissen Teil des Systems allerdings bei den Zulieferern. Vielversprechend ist in diesem Fall der Ansatz, einen virtuellen Prototyp in Zusammenarbeit von Hersteller und Zulieferer aufzubauen. Durch den unternehmensübergreifenden Austausch validierter Teilmodelle kann somit die Ergebnisqualität bei der Simulation eines virtuellen Prototyps enorm gesteigert und gleichzeitig der individuelle Aufwand zum Aufbau und zur Parametrierung eines Gesamtsystems gesenkt werden.

Da in den Unternehmen aber je nach Fachrichtung unterschiedliche Simulationswerkzeuge vorhanden sind, ist eine naheliegende Option, zugelieferte Teilmodelle in einer sogenannten gekoppelten Simulation (auch: Co-Simulation) zu einem Gesamtsystem aufzubauen. Diese bietet den Vorteil, dass Teilmodelle in spezialisierten Simulationstools und in geeignetem Detaillierungsgrad abgebildet werden können. Weiterhin können bei der gekoppelten Simulation die optimierten Solver der jeweiligen Modellierungswerkzeuge mit genutzt werden und gleichzeitig die Integrationsschrittweite eines Teilmodells an den geforderten Detaillierungsgrad des Modells angepasst werden [1]. Vor dem Hintergrund, dass sich die Co-Simulation bisher im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen noch nicht als Werkzeug für unternehmensübergreifende Produktentwicklung durchgesetzt hat, liegt bei dem erwähnten Potenzial die Forderung nahe, diese für die genannte Branche nutzbar zu machen.

### Das Projekt GUSMA

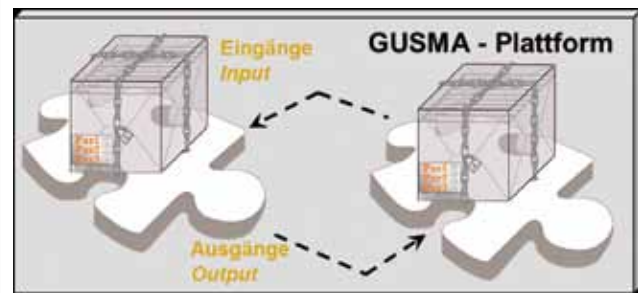
Das Projekt GUSMA – Gekoppelte Unternehmensübergreifende Simulation Mobiler Arbeitsmaschinen zur Virtualisierung der Produktentstehung – wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) im Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Campus Nord, betreut. Das Projekt begann am 01.08.2008 und endete am 31.12.2011. Ziel des Projekts war es, die unternehmensübergreifende Co-Simulation mobiler Arbeitsmaschinen nutzbar zu machen.

Um die Co-Simulation als Werkzeug für die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit im Produktentstehungsprozess einsetzen zu können, stand die Standardisierung im Fokus. Die Standardisierung beruhte im Projekt auf drei Säulen: einem Plattformgedanke, einer Standard-Datenschnittstelle und einer Standard-Vorgehensweise. Besonderer Wert wurde auch auf den Schutz des Know-hows beim Modellaustausch gelegt.

### Der Plattformgedanke

Ausgangspunkt im Projekt war der Gedanke einer Plattform, auf welcher die gekoppelte Simulation durchgeführt werden kann (**Abbildung 1**). Das zu simulierende System sollte dabei in Teilmodelle unterschiedlicher Fachdisziplinen oder in Teilmodelle unterschiedlicher Hersteller/Zulieferer aufgeteilt werden. Die einzelnen Teilmodelle können in fachgebietspe-

Abb. 1



Plattformkonzept im Projekt GUSMA

Fig. 1: Platform concept in the project GUSMA

zifischen Simulationsprogrammen erzeugt und in einem zur Plattform kompatiblen Format exportiert werden. Durch den Export auf die Plattform und die damit verbundene Umwandlung des Teilmodells wurde der Know-how-Schutz realisiert. Idealerweise sollte neben dem geschützten Teilmodell auch der passende Solver mitexportiert werden, sodass jedes Teilmodell autark lauffähig ist.

Als Basis für die Plattform wurde Matlab/Simulink der Firma Mathworks gewählt. Die weite Verbreitung dieses Softwarepakets in der Industrie und die Tatsache, dass zahlreiche kommerzielle Simulationsprogramme bereits eine Schnittstelle zu Matlab/Simulink anbieten, trugen wesentlich zur Auswahl bei. Dies soll die einfache Anwendbarkeit der GUSMA Plattform garantieren und eine Gelegenheit besonders für kleine und mittlere Unternehmen darstellen, die Co-Simulation unternehmensübergreifend im Entwicklungsprozess einsetzen zu können.

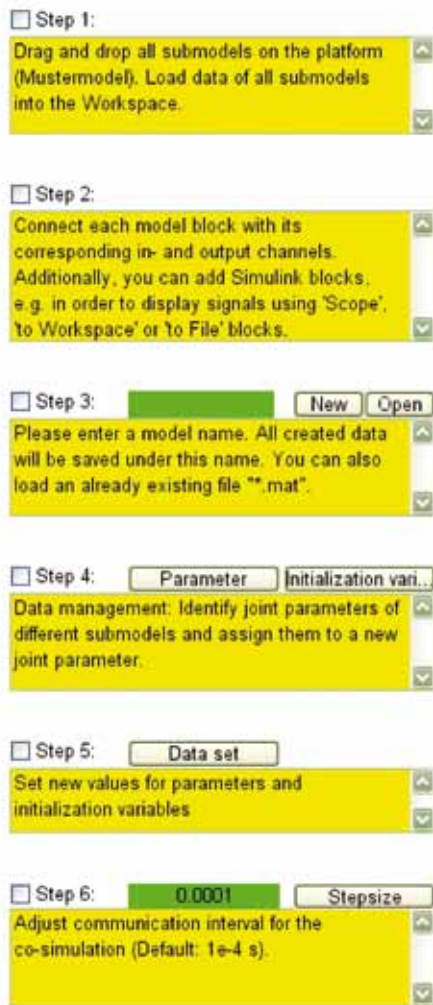
### Definition einer Standard-Datenschnittstelle

Für den Datenaustausch wurde der Workspace von Matlab als Datenspeicher festgelegt. Als zentrales Element in Matlab gewährleistet dies insbesondere eine versionsunabhängige sowie nahezu wartungsfreie Lösung. Alle für eine Simulation freigegebenen Daten – Parameter und Initialisierungsvariablen – werden beim Import eines Teilmodells in den Workspace geschrieben oder von dort ausgelesen. Als Übergabegrößen für den Datenaustausch wurden außer dem Namen auch der Wert der Größe, der Faktor zur entsprechenden SI-Einheit, die Einheit selbst und ein Marker übergeben. Letzterer legt fest, ob es sich um einen Parameter oder eine Initialisierungsvariable handelt.

### Einführen einer standardisierten Vorgehensweise zum Aufbau einer Co-Simulation

Um den Aufbau einer Co-Simulation auf der GUSMA-Plattform effizient zu gestalten, wurde eine standardisierte Vorgehensweise in einer grafischen Benutzeroberfläche (auch: Graphical User Interface – GUI) implementiert. Diese sieht sechs Schritte vor, die vom Benutzer ausgeführt werden müssen, um von den exportierten Teilmodellen zu einer funktionsfähigen Co-Simulation zu gelangen [2]. **Abbildung 2** zeigt dieses GUI.

Abb. 2



Standardisierte Vorgehensweise zum Aufbau einer Co-Simulation mit Hilfe einer grafischen Benutzeroberfläche

Fig. 2: Standardized procedure for building up a co-simulation with a graphical user interface

Im ersten Modellierungsschritt werden alle Teilmodelle auf die Plattform gezogen. Im Hintergrund werden automatisch die Parameter der Teilmodelle eingelesen. Im zweiten Schritt werden die einzelnen Teilmodelle entsprechend ihrer Ein- und Ausgabegrößen grafisch miteinander verbunden. 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 bei der Modellerstellung frei gegebenen Daten eingeben. Alternativ können gespeicherte bzw. unterschiedliche Datensätze aufgerufen werden. Im vierten Schritt erhält der Anwender die Möglichkeit, die für ihn frei gegebenen Daten zu verwalten, indem er die gemeinsamen Parameter oder Initialisierungsvariablen identifiziert und diesen einen gemeinsamen neuen Datensatz zuweisen kann. Die gemeinsamen Parameter oder Initialisierungsvariablen sind veränderbare

Daten, welche in verschiedenen Teilmodellen verwendet (z. B. eine Zylinderlänge oder der Vorspannungsdruck mehrerer hydraulischer Knoten) und daher im Gesamtsimulationsmodell einheitlich gesetzt werden sollen. Die beiden letzten Schritte dienen der Unterstützung des Simulationsprozesses. Im Schritt fünf besteht die Möglichkeit, Werte für änderbare und gemeinsame 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.

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

### Umsetzung der Projektziele

Die Durchführung des Projekts erfolgte in einem Zusammenschluss aus

- einem Forschungsinstitut, dem Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima), 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 trugen zur durchgängigen Validierung der Praxistauglichkeit der erzielten Forschungsfortschritte bei. Durch die Einbindung der erwähnten Software-Unternehmen wurde darüber hinaus die Umsetzbarkeit der standardisierten Vorgehensweise geprüft. Gleichzeitig wurde die Integration der notwendigen Software-Funktionalitäten sichergestellt.

### Unternehmensübergreifende Co-Simulation einer Traktorvorderachse

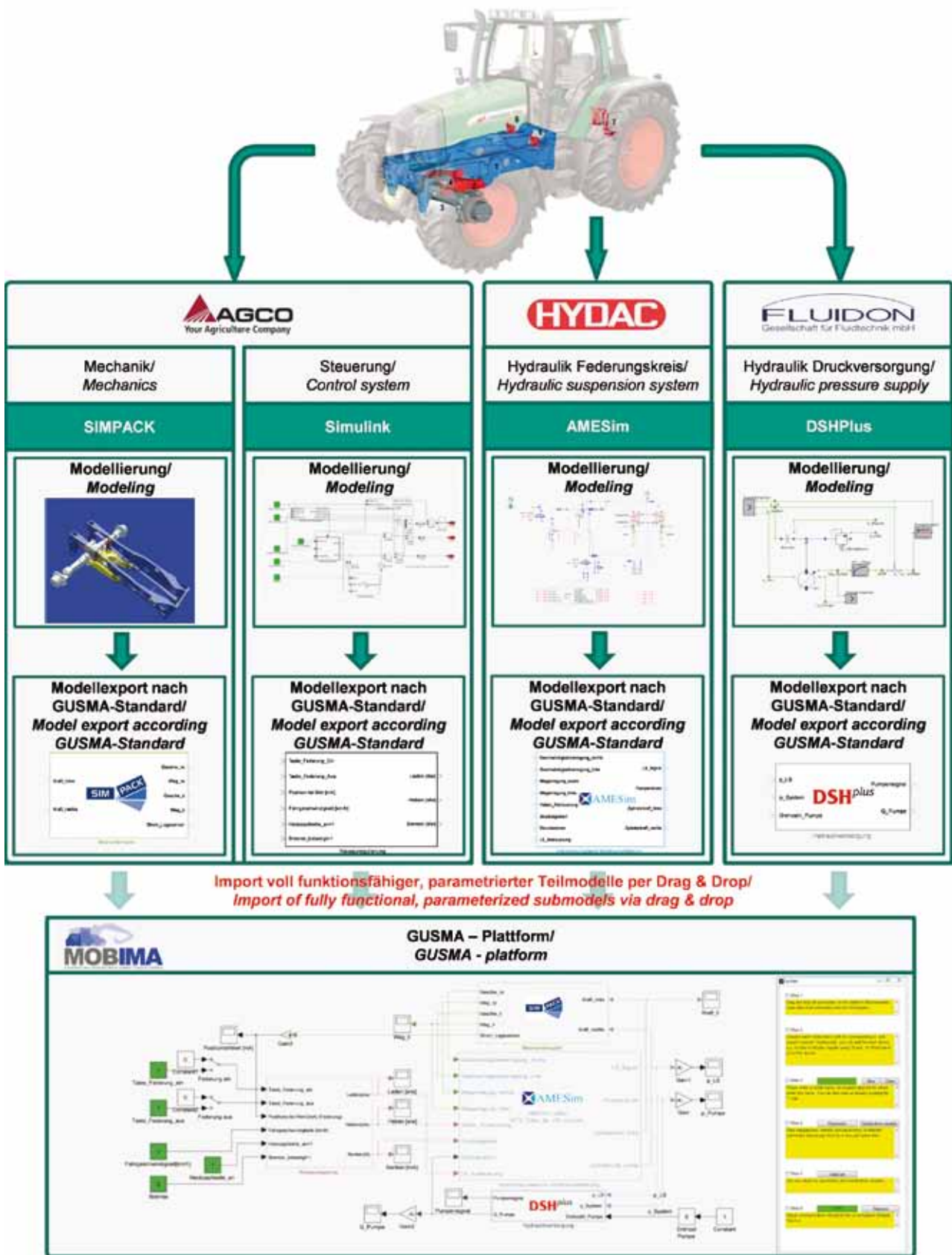
Die standardisierte Vorgehensweise für die gekoppelte Simulation wurde am Beispiel einer hydropneumatischen Traktorvorderachsfederung mit Niveauregulierung validiert.

Für die Simulation wurde die hydropneumatische Vorderachsfederung, wie in **Abbildung 3** zu sehen, entsprechend der realen Aufteilung von Zulieferer und Fahrzeughersteller und somit auch anhand der beteiligten Ingenieursfachdisziplinen in Teilmodelle zerlegt. Es ergaben sich ein Steuerungs-, ein Mechanik- und zwei Hydraulikmodelle. Zwei Hydraulikmodelle entstanden deshalb, da die hydraulische Druckversorgung und die hydropneumatische Federung von unterschiedlichen Zulieferern stammen. Nach erfolgter Arbeitsaufteilung wurden die jeweiligen Teilmodelle in den Unternehmen modelliert und entsprechend dem GUSMA-Standard exportiert. Die Simulation des Gesamtsystems erfolgte durch das Mobima, welches in diesem Fall die Rolle des Fahrzeugherstellers übernahm. Dort wurden die einzelnen Teilmodelle entsprechend der oben beschriebenen Schritte zum Gesamtsystem aufgebaut und simuliert.

Anschließend wurde der virtuelle Prototyp der hydropneumatischen Vorderachsfederung auf der GUSMA-Plattform



Abb. 3



Unternehmensübergreifende Systementwicklung am Beispiel einer hydropneumatischen Traktorvorderachsfeuerung  
 Fig. 3: Cross-company system development at the example of a hydro-pneumatic front-axle suspension of a tractor

durch praktische Versuche am Prüfstand validiert. Die Ergebnisse wurden ausgewertet und zur Optimierung des Simulationsmodells verwendet.

### Schlussfolgerungen

Die Co-Simulation bietet sich als Hilfsmittel an, um virtuelle Prototypen durch abteilungs- oder unternehmensübergreifende Modellerstellung in der Produktentwicklung einzusetzen. Hierbei kann das Know-how eines Zulieferers genutzt werden, ohne dass dieser es offenlegen muss.

Im Verbundprojekt GUSMA wurde eine Möglichkeit geschaffen, um die Co-Simulation als unternehmensübergreifendes Werkzeug zu nutzen. Dies wurde im Projekt im Wesentlichen durch die Standardisierung der Co-Simulation erreicht. Hierfür wurde eine Simulationsplattform auf Basis von Matlab/Simulink entwickelt. Diese unterstützt den Benutzer mit einer definierten Vorgehensweise beim Aufbau der Co-Simulation und integriert Möglichkeiten zur Handhabung des Gesamtmodells. Der im Projekt eingearbeitete Schutz von Teilmodellen unterstreicht die Forderung zur unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit.

Die Validierung der Softwareplattform wurde am Beispiel einer hydropneumatischen Traktorvorderachsfederung mit Niveauregulierung vorgenommen. Dies fand sowohl virtuell auf der entwickelten Plattform als auch durch praktische Versuche am Prüfstand statt.

Durch die im Projekt erarbeitete Plattform können Teilmodelle 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 Kostenoptimierung im Entwicklungsprozess beitragen.

Der GUSMA Standard wird als VDMA-Richtlinie veröffentlicht werden. Dieser befindet sich derzeit in der Ausarbeitung und wird ab Mitte des Jahres 2012 zur Verfügung stehen. Interessenten können sich an das genannte Institut wenden.

### Literatur

- [1] Schweizer, B.; Busch, M. (2009): Numerische Ansätze zur gekoppelten Simulation. Fluidon Konferenz 2009., Fluidon GmbH, 10.-11.11.2009, Aachen
- [2] Han, S.; Rüdener, A.; Geimer, M. (2011): Die GUSMA-Plattform: In sechs Schritten zum virtuellen Produkt. Mobile Maschinen 2, S. 32-34

### Autoren

**Dipl.-Ing. Andreas Rüdener** und **Dipl.-Ing. Song Han** sind akademische Mitarbeiter am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen des Instituts für Fahrzeugsystemtechnik (Leitung: **Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer**) am Karlsruher Institut für Technologie, Rintheimer Querallee 2, 76131 Karlsruhe, E-Mail: andreas.ruedener@kit.edu.

### Danksagung

Der Lehrstuhl für mobile Arbeitsmaschinen bedankt sich beim BMBF und dem PTKA für die Förderung und Unterstützung, wie auch bei allen Projektpartnern für die erfolgreiche Zusammenarbeit.