



Ralph Stelzer (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN 2016

Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung
und Konstruktionstechnik

Ralph Stelzer (Hrsg.) **ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN** 2016
Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Ralph Stelzer (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN 2016

Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung
und Konstruktionstechnik

Dresden · 30. Juni – 1. Juli 2016

Programmkomitee Virtuelle Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Prof. Dr. Ralph Stelzer, TU Dresden

Prof. Dr. Michael Abramovici, Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr. Reiner Anderl, TU Darmstadt

Prof. Dr. Martin Eigner, Universität Kaiserslautern

Prof. Dr. Detlef Gerhard, TU Wien

Prof. Dr. Jivka Ovtcharova, KIT Karlsruhe

Prof. Dr. Rainer Stark, TU Berlin

Prof. Dr. Sandor Vajna, Universität Magdeburg

Prof. Dr. Sandro Wartzack, Universität Erlangen

Entwickeln – Entwerfen – Erleben 2016.
Beiträge zur Virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Herausgeber: Ralph Stelzer

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche
Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the
Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

ISBN 978-3-95908-062-0

© 2016 w.e.b. Universitätsverlag & Buchhandel
Eckhard Richter & Co. OHG
Bergstr. 70 | D-01069 Dresden
Tel.: 0351/47 96 97 20 | Fax: 0351/47 96 08 19
<http://www.tudpress.de>

TUDpress ist ein Imprint von w.e.b.

Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.
Layout und Satz: Technische Universität Dresden.
Umschlaggestaltung: TU Dresden, Illustration © 2016 TU Dresden
Printed in Germany.

Erscheint zugleich auf QUCOSA der SLUB Dresden
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-203878>





KOMPLEXITÄT DREHT SICH IMMER NUR IM KREIS.



EINFACH TRIFFT ENTSCHEIDUNGEN.

Komplexität bremst Ihr Business aus. Denn je gewaltiger die Informationsflut, desto schwieriger die Entscheidungsfindung. SAP arbeitet daran, Dinge zu vereinfachen. Damit aus Daten Wissen und aus Wissen fundierte Entscheidungen werden, die Ihr Unternehmen weiterbringen. Finden Sie heraus, wie gemeinsam einfach möglich wird auf [sap.de/runsimple](https://www.sap.de/runsimple)



Run Simple

Das FEA-Assistenzsystem – Analyseteil FEdelM

Tobias C. Spruegel · Sandro Wartzack

Abstract

Die simulative Absicherung von Produkten in den frühen Phasen der Produktentwicklung wird immer wichtiger, um den Anforderungen nach steigender Effizienz gerecht zu werden. Da das Angebot an erfahrenen Berechnungsingenieuren mit langjähriger Berufserfahrung begrenzt ist gilt es weniger erfahrene Simulationsanwender bei der Durchführung von aussagekräftigen Finite-Elemente-Simulationen zu unterstützen. Die Autoren stellen im Rahmen des Beitrags das Konzept des Analyseteils FEdelM eines FEA-Assistenzsystems vor, welches strukturelle Finite-Elemente (FE) Simulationen auf Plausibilität überprüft und auftretende Fehler möglichst automatisiert zu erkennt und behebt. Hierbei werden die einzelnen Module und deren Verknüpfungen untereinander und zu anderen Anwendungen vorgestellt.

1 Motivation

Die Finite-Elemente-Methode trägt bereits wesentlich zur Verkürzung der gesamten Produktentwicklungszeit bei und stellt dabei in Kombination mit CAD eines der leistungsfähigsten Verfahren dar, um die Ingenieurarbeit in der Produktentwicklung zu rationalisieren und qualitativ zu optimieren (Klein 2015). Durch die stetige Zunahme der Benutzerfreundlichkeit der FE-Programme werden diese nicht mehr ausschließlich von erfahrenen Berechnungsingenieuren sondern auch von weniger erfahrenen Produktentwicklern und Konstrukteuren angewendet. Daher gilt es diese neuen Benutzergruppen bei der Durchführung, Auswertung und Interpretation von FE-Simulationen und FE-Ergebnisgrößen kontextsensitiv zu unterstützen.

Mit diesem Fokus ist die Zielsetzung des BFS Forschungsverbundes FORPRO, die Effizienzsteigerung der virtuellen Produkt- und Prozessentwicklung durch die Schaffung eines, auf Expertenwissen basierenden, Simulations-Frameworks zur Eigenschaftsoptimierung und Qualitätsverbesserung von neuen Produkten. Das zu erwartende Ergebnis ist die Bereitstellung des

situativ benötigten Simulationswissens in Abhängigkeit von bestimmenden Faktoren wie der Phase im Entwicklungsprozess, den eingesetzten Fertigungsprozessen und den individuellen Rahmenbedingungen des Unternehmens.

Im Rahmen von FORPRO₂ beschäftigen sich die Autoren mit der Unterstützung des Produktentwicklers durch ein wissensbasiertes FEA-Assistenzsystem. Dieses kann in die beiden Bereiche der Simulationssynthese und Simulationsanalyse unterteilt werden. Im Rahmen dieser Veröffentlichung wird der Analyseteil FEdeIM des FEA-Assistenzsystems vorgestellt. Das FEA-Assistenzsystem greift den Leitgedanken von Ehrlenspiel & Meerkamm (2016a, 2016b) auf und verknüpft verschiedene Bausteine im Produktentwicklungsprozess – sowohl durch Synthese als auch Analyse.

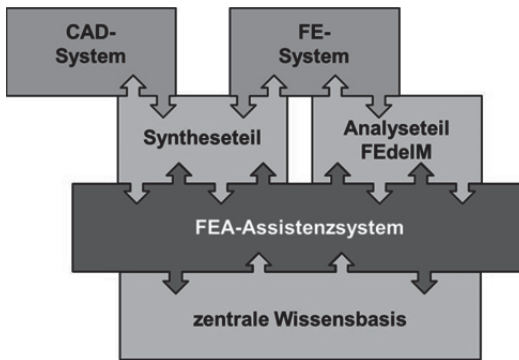


Abbildung 1: FEA-Assistenzsystem mit Schnittstellen

Im Syntheseteil des FEA-Assistenzsystems werden notwendige Bedingungen für die numerische Simulation bereits im CAD an ein neutrales Datenformat angehängt und damit unter Anwendung von Modellierungsregeln aus der Wissensbasis des Assistenzsystems automatisiert eine FE-Simulation aufgebaut. Somit verbindet der Syntheseteil die beiden wichtigen Bausteine CAD-System und FE-System und erlaubt so den schnellen und einfachen Aufbau von aussagekräftigen, strukturmechanischen linearen und nichtlinearen FE-Simulationen. (Kestel & Wartzack 2016)

Der Analyseteil dient der wissensbasierten Untersuchung von vorliegenden strukturmechanischen Finite-Elemente-Analysen. Es können sowohl automatisch erstellte als auch händisch durch den Produktentwickler aufgesetzte Simulationen untersucht werden. Die einzelnen Module des Systems FEdeIM und deren Verknüpfungen untereinander werden im Anschluss an den Stand der Technik detailliert beschrieben.

2 Stand der Technik

Im Folgenden wird die Entwicklung von Assistenzsystemen anhand von diversen Assistenzsystemen der virtuellen Produktentwicklung aufgezeigt. Daran anschließend erfolgt eine Abgrenzung der Begriffe Plausibilität, Verifikation und Validierung sowie deren Zusammenhänge im Rahmen von strukturell-mechanischen Finite-Elemente-Simulationen.

Assistenzsysteme für die Produktentwicklung

Unter Assistenzsystemen werden häufig Fahrerassistenzsysteme in Kraftfahrzeugen verstanden (vgl. Maurer & Stiller 2005). Assistenzsysteme finden allerdings auch seit vielen Jahren Anwendung in der virtuellen Produktentwicklung und ermöglichen eine deutliche Effizienzsteigerung und unterstützen Produktentwickler bei ihrer täglichen Arbeit. Vor der Formulierung unter dem Begriff Assistenzsystem wurde häufig von einer „Engineering Workbench“ gesprochen (u.a. Meerkamm 1995). Folgende Übersicht gibt einen Überblick der am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik KTmfk der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg entwickelten Assistenzsysteme:

- Konstruktionssystem mfk (Meerkamm & Weber 1991, Bachschuster 1997)
- Assistenzsystem für die Entwicklung umweltgerechter Produkte (Weber 1997)
- Assistenzsystem für die mechatronische Produktentwicklung (Schön 2000)
- Assistenzsystem zur rechnergestützten Analyse und Optimierung robuster Produkte (Hochmuth 2002)
- Selbstlernendes Assistenzsystem – SLASSY (Breitsprecher et al. 2015)
- Assistenzsystem für die lärmreduzierte Auslegung rotierender Maschinen – ALARM (Küstner & Wartzack 2015)

Plausibilität, Verifikation und Validierung

Das im Weiteren vorgestellte Assistenzsystem unterzieht die zu untersuchende FE-Berechnungen einer Plausibilitätsprüfung. Bevor der Begriff der Plausibilität definiert werden kann müssen die Begriffe Verifikation und Validierung im Kontext der Finite-Elemente-Berechnung abgegrenzt werden.

Verifikation:

- Prozess zur Beurteilung ob das Berechnungsmodell dem zugrundeliegenden mathematischen Modell und dessen Lösung entspricht. (ASME V&V10-2006)
- Gleichungen richtig lösen – Mathematik (Roache 1998)

Validierung:

- Prozess zur Beurteilung inwiefern das Modell eine ausreichend genaue Repräsentation der realen Zusammenhänge darstellt. (ASME V&V10-2006)
- Die richtigen Gleichungen lösen – Ingenieurwissenschaften (Roache 1998)

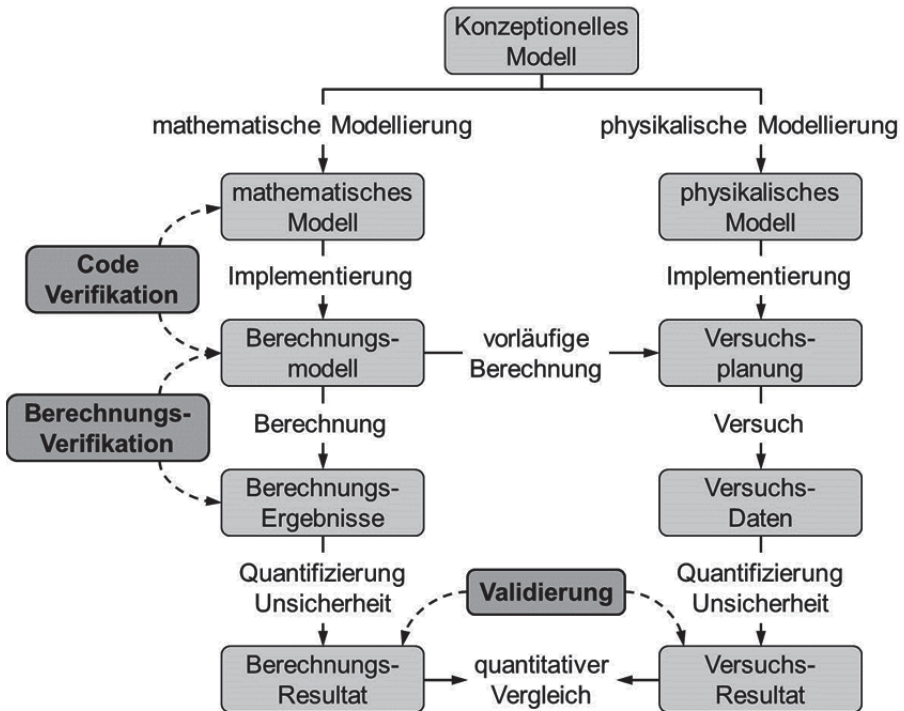


Abbildung 2: Validierung und Verifikation nach ASME V&V 10-2006

Der Begriff der *Plausibilität* lässt sich am besten mit dem englischen „likely valid“ beschreiben und fungiert als eine Überprüfung von Datenbeständen im FEA-Assistenzsystem bezüglich eindeutig erkennbaren Fehlern. Sowohl

Simulationsdaten als auch Versuchsdaten können einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden. Dieser Vorgang ist als Erweiterung der ASME V&V10-2006 in Abbildung 3 dargestellt.

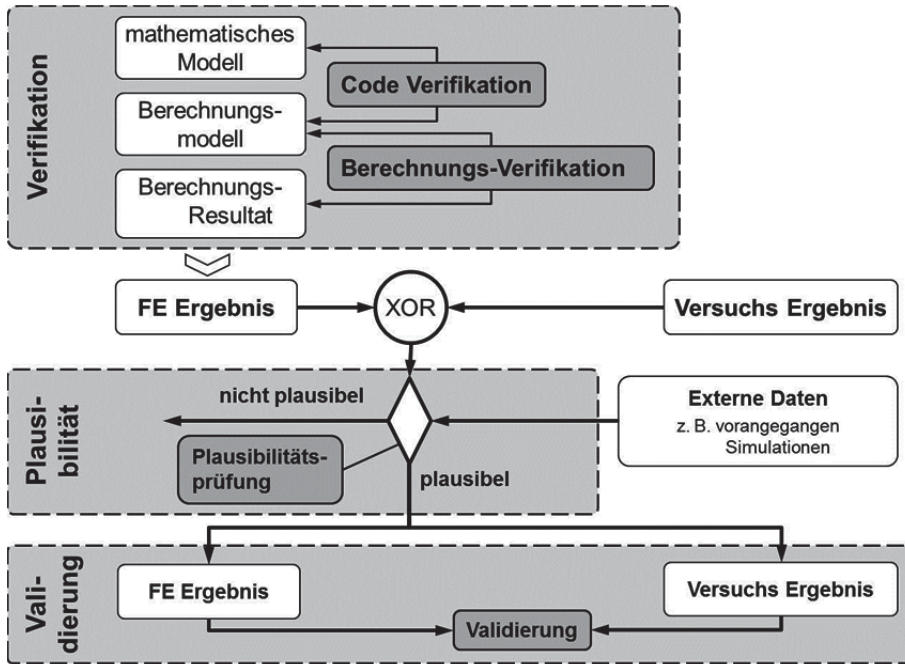


Abbildung 3: Abgrenzung Verifikation, Plausibilität und Validierung (Erweiterung ASME V&V10-2006)

3 Aufbau des Analyseteils FEdeIM des FEA-Assistenzsystems

Das FEA-Assistenzsystem wird innerhalb des Forschungsprojekts FORPRO₂ durch die beiden Teilprojekte 6 und 7 am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik in Erlangen entwickelt. Der Syntheseteil wird im Rahmen der Veröffentlichung Kestel 2016 ausführlich dargestellt. Im Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung werden die einzelnen Module des Analyseteils FEdeIM vorgestellt und deren Verknüpfungen untereinander beleuchtet. Der prinzipielle Aufbau des Systems ist in Abbildung 4 zu erkennen. Die Module Bauteilerkennung, Plausibilitätsprüfung, wissensbasierter Fehlerassistent, Ergebnisvisualisierung/Designbewertung und die zentrale Wissensbasis werden im Folgenden detailliert beschrieben.

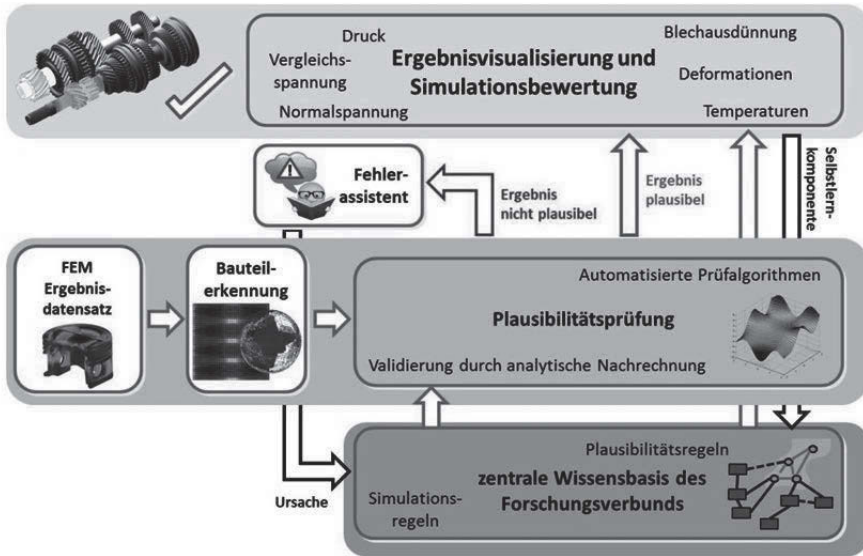


Abbildung 4: Aufbau des Analyseteils FEdeIM des FEA-Assistenzsystems

Modul #1: Bauteilerkennung

Bevor ein FE-Ergebnisdatensatz einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden kann ist die zugrundeliegende Problemstellung zu erkennen (handelt es sich z. B. um eine Baugruppe einer Schraubenverbindung oder um ein tiefgezogenes dünnwandiges Blechbauteil). Dies ist einerseits durch semantische Informationen die im CAD Modell hinterlegt sind möglich (Kestel 2016). Für den Fall, dass keine semantischen Inforationen hinterlegt sind, wurde im Rahmen des Forschungsverbands FORPRO₂ eine Methode zur Bauteilerkennung mittels Detektorflächen und Künstlichen Neuronalen Netzen entwickelt. (Spruegel & Wartzack 2014, Spruegel & Wartzack 2015)

Wie in Abbildung 5 zu erkennen, werden zunächst die zu untersuchenden Bauteile einheitlich im FE-Programm vernetzt. Hierbei hat sich eine einheitliche Elementgröße von 1 mm als zielführend erwiesen. Diese Vernetzung wird nur für die Bauteilerkennung genutzt und ist unabhängig von der eigentlichen Vernetzung der Geometrie für die numerische Berechnung. Nach einer Hauptkomponentenanalyse und der Umwandlung von Kartesischen- in Kugel-Koordinaten werden alle möglichen Bauteilorientierungen zu einer größeren Punktwolke kombiniert. Alle Punkte werden anschließend auf die aufgespannte kugelförmige Detektorfläche projiziert. Die so erhaltenen Matrizen haben stets die gleiche Größe und können für eine nachgelagerte

Klassifikation genutzt werden. Die wesentlichen Vorteile dieser Methode sind:

- sehr schnellen Klassifikation von Bauteilen
- Möglichkeit zur Verarbeitung von unterschiedlich großen Bauteilen
- Erkennung von Bauteilen in beliebiger Orientierung im Raum
- Möglichkeit zur Identifikation von bisher unbekanntem Bauteilen

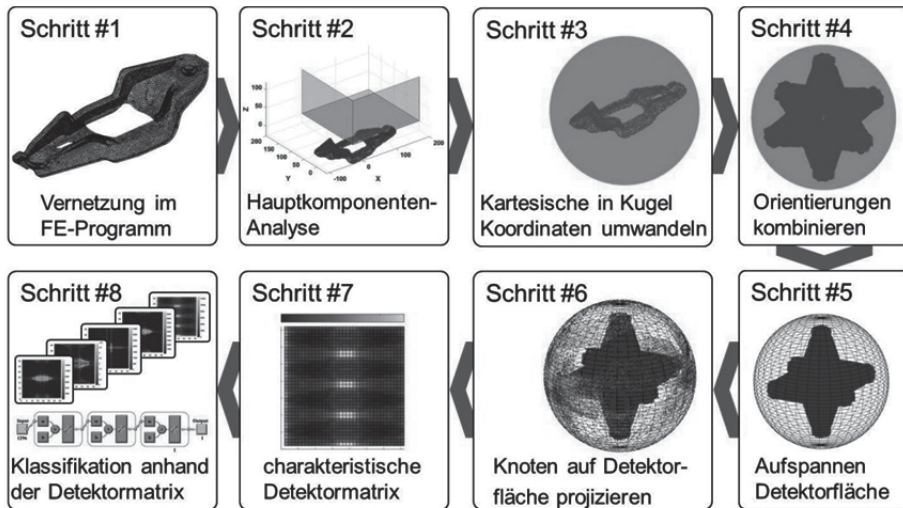


Abbildung 5: Methode zur Bauteilerkennung mittels kugelförmiger Detektorfläche

Modul #2: Plausibilitätsprüfung

Für die Überprüfung der Plausibilität von FE-Simulationsergebnissen sind unterschiedliche Ansätze denkbar. Forsteneichner et al. 2015 untersuchen beispielsweise die Eingabedateien des FE-Programms auf Plausibilität und Validieren die FE-Simulation im Nachgang mittels Versuchen an realen Prototypenbauteilen.

Das Vorgehen im Rahmen des FEA-Assistenzsystem verfolgt eine andere Strategie: Es werden die Ergebnisse der FE-Simulation auf Plausibilität untersucht, umso Fehler beim Aufbau der Simulation zu erkennen. Hierfür werden Ergebnisse aus bereits im Unternehmen vorhandenen validierten Berechnungsberichten (Kestel & Wartzack 2016) oder aus vorangegangenen Parameterstudien zu Rate gezogen. (Spruegel et al. 2015). Für einfachere Bauteile (z. B. Trägerartige Bauteile oder Kolbenbolzen eines Verbren-

nungsmotors) kommen analytische Gleichungen zum Einsatz (Hautsch et al. 2015, Kuhm 1964).

Modul #3: Wissensbasierter selbstlernender Fehlerassistent

Sollte eine Simulation als nicht plausibel eingestuft werden wird das Modul des Fehlerassistenten aktiviert. Für den wissensbasierten selbstlernenden Fehlerassistenten werden bayessche Wahrscheinlichkeitsnetze zur Anwendung gebracht. Erste Anwendungen dieser Wahrscheinlichkeitsnetze für einen Assistenten zur Unterstützung von Anwendern in Software-Programmen werden durch Horvitz et al. 1998 und Heckermann & Horvitz (1998) beschrieben. Im Gegensatz zu dem Ansatz die Absichten des Nutzers anhand der Mauszeigerposition im Programm zu erkennen werden im Rahmen des FEA-Assistenzsystems ausschließlich die Wahrscheinlichkeiten des Auftretens von bestimmten Fehlern betrachtet. Sollte ein bisher unbekannter Benutzer ein nicht plausibles FE-Ergebnis erzeugen wird ausgehend von einem universellen Wahrscheinlichkeitsnetz die wahrscheinlichste Ursache eines Fehlers ermittelt und dem Assistenzsystem mitgeteilt. Sollte dieser Fehler z. B. händisch ausgeschlossen werden können, werden die Wahrscheinlichkeiten unter der gegebenen Annahme neu berechnet und das nächst wahrscheinlichste Ereignis wird ermittelt. Nachdem eine plausible Simulation erreicht wurde, werden die Wahrscheinlichkeiten der Fehlerursachen geringfügig angepasst und das Wahrscheinlichkeitsnetz wird abgespeichert. Bei einer erneuten Aktivierung des Fehlerassistenten wird dann das spezifische Netz des Benutzers geladen und verwendet. Hierdurch kann sich das Assistenzsystem individuell auf den Nutzer einstellen, beispielsweise weil ähnliche Fehler von bestimmten Nutzern häufiger zum Tragen kommen, als bei anderen Nutzern. Somit kann ein ständiges mitlernen des Fehlerassistenten gewährleistet werden.

Modul #4: Ergebnisvisualisierung und Simulationsbewertung

Im Anschluss an die positive Überprüfung der Simulation auf Plausibilität erfolgt im letzten Schritt eine Ergebnisvisualisierung und Simulationsbewertung. Aktuell werden FE-Simulationen aufbauend auf dem idealen CAD-Modell durchgeführt (Katona et al. 2015). Abweichungen die während dem Herstellungsprozess entstehen finden somit keine Anwendung und die Geometrie des realen Bauteils kann erheblich von der simulierten Idealgeometrie abweichen. Aus diesem Grund werden im Rahmen des Forschungsverbunds Ergebnisse aus 3D-Oberflächenscans von Bauteilen und Ergebnisse aus Prozesssimulationen als FE-Netzverschiebungen als Vorlastschritt in die FE-Simulation eingebracht. Hierzu sei auf die kooperativen Veröffentlichungen aus dem Forschungsverbund verwiesen (Katona et al. 2014,

Katona et al. 2015, Hautsch et al. 2015). Die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus unterschiedlichen Simulationen erfolgt im vierten Modul des FEA-Assistenzsystems. Ein aussagefähiger Vergleich ist beispielsweise über die Visualisierung der prozentualen Abweichungen von Ergebnisgrößen zwischen zwei FE-Simulationen möglich. Somit kann schnell erkannt werden, ob durch die Fertigung zu erwartende Abweichungen als kritisch für den späteren Betrieb zu sehen sind.

Modul #5: zentrale Wissensbasis

Um die einzelnen Werkzeuge innerhalb des Forschungsverbunds FORPRO (FEA-Assistenzsystem, Patch-Optimizer, Fertigungsspezifische Strukturoptimierung, 3D-Oberflächenerfassung) mit dem relevanten Wissen zu versorgen, wird eine zentrale Wissensbasis aufgebaut. Diese Wissensbasis wird mit dem Engineering Knowledge Manager der Firma ANSYS verwirklicht und stellt Schnittstellen für alle beteiligten Werkzeuge und Nutzer innerhalb des Forschungsverbunds zur Verfügung (Kestel et al. 2015). Der Analyseteil FEdeIM des Assistenzsystems mit den Untermodulen hat folgende Anknüpfungspunkte zur zentralen Wissensbasis:

- Die Bauteilerkennung erfolgt mit zuvor trainierten Modellen. Diese Modelle werden von der Wissensbasis an das Modul der Bauteilerkennung übermittelt. Hierbei handelt es sich beispielsweise um Klassifikationsbäume oder Künstliche Neuronale Netze.
- Nutzerspezifische Wahrscheinlichkeitsnetze werden von der Wissensbasis an den Fehlerassistenten übertragen. Der Fehlerassistent kann so die wahrscheinlichsten Fehler in einer FE-Simulation suchen und wenn möglich automatisiert beseitigen.
- Adaptierte Wahrscheinlichkeitsnetze werden vom Fehlerassistent individuell für bestimmte Nutzer in die Wissensbasis zurückgespeist.
- Mathematische Regressionsmodelle basierend auf bereits im Unternehmen vorhandenen FE-Simulationen werden von der Wissensbasis an das Modul der Plausibilitätsprüfung übertragen. Diese Regressionsmodelle sind z. B. Antwortflächen/Response Surfaces, Stützvektorregressionen/Support Vektor Regression oder Künstliche Neuronale Netze/Artificial Neural Networks.
- Das Modul der Ergebnisvisualisierung und Designbewertung überträgt relevante Berechnungsinformationen an die Wissensbasis um diese für spätere Simulationen oder andere Simulationsanwender zur Verfügung zu stellen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Ausgehend vom Stand der Technik wurde der prinzipielle Aufbau des FEA-Assistenzsystems gezeigt und anschließend detailliert auf die Module des Analyseteils FEdeIM und deren Verknüpfungen untereinander und zu weiteren Anwendungen aufgezeigt. Die Umsetzung der einzelnen Module in einem Software-Demonstrator erfolgt aktuell im Rahmen des dritten Projektjahrs des BFS Forschungsverbunds FORPRO. Es wurde gezeigt, dass ein Assistenzsystem für strukturelle FE-Simulationen für weniger erfahrene Simulationsanwender, wie etwa Produktentwickler, die nur gelegentlich FE-Simulationen durchführen, ein erhebliches Potential zur Vermeidung von Fehlern bietet. Die einzelnen Module Bauteilerkennung, Plausibilitätsprüfung, wissensbasierter selbstlernender Fehlerassistent, Ergebnisvisualisierung/Designbewertung und Anbindung zur zentralen Wissensbasis wurden vorgestellt und deren wesentliche Aspekte beleuchtet.

Parallel zur Umsetzung in einem Software-Demonstrator erfolgt die Evaluierung der Ergebnisse anhand von Demonstrator-Bauteilen der industriellen Partner des Forschungsverbunds. Im Rahmen dieser Evaluierung wird der Analyseteil FEdeIM des FEA-Assistenzsystems verwendet werden, um strukturelle FE-Simulationen von Querlenkern mit unterschiedlichem Herstellungsverfahren (Blechbauteil, Alu-Druckguss-Bauteil, Schweißkonstruktion) zu überprüfen.

Literaturverzeichnis

- ASME V&V 10-2006: Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics.
- Bachschuster, S. 1997: Dissertation, Architektur und Konzept zur Realisierung eines produktspezifisch erweiterbaren Konstruktionssystems, Technische Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg.
- Breitsprecher, T., Sauer, C., Sperber, C. & Wartzack, S. 2015: Design-for-Manufacture of Sheet-Bulk Metal Formed Parts. In: Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED 2015), Vol. 4, 183-192.
- Ehrlenspiel, K. & Meerkamm, H. 2016a: Integration versus Spezialisierung, von der Notwendigkeit einer ganzheitlichen Konstruktionsforschung und –lehre an Universitäten und Hochschulen (Teil 1). In: Konstruktion, 01-02/2016, 71-74.
- Ehrlenspiel, K. & Meerkamm, H. 2016b: Integration versus Spezialisierung, von der Notwendigkeit einer ganzheitlichen Konstruktionsforschung und –lehre an Universitäten und Hochschulen (Teil 2). In: Konstruktion, 03/2016, 70-73.
- Forsteneichner, C., Paetzold, K. & Metschkoll, M. 2015: Methodische Vorgehensweise zur Verifikation und Validierung komplexer Systeme. In: Krause, D., Paetzold, K. &

- Wartzack, S. (Hrsg.): Design for X. Beiträge zum 26. DfX-Symposium, 145-156, Hamburg: TuTech Verlag.
- Hautsch, S., Katona, S., Sprügel, T., Koch, M., Rieg, F. & Wartzack, S. 2015: Validierung von prozessgerecht strukturoptimierten Bauteilentwürfen mittels integrierter FEM-Realgeometrieanalyse. In: Krause, D., Paetzold, K. & Wartzack, S. (Hrsg.): Design for X. Beiträge zum 26. DfX-Symposium, 182-192, Hamburg: TuTech Verlag.
- Heckerman, D. & Horvitz, E. 1998: Inferring Informational Goals from Free-Text Queries: A Bayesian Approach. In: Proceedings of the Fourteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence.
- Hochmuth, R. 2002: Dissertation, Methoden und Werkzeuge als Teil eines Assistenzsystems zur rechnergestützten Analyse und Optimierung robuster Produkte, Technische Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg.
- Horvitz, E., Breese, J., Heckerman, D., Hovel, D. & Rommelse, K. 1998: The Lumiere Project: Bayesian User Modeling for Inferring the Goals and Needs of Software Users. In: Proceedings of the Fourteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence.
- Katona, S., Kestel, P., Koch, M. & Wartzack, S. 2014: Vom Ideal- zum Realmodell: Bauteile mit Fertigungsabweichungen durch automatische FE-Netzadaption simulieren. In: Stelzer, R. (Hrsg.): Entwerfen Entwickeln Erleben – Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik, Dresden: TUDPress.
- Katona, S., Spruegel, T., Koch, M., Wartzack, S. 2015: Adapting FE-meshes to real, 3D surface detected geometry data to improve FE-simulation results. In: Summary of Proceedings NAFEMS World Congress, San Diego.
- Kestel, P., Spruegel, T., Katona, S. & Wartzack S. 2015: Konzept zur Umsetzung einer zentralen Wissensbasis für Simulationswissen in ANSYS Engineering Knowledge Manager. In: ANSYS Conference & 33th CADFEM Users' Meeting Bremen
- Kestel, P. & Wartzack, S. 2016: Wissensbasierter Aufbau konstruktionsbegleitender Finite-Elemente-Analysen durch ein FEA-Assistenzsystem. In: Stelzer, R. (Hrsg.): Entwerfen Entwickeln Erleben – Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik, Dresden: TUDPress.
- Klein, B. 2015: FEM, Grundlagen und Anwendungen der Finite-Elemente-Methode im Maschinen- und Fahrzeugbau. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Küstner, K. & Wartzack, S. 2015: The Realization of an Engineering Assistance System for the Development of Noise-reduced Rotating Machines. In: Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED 2015), Vol. 4, 71-80.
- Kuhm, M. 1964: Das Problem des Kolbenbolzens im Kurbeltriebwerk. MTZ Vol. 25/2, 52–62.
- Maurer, M. & Stiller, C. 2005: Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung. Berlin Heidelberg – Springer.
- Meerkamm, H. & Weber, A. 1991: Konstruktionssystem mfk – Integration von Bauteilsynthese und –Analyse, VDI-Berichte Nr. 903, Düsseldorf: VDI-Verlag, 231-248.

- Meerkamm, H. 1995: Engineering Workbench – Ein Schlüssel für Lösung komplexer Konstruktionsprobleme. In: Hubka, V. (Hrsg.): Proceedings of ICED 95, 10th International Conference on Engineering Design, 1261-1268, Zürich: Heurista.
- Roache, P.J. 1998: Verification and validation in computational science and engineering. Albuquerque: Hermosa Publishers.
- Schön, A. 2000: Dissertation, Konzept und Architektur eines Assistenzsystems für die mechatronische Produktentwicklung, Technische Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg.
- Spruegel, T.C. & Wartzack, S. 2014: Konzept zur automatischen Bauteilerkennung innerhalb der FE-Software-Umgebung mittels Künstlichen Neuronalen Netzen. In: Beiträge zum 25. DfX-Symposium (Design for X 2014), 47-56.
- Spruegel, T.C. & Wartzack, S. 2015: Concept and Application of Automatic Part-Recognition with Artificial Neural Networks for FE Simulations. In: Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED 2015), Vol. 6, 183-182.
- Spruegel, T.C., Hallmann, M. & Wartzack, S. 2015: A concept for FE plausibility checks in structural mechanics. In: Summary of Proceedings NAFEMS World Congress, San Diego.
- Walter, M., Pribek, M., Spruegel, T.C. & Wartzack, S. 2015: Result Visualization and Documentation of Tolerance Simulations of Mechanisms. In: Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED 2015), Vol. 4, 11-20.
- Weber, J. 1997: Dissertation, Konzept eines rechnerunterstützten Assistenzsystems für die Entwicklung umweltgerechter Produkte, Technische Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg.

Danksagung

Das hier vorgestellte Vorgehen ist Bestandteil des BFS Forschungsverbands FORPRO, „Effiziente Produkt- und Prozessentwicklung durch wissensbasierte Simulation“ (AZ 1071-13). Die Autoren danken der Bayerischen Forschungsförderung BFS, den Gutachtern des Verbands und den Industriepartnern ANSYS Germany, B&W Software und Federal-Mogul Nürnberg für die finanzielle und projektbegleitende Unterstützung.

Kontakt

Tobias C. Spruegel, M.Sc.
 Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack
 Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)
 Lehrstuhl für Konstruktionstechnik KTmfk
 91058 Erlangen
www.mfk.uni-erlangen.de