

# Simulationsgestützte Planung energieeffizienter Produktionssysteme

Sigrid Wenzel,  
Frederik Halfar,  
Carsten Pöge und  
Sven Spieckermann

Die wachsende Bedeutung der Energieeffizienz in der Produktion bedingt auch ihre adäquate Berücksichtigung in der Produktions- und Logistikplanung. Die Automobilindustrie sieht daher die Notwendigkeit, eine energetische Bewertung in die Modelle der Digitalen Fabrik zu integrieren. Der Beitrag beschreibt ein mögliches Integrationskonzept, stellt die implementierte technische Lösung vor, diskutiert Einsatzmöglichkeiten sowie ein Anwendungsbeispiel.\*)

## Einleitung

Bei der Planung und dem Betrieb von Produktions- und Logistiksystemen kommt heute der Energieeffizienz – als einem wichtigen Aspekt der Wirtschaftlichkeit – eine wachsende Bedeutung zu. Die Simulation als unterstützendes Planungswerkzeug auf Basis einer dynamischen Betrachtung der Prozesse und Systeme muss daher nicht nur den Material- und Informationsfluss, sondern auch die Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen Information, Material und Energie berücksichtigen. Hier setzt das vom Land Hessen geförderte Forschungsprojekt „SimEnergy – Simulationsgestützte Planung und Bewertung der Energieeffizienz für Produktionssysteme in der Automobilindustrie“ (HA-Projekt-Nr.: 369/13–08) an, das sich zum Ziel gesetzt hat, eine Integrationsplattform zur ganzheitlichen energetischen Bewertung von Produktions- und Logistikprozessen zu entwickeln und damit die in den jewei-

gen Fachdisziplinen etablierten Simulationswerkzeuge für eine gemeinsame Nutzung zu verknüpfen. Die Projektbeteiligung des Automobilherstellers Volkswagen AG sowie der Unternehmen Limón GmbH und SimPlan AG ist ein Indikator für die Praxisrelevanz der Entwicklungen.

## Projektidee

Aufgrund der Komplexität von Produktionssystemen haben sich Simulationen als Hilfsmittel für eine wirtschaftliche Produktionssystemplanung längst etabliert. Das zunehmende Interesse der Industrie an energie- und ressourceneffizienten Produktionen führt zu der Zielsetzung, auch eine Bewertung von Energieflüssen in Verknüpfung mit einem vollständigen Produktionsprozess zu ermöglichen.

Bisherige Lösungsansätze betrachten Energie und Materialfluss getrennt voneinander oder beschränken sich auf die Nachbildung des Energieverbrauchs in der Produktion ohne Berücksichtigung möglicher bidirektionaler Wechselwirkungen zwischen Energieverbrauch einerseits und Produktionsprozess und Materialfluss andererseits (vgl. z.B. [1–3]). Das hier vorgestellte Forschungsvorhaben SimEnergy verfolgt dagegen einen ganzheitlichen Modellierungsansatz, der energetische und produktionstechnische Faktoren bidirektional miteinander verknüpft. Grundlegende Idee des Projekts ist es, die produktionsrelevanten Energieflüsse einerseits und die Produktions- und Logistikprozesse andererseits wie bisher auch über getrennte Modelle abzubilden, sodass die Model-

lerstellung durch die jeweiligen Fachspezialisten mit den in ihrer Anwendungsdomäne etablierten Simulationswerkzeugen erfolgen kann. Sobald die Betrachtung von Wechselwirkungen zwischen den Modellen geplant ist, werden die Modelle gekoppelt. Aufgrund der Ermittlung der die Produktion betreffenden energetisch relevanten Faktoren über komplexe thermodynamische Kreisläufe kommt für die energetische Simulation MATLAB/Simulink zum Einsatz. Für die Modellerstellung und Simulation der Produktions- und Logistikprozesse wird das in der Automobilindustrie am häufigsten eingesetzte ereignisdiskrete Simulationswerkzeug Plant Simulation (vgl. [4], S. 252) verwendet. Auch der Forschungspartner Volkswagen AG setzt für den Bereich der simulationsgestützten Ablaufplanung dieses Werkzeug standardmäßig ein.

Mit der gekoppelten Simulation wird die technische Grundlage geliefert, um Verbesserungspotenziale in Anwendungsfällen, die komplexe Wechselwirkungen zwischen thermodynamischen und produktionstechnischen Abläufen beinhalten, effizient zu analysieren.

## Implementierungskonzept

Zur Umsetzung der Zusammenführung von Materialfluss- und Energiesimulationsmodellen haben die Projektpartner eine Modellkopplung über eine Integrationsplattform konzipiert. Dieses Konzept bietet den Vorteil, dass vorhandene und unabhängig voneinander erstellte Materialfluss- oder Energieflussmodelle auch weiterhin getrennt und unabhängig voneinander verwendet werden können. Bei

### \*) Danksagung

Die in diesem Beitrag dargestellten Ergebnisse entstanden im Rahmen eines Forschungsvorhabens der SimPlan AG, der Limón GmbH, der Volkswagen AG und des Fachgebietes Produktionsorganisation und Fabrikplanung der Universität Kassel. Das vom 01.04.2013 bis zum 31.03.2015 laufende Projekt mit dem Titel „Simulationsgestützte Planung und Bewertung der Energieeffizienz für Produktionssysteme in der Automobilindustrie“ (HA-Projekt-Nr.: 369/13–08) wurde im Rahmen von Hessen ModellProjekte aus Mitteln der Energietechnologieoffensive Hessen gefördert.

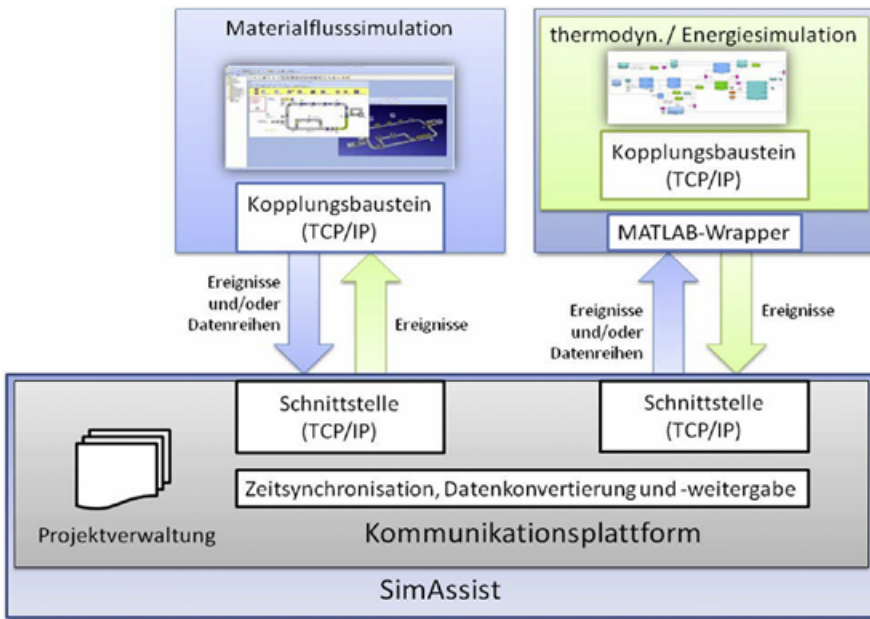


Bild 1. Konzept zu den Kommunikationsschnittstellen zwischen Materialfluss- und Energiesimulation

Bedarf werden sie dann über die Plattform zusammengeführt. Bild 1 skizziert die wesentlichen Komponenten des implementierten Ansatzes. Beide Modelle (Materialfluss und Energiefluss) werden um geeignete Kommunikationsbausteine erweitert, die auf den TCP/IP-Standard zurückgreifen. Beim Simulationswerkzeug MATLAB/Simulink war es erforderlich, die Kommunikationsbausteine in ein eigenständiges Programm einzubetten, den sogenannten MATLAB-Wrapper, das den Datenaustausch mit dem Simulator steuert und die Kommunikation mit der Integrationsplattform abwickelt.

Mithilfe der Integrationsplattform wird definiert, welche Daten die Modelle austauschen, in welchen Schritten sich die beiden Modelle synchronisieren und wie lange ein Simulationslauf dauern soll. Darüber hinaus werden Eingabewerte (Initialwerte) festgelegt, die den Modellen beim Start übergeben werden. Ferner koordiniert die Plattform die Kommunikation der Modelle. Zunächst werden beim Start eines Simulationslaufs die Initialwerte an die Simulatoren übergeben. Zur Laufzeit werden dann die definierten Daten zwischen den Modellen ausgetauscht (und auf Wunsch protokolliert). Außerdem wird der Zeitfortschritt in den beiden Modellen synchronisiert, was konkret heißt, dass jeweils das schnellere Modell auf das langsamere warten muss. Nach dem Ende eines Simulationslaufs können Ergebnisdaten in die Plattform übernommen und dort weiter bearbeitet und ausgewertet werden.

Zur Implementierung der Integrationsplattform konnten die Projektpartner auf die Software SimAssist zurückgreifen, die unter anderem bei Volkswagen für das Management von Simulationsprojekten eingeführt wird (vgl. hierzu auch [5]). SimAssist stellt alle erforderlichen Funktionen für das Anlegen und Verwalten von Projekten und für die Aufbereitung von Ergebnisdaten zur Verfügung. Der modulare Aufbau ermöglicht es, Funktionen einfach und flexibel (als sogenannte PlugIns, bei denen es sich technisch um einbindende Bibliotheken, Dynamic Link Libraries

(DLLs), handelt) zu ergänzen. Im Rahmen von SimEnergy ist ein entsprechendes PlugIn entstanden, das die beschriebenen Kommunikationsfunktionen unterstützt. Bild 2 vermittelt einen Eindruck davon, wie sich SimAssist und das SimEnergy-PlugIn dem Anwender darstellen.

Die gewählte Implementierung ermöglicht die Kopplung unterschiedlicher Modelle auf Basis der bereits erwähnten Simulationswerkzeuge Plant Simulation und MATLAB/Simulink. Es ist lediglich zu definieren, welche Parameter zwischen den Modellen ausgetauscht werden sollen, und natürlich muss in beiden Modellen dasselbe Verständnis hinsichtlich der Bedeutung (Semantik) der auszutauschenden Daten vorliegen. Darüber hinaus können aber auch mit anderen Simulatoren erstellte Modelle einfach verknüpft werden. Einzige technische Voraussetzung ist, dass die Simulatoren über TCP/IP kommunizieren können und die im Rahmen von SimEnergy verwendeten Telegramme unterstützen.

### Anwendungsmöglichkeiten und Anwendungsbeispiel

Für die entwickelte Softwarelösung als gekoppelte Simulation ergeben sich verschiedene Arten der Anwendung; hierzu zählen:

- Verhaltensprognosen,
- bedarfsgerechte Dimensionierung der begleitenden Prozesstechnik (Anlagenkühlung, Medienbereitstellung)

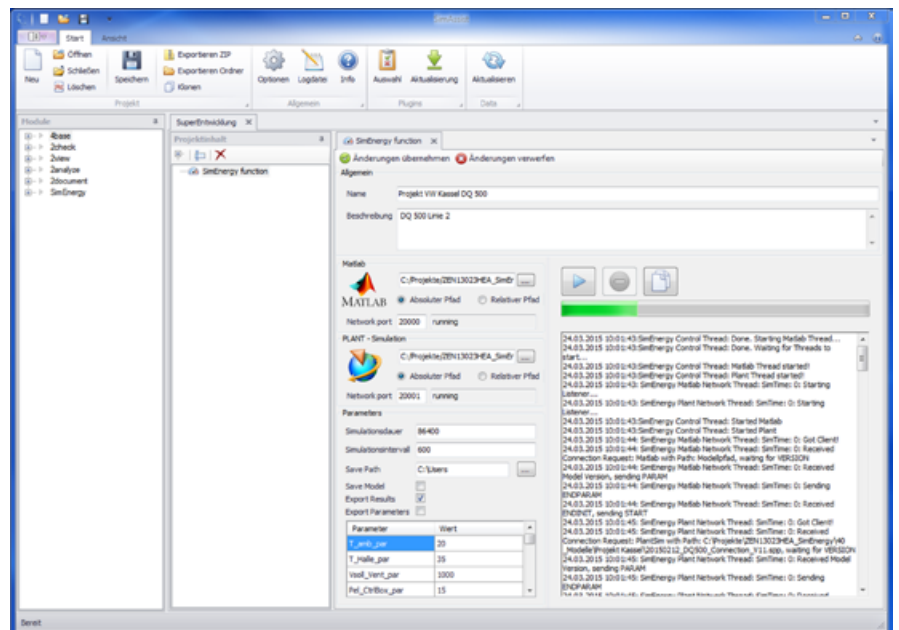


Bild 2. SimEnergy-PlugIn in der Software SimAssist

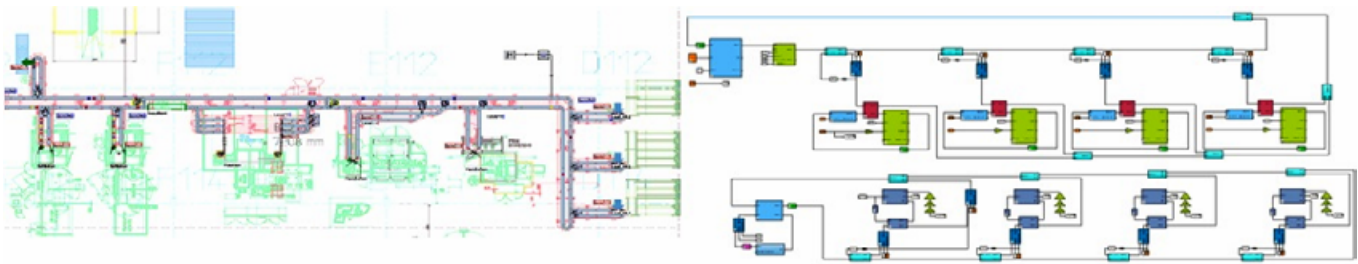


Bild 3. Modellausschnitte aus dem Materialfluss- und dem Hallenmodell für den Volkswagen Standort Kassel/Baunatal

unter Berücksichtigung produktions-spezifischer Vorgaben,

- Verbesserung des Produktionsablaufes unter Einhaltung energetischer Rahmenbedingungen sowie
- Entwicklung von energetisch- und produktionstechnisch optimierten Regelungs- und Steuerungslogiken.

Die Erprobung der entwickelten Softwarelösung erfolgt unter anderem an einem Anwendungsbeispiel aus dem Volkswagen Werk in Kassel/Baunatal. Der gewählte Fertigungsbereich des Anwendungspartners umfasst einen Teil der Getriebeteilfertigung mit Dreh-, Fräs-

und Schleifprozessen. Für die Produktion benötigen die Maschinen Energie zur Bereitstellung von Kühlmedien und Kühlschmierstoffen. Während Materialfluss und Bearbeitungsschritte in Plant Simulation modelliert sind, werden die Aufbereitung und Bereitstellung der Kühlmedien und Kühlschmierstoffe im Energiemodell abgebildet (vgl. Bild 3, links und rechts).

Die Kopplung der beiden Modelle erfolgt über die entwickelte Plattform (vgl. Bild 1). Bei der gekoppelten Simulation übermittelt das Materialflussmodell dem Energiemodell jeweils die Betriebszu-

standswechsel für die Maschinen. Im Energiemodell werden anhand der jeweils neuen Betriebszustände fortlaufend die Temperatur des Kühlwasserkreislaufs und – daraus abgeleitet – die Temperatur in den Schalt-schranke berechnet. Steigt die Temperatur zu weit an, kann ein stabiler Betrieb der Schalt-schranke für die Maschinen nicht mehr gewährleistet werden. Mithilfe der gekoppelten Modelle kann der Betreiber eine gezielte Analyse von An- und Abschaltstrategien für die Maschinen durchführen. Dabei können insbesondere auch die Konsequenzen unterschiedli-

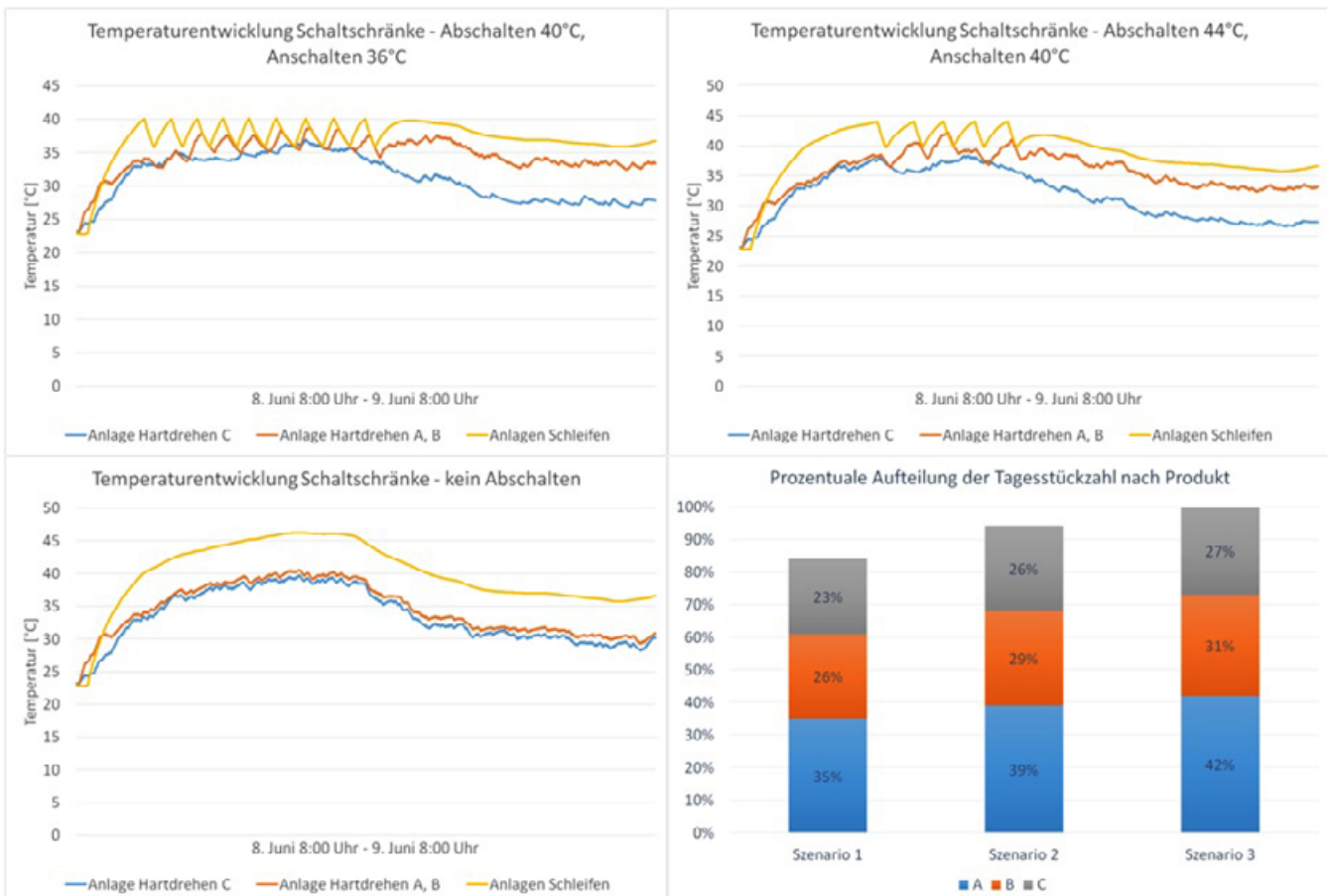


Bild 4. Beispielhafte Ergebnisse der gekoppelten Modelle

cher Vorgehensweisen bei der Abschaltung auf die Ausbringung in der Produktion untersucht werden.

Bild 4 stellt exemplarisch drei Vorgehensweisen bei der Abschaltung inklusive der resultierenden Temperaturentwicklung in den Schaltschränken der Maschinen und die sich ergebenden Stückzahlen der Produkte A, B und C gegenüber. Dabei wird dem Energiemodell als exogener Einfluss der Temperaturverlauf eines Frühsommertages in Kassel aus dem Juni 2014 vorgegeben. Im linken oberen Teil des Bildes sind die Temperaturverläufe dargestellt, die sich ergeben, wenn die Maschinen abschalten, sobald 40°C in den Schaltschränken erreicht werden, und wieder anschalten, sobald die Temperatur auf 36°C gefallen ist. Im rechten oberen Teil ist ein Beispiel mit Eingriffsgrenzen von 44°C und 40°C gezeigt. Der linke untere Teil in Bild 4 zeigt, dass die Temperaturen in den Schaltschränken der Schleifmaschinen ohne Eingriffsgrenzen und Abschaltung für einen längeren Zeitraum auf mehr als 45°C ansteigen, was das Risiko ungeplanter Abschaltungen deutlich erhöht. Der rechte untere Teil in Bild 4 macht das mit den Abschaltungen verbundene Stückzahlrisiko deutlich, das gemäß Modellrechnung bei rund 15 Prozent in drei Schichten bei Szenario 1 liegt.

## Zusammenfassung und Ausblick

Die Betrachtung von Energie- und Medienverbräuchen in Modellen der Ablaufsimulation ist bei der Volkswagen AG bereits seit einiger Zeit möglich. Dazu existieren Funktionalitäten innerhalb des Automotive Bausteinkastens des Verbandes der Automobilindustrie (VDA) [6], einer Objektbibliothek für Plant Simulation, die bei der Volkswagen AG als Standard eingesetzt wird. Mithilfe der im Rahmen des Projekts SimEnergy entwickelten Lösung zur Kopplung der Materialflusssimulation mit einer ther-

modynamischen Simulation von z.B. Kühlwasserkreisläufen oder Hallentemperaturen ist es jetzt möglich, nicht nur den direkten Energieverbrauch von Anlagen zu erfassen und durch eine angepasste Steuerung zu verbessern, sondern auch die Wechselwirkungen der Produktion mit den angrenzenden Bereichen, wie z.B. der Halleninfrastruktur, zu untersuchen. Dies kann eine Grundlage für die Integration der Bereiche Produktions- und Fabrikplanung bilden und ist so ein wichtiger Schritt in die Richtung, Energieeffizienz neben Ausbringungsmenge und stabilen Prozessen als gleichrangiges Planungsziel zu etablieren.

Eine Aufgabe für die nächste Zukunft bleibt die Suche nach weiteren Anwendungsfällen mit einem hohen Potenzial für die beschriebene integrierte Betrachtung von Materialfluss und Energieverbrauch sowie die Validierung der Projektergebnisse an diesen Beispielen. Erste Schritte zur Etablierung des in diesem Artikel beschriebenen Vorgehens in die Prozesse bei der Volkswagen AG sind durch die Verwendung der im Konzerngesetzten Standardwerkzeuge Plant Simulation einschließlich des VDA Automotive Bausteinkastens und SimAssist bereits getan.

## Literatur

1. Junge, M.: Simulationgestützte Entwicklung und Optimierung einer energieeffizienten Produktionssteuerung. Reihe: Produktion & Energie. Bd. 1, Kassel Univ. Press, Kassel 2007
2. Schlegel, A.; Stoldt, J.; Putz, M.: Erweiterte Integration energetischer Betrachtungen in der Materialflusssimulation. 15. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik. In: Dangelmaier, W., Laroque, C. und Klaas, A. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik 2013. W.V. Westfalia Druck GmbH, Paderborn 2013, S. 187-196
3. Weinert, N.: Vorgehensweise für Planung und Betrieb energieeffizienter Produktionssysteme. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin. Fraunhofer-Verlag, Stuttgart 2010
4. Wenzel, S.; Peter, T.: Simulation zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit - Ergebnisse einer Umfrage zur Simulation in Produktion und Logistik. In: Friedewald, A.; Lödding, H. (Hrsg.): Produzieren in Deutschland. Wettbewerbsfähigkeit im 21. Jahrhundert. GITO Verlag, Berlin 2013, S. 243-264
5. Mayer, G.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: Steigerung der Produktivität in Simulationsstudien mit Assistenzwerkzeugen. ZWF 107 (2012) 3, S. 174-177
6. Mayer, G.; Pöge, C.: Auf dem Weg zum Standard - Von der Idee zur Umsetzung des VDA Automotive Bausteinkastens: 14. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik. In: Zülch, G.; Stock, P. (Hrsg.): Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe 2010, S. 29-36

## Die Autoren dieses Beitrags

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sigrud Wenzel leitet das Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung an der Universität Kassel.

Dipl.-Ing. Frederik Halfar ist Projekttingenieur für Simulation von Produktions- und Energiesystemen bei der Limón GmbH.

Dipl.-Kfm. Carsten Pöge ist Projektleiter für das Thema Ablaufsimulation in der Konzern IT der Volkswagen AG.

Dr. Sven Spieckermann ist Mitglied des Vorstands der SimPlan AG.

## Summary

**Simulation Based Planning of Energy Efficient Production Systems.** In consequence of its increasing importance energy efficiency has to be considered during production and logistics planning processes. Therefore, the automotive industry underlines the necessity to integrate the modelling and evaluation of energetic aspects into the digital factory approach. In this paper an integration approach for coupling discrete event material flow simulation with continuous energy simulation as well as the implemented technical solution are presented. Additionally, application fields and an use case are discussed.

Den Beitrag als PDF finden Sie unter:  
[www.zwf-online.de](http://www.zwf-online.de)  
 Dokumentennummer: ZW 111367