

KAROLINE JACKSTIEN, INGO JONUSCHIES, ULF GÖPFERT, NORDEX ENERGY GMBH

## **Ein Standardisierungsansatz zur Implementierung ganzheitlicher Vorgehensmodelle in der Produktentwicklung auf Grundlage komplexer Produktstrukturen**

**Inhalt:** Wechselnde Kundenanforderungen sowie dynamische und kürzer werdende Entwicklungsintervalle erfordern eindeutige Prozessstrukturen. Der Einsatz von etablierten Vorgehensmodellen zur Beschreibung von Produktentwicklungen stellt die Wirtschaft immer wieder vor Herausforderungen. Am Beispiel der Nordex Energy GmbH wird die Implementierung von Vorgehensmodellen (Grundlage VDI-Richtlinie 2221) in Verbindung mit den Wechselwirkungen zwischen Produkt-, Prozess- und Dokumentenstrukturen erläutert und ein Umsetzungsvorschlag aufgezeigt. In der Theorie ist das Vorgehen bei der Entwicklung von Produkten auf Grundlage der VDI 2221 eindeutig. Die Grundlage erfolgreicher Produktentwicklung bilden dabei die Randbedingungen auf der Metaebene. Bei der praktischen Umsetzung der VDI 2221 werfen diese jedoch Fragen auf, die für ein international agierendes Unternehmen mit komplexen Produkten zur Herausforderung werden. Exemplarisch sind folgende Randbedingungen zu nennen: + variable Marktanforderungen + Organisationsstrukturen + Prozesslandschaften + interdisziplinäre Entwicklungsteams + heterogene Produkte + Produktstruktur + abteilungsübergreifende Standardisierung + einheitliche Dokumentensätze.

Im folgenden Beitrag wird über einen Standardisierungsansatz ein möglicher Lösungsweg aufgezeigt, um Produkt- und Prozessstrukturen ableiten zu können.

**Stichwörter:** Produktentwicklungsprozess; Produkt; Produktstruktur; Standardisierung; Produkt Daten Management System (PDM-System)

## **The implementation of process models in connection with the interactions between product-, process- and document structure**

**Abstract:** Changing customer requirements, dynamic and shorter development sequences demand a clearly process structure. The use of established process models for the description of product development represents a major challenge for the economy every time again. The implementation of process models (based on VDI 2221) in connection with the interactions between product-, process- and document structure will be explained with an example of the Nordex Energy GmbH and a proposal of implementation is shown. The theory for product development based on VDI 2221 is clearly. For a successful product development the boundary conditions on the meta-level are the base. In the practical application of the VDI 2221 these preconditions raise many questions, which are challenging for an international operating company with a complex product structure. For example, the following preconditions could be mentioned: + variable market requirements + organizational structures + process landscapes + interdisciplinary development teams + heterogeneous products + product structure + cross-departmental standardization + uniform sets of documents.

The following article shows a possible solution with a standardization approach to derive a product- and process structure.

**Keywords:** Product Development Process; Product; Product Structure; Standardization; Product Data Management System (PDM-System)

ALBERT ALBERS, BARTOSZ GLADYSZ, JONAS KNIEL, MICHAEL ASCHOFF, ARMIN MEYER,  
KIT – KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE, IPEK - INSTITUT FÜR PRODUKTENTWICK-  
LUNG

## **Integration von Versuchsergebnissen in C&C<sup>2</sup>-Modellen zur Wiederverwendung in der Produktgenerationsentwicklung am Beispiel eines trockenlaufenden Kupplungssystems**

***Inhalt:** Der C&C<sup>2</sup>-Ansatz (Contact-and-Channel-Approach) unterstützt die Analyse und Synthese technischer Systeme in der Produktentwicklung durch die integrierte Betrachtung von Funktions- und Gestalt-Aspekten. Um den Wissenstransfer von Versuchsergebnissen zwischen Produktentwicklern in der Produktgenerationsentwicklung zu unterstützen, wird ein Vorgehen zur Integration solcher Ergebnisse in C&C<sup>2</sup>-Modellen vorgestellt. Die exemplarische Anwendung des Vorgehens erfolgt anhand eines trockenlaufenden Kupplungssystems mit dem Ziel der Leistungsoptimierung der nachfolgenden Produktgenerationen.*

***Stichwörter:** Contact-and-Channel-Ansatz, C&C<sup>2</sup>-A, Wiederverwendung von Modellen, modellbasierte Visualisierung von Versuchsergebnissen, PGE, Produktgenerationsentwicklung*

## **The Contact-and-Channel-Approach for the integration of functional as well as embodiment design aspects based on a dry clutch system**

***Abstract:** The Contact-and-Channel-Approach (C&C<sup>2</sup>-Approach) supports the analysis and synthesis in product design of technical systems through the integration of functional as well as embodiment design aspects. In order to support the knowledge transfer between product engineers across different product generations, the authors introduce a new approach for integration of test results into C&C<sup>2</sup>-models. The approach is exemplified based on a dry clutch system with the aim to optimize the system performance of upcoming product generations.*

***Keywords:** Contact-and-Channel-Approach, C&C<sup>2</sup>-A, Model reuse, model-based visualization of test results, PGE, Product Generation Engineering*

FRANZISKA BENDIG, ENRICO KLOß, KLAUS BRÖKEL, UNIVERSITÄT ROSTOCK, FAKULTÄT FÜR  
MASCHINENBAU UND SCHIFFSTECHNIK

## **Konzeption und Versuch an hydraulischen Spannbuchsen für Anwendungsbe- reiche unter geringer Last**

***Inhalt:** Für Anwendungen im Bereich der Zahnriementechnik soll ein Element zur Verbindung von Welle und Nabe entwickelt werden. Dabei liegt der Fokus auf lösbaren Spannelementen zur reibschlüssigen Verbindung, die das hydraulische Wirkprinzip nutzen. Der hier vorliegende Beitrag gibt, ausgehend von den mechanischen Grundlagen zur reibschlüssigen Kraftübertragung, einen Überblick der bisherigen Ansätze zur Entwicklung einer innovativen Hohlmantelspannbuchse. Die Variationsmöglichkeiten werden vorgestellt und die Resultate erster Versuche mit veränderten Wirkgeometrien präsentiert.*

***Stichwörter:** reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindung, hydraulische Spannbuchse*

## **An overview of advances on developing new kinds of innovative joints**

***Abstract:** For application at belt technologies, an element for connection of shaft and hub is to be developed. The focus is on a releasable tension element, using the principle of hydraulic generated friction-contact. The present paper will give an overview of advances on developing new kinds of innovative joints, starting from the mechanical fundamentals. Several possibilities for variation and the results of previous test are shown.*

***Keywords:** friction-locked shaft-hub-connection, hydraulic clamping bush*

JAN BRÖKEL, SUZLON ENERGY LIMITED

## Der „first time right“ Ansatz im Spannungsfeld technischer Entwicklungsprojekte

**Inhalt:** Wie in einem Produktionsbetrieb kann der first time right Ansatz auch in einem Entwicklungsprojekt angewandt werden. Wie bei einer optimierten just in time Fertigung kann das Produkt, in dem Fall die Stückliste mit allen Fertigungsunterlagen, nur geliefert werden, wenn die Qualität aller Einzelteile stimmt. Da diese Qualität nur durch Aufwand oder Zeit erreicht werden kann, muss das Unternehmen hier sein auf das Produkt abgestimmtes Optimum finden. Am konkreten Beispiel einer Windkraftanlagenentwicklung konnte gezeigt werden, dass ein sehr geringes Maß an Fehlern mit entsprechenden Korrekturen tolerierbar ist, wenn dadurch andere Ziele, wie time to market, erreicht werden.

**Stichwörter:** Produktqualität, Pareto Prinzip, Windkraftanlage, first time right

### The first time right approach in development projects

**Abstract:** Similar to any production plant a development project can also be handled with the first time right approach. In both the cases the 100% quality of all parts and subassemblies is required. Since this high quality requirement can only be achieved with time and cost effort, any business has to define its product specific optimum. Looking at a wind turbine generator development it is shown that a reasonable failure rate can be accepted if other business targets like time to market can be reached.

**Keywords:** design quality, first time right, Pareto rule, Wind Turbine Generator

HAGEN WATSCHKE, MARTIN KUMKE, THOMAS VIETOR, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG, FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU, INSTITUT FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK, VOLKSWAGEN AG

## Design for Additive Manufacturing – Praxisnahe Hilfsmittel zur Identifikation und Nutzung konstruktiver Freiheiten

**Inhalt:** Additive Fertigungsverfahren (AM) bieten neue Freiheiten in der Konstruktion. Im Forschungsfeld des Design for Additive Manufacturing (DfAM) wurden verschiedene Methoden und Hilfsmittel entwickelt, die Konstrukteure beim Erzeugen neuer Lösungen unterstützen. Viele dieser Methoden erfordern jedoch tiefgreifende AM-Kenntnisse, wodurch ihre Anwendung auf Experten beschränkt ist. In diesem Beitrag werden DfAM-Methoden vorgestellt, die von Experten und Novizen angewendet werden können. Basierend auf einer Systematisierung der AM-Freiheiten wird eine Toolbox mit additiv gefertigten Modellen erarbeitet, die zur besseren Veranschaulichung dient und das Verständnis fördert. Hierdurch unterstützt sie Anwender bei der Identifikation und Nutzung neuer Freiheitsgrade. Zusätzlich hilft ein interaktives Katalogsystem ihnen bei der Beachtung neuer Konstruktionsregeln. Die Anwendung der Methoden wird durch eine Fallstudie gezeigt.

**Stichwörter:** Design for Additive Manufacturing (DfAM), Konstruktionsregeln, Konstruktionsmethoden

### Design for Additive Manufacturing – practical tools for identifying and utilizing design potentials

**Abstract:** Additive Manufacturing (AM) provides unprecedented freedom in product design. The research field Design for Additive Manufacturing (DfAM) has led to various methods and tools that support designers at creating new design solutions. However, many of these methods require substantial AM knowledge, limiting their application to experts. This paper proposes DfAM methods applicable by both experts and novices. Based on a systematization of AM design potentials, a toolbox containing hardware objects for a better visualization and understanding is developed. It thereby supports its users in identifying and utilizing new degrees of freedom. In addition, an interactive catalogue system helps them adhering to new design rules. The application of the methods is demonstrated by a case study.

**Keywords:** Design for Additive Manufacturing (DfAM), Design Rules, Design Methods

ALI DARYUSI, GRIT KÖHLER, HOCHSCHULE OFFENBURG, FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU UND VERFAHRENSTECHNIK PROFESSUR FÜR MASCHINENELEMENTE UND CAD/CAE

## **Empirische Untersuchungen zum visuellen Wahrnehmen beim Lesen und Verstehen technischer Zeichnungen**

**Inhalt:** Es wurden 49 Einzelpersonen aus dem Studiengang „Maschinenbau“ der Hochschule Offenburg bei der Lösungssuche für eine zeichnerische Aufgabe mit Hilfe der Eyetracking-Technik beobachtet. Aus den Experimenten ergeben sich Aufschlüsse über das tatsächliche Vorgehen von Studierenden beim Lesen technischer Zeichnungen. Die Analyse der empirischen Untersuchungen legt die Vermutung nahe, dass die zunehmende Digitalisierung der Gesellschaft und der zunehmende Umgang mit elektronischen Kleinstgeräten verstärkt zu einem punktuellen und schnellen Wahrnehmungsverhalten führen. Ruhe und Gelassenheit im Umgang mit Informationen gehen verloren, ebenso das Denken im Kontext. Somit muss es Aufgabe der Lehre sein, wieder verstärkt ein ruhiges, strukturiertes und auf Zusammenhänge ausgerichtetes Vorgehen zu vermitteln und zu üben.

**Stichwörter:** Technische Darstellungen, praktische Kompetenzen, Eyetracking, Didaktik

## **Observation of the eye tracking technology for the reading of technical drawings**

**Abstract:** 49 individuals of the degree course “Mechanical Engineering” at the University of Applied Sciences in Offenburg were observed while searching for a solution for a drawing task using the eye tracking technology. From the experiments we can derive conclusions about the actual approach of students in reading technical drawings. The analysis suggests that the increasing digitization of society and the increasing use of electronic micro devices increasingly lead to a punctual and quick perception behavior. Ease and calmness in dealing with information are increasingly lost, just thinking in context. Thus, it must be the task of teaching to instruct a calm, structured and interrelated approach and training again.

**Keywords:** technical illustration, practical skills, eye tracking, engineering education, didactics

RENÉ ANDRAE, PETER KÖHLER, UNIVERSITÄT DUISBURG-ESSEN, FAKULTÄT FÜR INGENIEURWISSENSCHAFTEN, LEHRSTUHL RECHNEREINSATZ IN DER KONSTRUKTION

## **Wissensbasierte Unterstützung des Konstrukteurs an der Schnittstelle CAD-CAE**

**Inhalt:** In diesem Beitrag wird ein methodischer Ansatz vorgestellt, wie bei der CAD-Modellierung die Simulationsgerechtigkeit durch die Anwendung von modernen KBE-Methoden über eine engere, wissensbasierte Verknüpfung der jeweiligen Partialmodelle abgesichert werden kann. Vor der eigentlichen Implementierung in das CAD-System wird relevantes Wissen durch den Anwendungsentwickler mit SysML formalisiert. Dem Konstrukteur wird es auf diese Weise ermöglicht, auch komplexere Simulationen konstruktionsbegleitend durchzuführen. Als Anwendungsbeispiel dient eine integrierte Produktsimulation zum spritzgussgerechten Bauteilentwurf.

**Stichwörter:** CAD, CAE, SysML, spritzgussgerechter Bauteilentwurf

## **Knowledge-based support of the designer at the CAD-CAE interface**

**Abstract:** This paper presents a methodological approach, which focuses how during the CAD modeling the design for simulation is safeguarded through the application of modern KBE-methods. This would be ensured about more closed connection between the respective partial models. Prior to the actual implementation in the CAD system relevant knowledge is formalized by SysML. The designer becomes this way the possibility to perform advanced simulations by himself. As practical example an integrated product simulation in the context of the injection molding part design is shown.

**Keywords:** CAD, CAE, SysML, Injection molding design

JOACHIM LANGENBACH, NORBERT MÜLLER, ARMIN LOHRENGEL, TECHNISCHE UNIVERSITÄT CLAUSTHAL, INSTITUT FÜR MASCHINENWESEN

## **Herleitung eines verallgemeinerten CE-Konformitätsbewertungsprozesses**

*Inhalt:* Die aktuell geltenden 25 CE-Richtlinien werden analysiert. Aus den Ergebnissen erfolgt die Ableitung eines allgemeinen CE-Konformitätsbewertungsprozesses

*Stichwörter:* Entwicklungsmethodik, CE, New Approach, Rechtskonformität

## **A generalised process to develop CE compliant products**

*Abstract:* The current 25 CE-directives will be analysed. The results are combined into a generalised process to develop CE compliant products.

*Keywords:* Design Methods, CE, New Approach, Compliance

DIRK HOFMANN, CHRISTINE SCHÖNE, RALPH STELZER, LEHRSTUHL KONSTRUKTIONSTECHNIK/CAD (KTC), TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN, FAKULTÄT FÜR MASCHINENWESEN

## **Methoden und Werkzeuge zur Nutzung von CT-Daten im CAE- Umfeld**

*Inhalt:* Im vorliegenden Beitrag wird ein Ansatz vorgestellt, wie CT-Daten in die Produktentwicklung integriert und durch geeignete Werkzeuge anwendungsorientiert genutzt werden können.

*Stichwörter:* industrielle Computertomographie (iCT), Produktentwicklung, CT-Daten, CAE-Anwendung

## **Methods and tools for using ct data in CAE applications**

*Abstract:* The paper presents an approach for integrate CT data into product development processes and an application orientated use by suitable tools.

*Keywords:* x-ray computer tomography (XCT), product development, CT data, CAE application

TOBIAS STEFANIAK, DANIEL MAIWALD, MICHAEL EICKHOFF, KARL-HEINRICH GROTE, LEHRSTUHL FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK, OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITÄT MAGDEBURG, FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU

## **Produktentwicklung in der Elektromobilität - Opportunismus im Zeichen der Konstruktionsmethodik**

*Inhalt:* Die „VDI-Richtlinie 2221 – Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ bietet eine umfangreiche Methodensammlung in allen Produktplanungsphasen. Bedingt durch die allgemeine Anwendbarkeit ist die Abfolge des Konstruktionsprozesses nur grob strukturiert, für eine Anwendung im Bereich der Elektromobilität. Die deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität-Version 3.0 fordert ein übergreifendes Systemdenken, um die bis dahin getrennt betrachteten Normen und Standards zur Elektrotechnik und Automobiltechnik zusammenzuführen und somit eine Bündelung der Informationen erfolgt. Darüber hinaus wird für die hohe Komplexität eines Elektrofahrzeuges mit dem erweiterten Energiemanagement und die immer kürzer werdenden Entwicklungszeiten eine neue Vorgehensweise benötigt. Dieser Beitrag soll einen Grundstein für eine angepasste Konstruktionsmethodik legen, die speziell für die Elektromobilität Gültigkeit hat und dabei den industriellen Anforderungen entspricht.

*Stichwörter:* Elektromobilität, Produktentwicklung, Konstruktionsmethodik

## Product development in electromobility - Opportunism under the sign of design methodology

**Abstract:** The German VDI directive 2221 „Systematic approach to the development and design of technical systems and products“ offers a comprehensive collection of methods in all phases of product planning. Contingent on the general applicability of the directive the sequence of the construction process for an electromobility application is only roughly structured. The German „Roadmap for Standardization in Electromobility Version 3.0“ demands an overarching system thinking to merge the so far individually considered norms and standards of electrical engineering and automotive engineering and hence achieve a concentration of information. Moreover, the high degree of complexity of an electric vehicle with enhanced energy management and ever-shorter developmental period's calls for a new approach. This paper is regarded as a cornerstone for an adapted methodology of construction, which has specific significance for electromobility thereby fulfilling industrial requirements.

**Keywords:** electromobility, product development, construction methodology

ALBERT ALBERS, GEORG MOESER, KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT), IPEK  
– INSTITUT FÜR PRODUKTENTWICKLUNG

## Modellbasierte Prinzip- und Gestaltvariation

**Inhalt:** Die modellbasierte Funktions-Gestalt-Synthese gemäß FAS4M-Ansatz wird im Kontext der Produkt-generationsentwicklung (PGE) analysiert. Es wird gezeigt, dass bei den möglichen Variationen (Übernah-me-, Gestalt- und Prinzipvariation) zahlreiche Modellinhalte produktgenerationsübergreifend in der Entwick- lung genutzt werden können. Der zu leistende Aufwand für die Modellierung wird entscheidend gesenkt.

**Stichwörter:** MBSE; PGE; Produktgenerationsentwicklung; Funktions-Gestalt-Synthese; SysML; FAS4M

## Model-Based Principle- and Embodiment Variation

**Abstract:** The model-based Function-Embodiment-Synthesis according to the FAS4M-approach is analyzed in the context of the product generation engineering (PGE). It is shown, that during the development a lot of content can be reused cross-generational within the possible variations (variation in order to carry over, embodiment variation and principle variation). The effort for modeling thus can be reduced significantly.

**Keywords:** MBSE; PGE; product generation engineering; Function-Embodiment-Synthesis; SysML; FAS4M

CARSTEN HAUGWITZ, OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITÄT MAGDEBURG FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU, INSTITUT FÜR MASCHINENKONSTRUKTION (IMK) LEHRSTUHL FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK

## Reflexion der praktischen Umsetzung der Konstruktionsmethodik

**Inhalt:** In der Konstruktionstheorie gibt es verschiedene Ansätze für ein methodisches und planvolles Vorgehen. Diese werden an den meisten Hochschulen und Universitäten ähnlich gelehrt und in Seminaren und Praktika vertieft. Im folgenden Artikel soll ein Überblick gegeben werden, welche Methoden besonders häufig genutzt werden und wie dies konkret Anwendung findet. Anschließend werden Änderungen und Abweichungen vom Standardvorgehen analysiert. Besonders bewährte Methoden und Vorgehen, die sich in der Praxis als geeignet erwiesen haben, werden vorgestellt. Speziell für das Bestimmen der Gewichtung beim Bewerten von Lösungsvarianten wird ein neues Verfahren vorgestellt, das in Zusammenarbeit mit Studenten der Otto-von-Guericke-Universität entwickelt und getestet wurde.

**Stichwörter:** Konstruktionslehre, Methodik

## **An overview for different approaches for a methodical and planned practice in the design theory**

**Abstract:** *There are different approaches for a methodical and planned practice in the design theory. They are taught similarly at most colleges and universities and deepened in seminars and trainings. The following article should give an overview, which methods are used and how the normal practice is. Then changes and deviations of standard procedures are analyzed. Particularly proven methods and procedures which have proven in practice will be presented. Especially for determining the weight in evaluating alternative solutions, a new method is presented, which was developed and tested in cooperation with students of the Otto-von-Guericke-University.*

**Keywords:** *Engineering Design, Methodology*

THIVAKAR MANOHARAN, PETER KÖHLER, LEHRSTUHL FÜR RECHNEREINSATZ IN DER KONSTRUKTION, UNIVERSITÄT DUISBURG-ESSEN, INSTITUT FÜR PRODUKT ENGINEERING

## **Konzeptentwicklung für die Beschleunigung von Planungsprozessen durch die Konstruktion**

**Inhalt:** *Zu den Themenfeldern, die heute mit „Industrie 4.0“ verbunden werden, gehören informationstechnische Lösungsansätze zur Beschleunigung, Qualifizierung und Optimierung von Produkten und Engineering-Prozessen. Das Daten-, Informations- und Wissensmanagement hat daher einen besonderen Stellenwert. In der Prozesskette Konstruktion-Fertigung gibt es vielfältige, wechselseitige Abhängigkeiten, die zu beachten sind, wenn eine anforderungsgerechte und zugleich auch wirtschaftlich herstellbare Produktgestalt abzuschließen ist. Die Qualifizierung der damit verbundenen Engineering-Prozesse erfordert anpassungsfähige digitale Produkt- und Prozessmodelle, die mit weiteren technologischen/ semantischen Informationen angereichert und wissensbasiert verknüpft werden können. Im Beitrag werden dazu entsprechende Möglichkeiten aufgezeigt. Dabei wird durch eine Anpassung der Arbeitsumgebung des Konstrukteurs und der damit möglichen Informationsanreicherung des CAD-Modells, die Klassifizierung der Produktdatenmodelle im PLM-System und der Informationsaustausch in der betrachteten Prozesskette verbessert.*

**Stichwörter:** *CAD, PLM, Modellbasierte Klassifikation, Prozesskette Konstruktion-Fertigung*

## **Concept development for the acceleration of planning processes during the design process**

**Abstract:** *The fields, which are now associated with "Industry 4.0", includes information technology solutions to accelerate, qualify and optimize products and engineering processes. This indicates the special significance of data, information and knowledge management. In the process chain between design and manufacturing many mutual dependencies must be considered to ensure a product shape, which both meets the requirements and is economically producible. The qualification of the related engineering processes requires adaptable product and process models, which can be enriched with additional technological/ semantic information and can be linked knowledge based to each other. In this article a solution is presented, which improves the classification of product data models in the PLM system and the exchange of information in the considered process chain. This became possible by adapting the working environment of the designer and consequently the information enrichment of the CAD model.*

**Keywords:** *CAD, PLM, Model Based Classification, Process Chain Design and Manufacturing*

HENRIK SCHNEGAS, HOCHSCHULE WISMAR, UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES: TECHNOLOGY, BUSINESS AND DESIGN, FB MASCHINENBAU, VERFAHRENS- UND UMWELTTECHNIK, FG KONSTRUKTIONSTECHNIK

## **Methoden und Methodik zum Generieren von Produktideen der Generation Industrie, Home, Everyday Life 4.0**

**Inhalt:** Industrie 4.0 ist seit der Hannover Messe 2011 zum Schlagwort für aktuelle Technologieentwicklung geworden. Gemeint ist die verstärkte Vernetzung von Produkten mit Maschinen, Maschinen mit anderen Maschinen und Maschinen und Menschen in der inner- und überbetrieblichen Wertschöpfungskette durch Nutzung Embedded Systems und Cyber-physikalischer Systeme im Internet der Dinge. Während große Unternehmen bereits erfolgreiche Projekte gestartet haben, gibt es beim Mittelstand und vor allem den KMU bisher kaum Aktivitäten, weshalb im Februar 2016 die Initiative Industrie4.0@Mittelstand initiiert wurde. Im vorliegenden Beitrag wird eine Methodik zur Vorgehensweise vorgestellt, wie in KMUs Produkte der Generation Industrie, Home oder Every Life 4.0 erdacht werden können. Vorgestellt werden Werkzeuge wie Bisoziales Mind Map, SCAMMPERR oder die Osborn-Checkliste. Im Vordergrund stehen neue Produktideen. Der Umgang mit großen Datenmengen oder die kostenintensive Entwicklung neuer Software-, Sensoren- und Aktorensysteme wird nicht fokussiert, sondern den großen Hightech Konzernen überlassen

**Stichwörter:** Cyber-Physische-Systeme, Embedded Systems, Home 4.0, Industrie 4.0, Internet der Dinge, KMU, Kreativitätsmethoden, Produktentwicklung

## **Methods and methodology for the development of product ideas for the generation industry, home, everyday life 4.0**

**Abstract:** Industry 4.0 is one of the most popular keywords in the current technology development. The meaning is the networking of machine and product, machine to machine or machines to humans by using embedded systems, cyber-physical systems in the internet of things. Because there were any problems to start projects in small and middle enterprises, in February 2016 started the initiative Industrie4.0@Mittelstand. In this paper you learn something about methods to find products of generation Industry, Home or Everyday Life 4.0. Presented tools are Bisociative Mind Mapping, SCAMMPERR and the Osborne-Checklist. Not discussed are big data, software problems and the development of new sensors and actors.

**Keywords:** Cyber-Physical Systems, Embedded Systems, Home 4.0, Industry 4.0, Internet of Things, SME, Creativity Methods, Product development

MARC GLAUCHE, UTE DIETRICH, HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT BERLIN, WIRTSCHAFTSINGENIEURWESEN, FACHBEREICH 4 INFORMATIK, KOMMUNIKATION UND WIRTSCHAFT

## **Modellbasiertes Systems Engineering – methodische Unterstützung durch PLM**

**Inhalt:** Heutige Produkte sind zunehmend durch multi-disziplinäre Eigenschaften und divergierende Nutzungsmodelle gekennzeichnet. So ist der wertmäßige Anteil an Elektronik und Software in den letzten Jahren ständig gestiegen. Das „Internet in Dingen“ hält in vielen Bereichen Einzug und erlaubt zum einen die Generierung völlig neuer Geschäftsmodelle, erfordert zum anderen aber auch ein methodisches Umdenken in der Produktentstehung, der Planung und Steuerung von Prozessen, der IT-Lösungen und unterstützenden Organisationsformen. Der vorliegende Beitrag soll ein Konzept für ein modellbasiertes Systems Engineering basierend auf einem PLM-System vorstellen und wichtige offene Anforderungen an die Gestaltung zukünftiger Unterstützungsprozesse ableiten.

**Stichwörter:** Klassische und innovative Methoden der systematischen Produktentwicklung

## **An advanced concept of model based Systems Engineering based on a PLM-Platform**

**Abstract:** Currently products are multidisciplinary and marked by different use cases. The part of electronic and software is increased constantly. In many areas the "internet in things" is presented which allows a totally new generation of business models. These trends requires new methods in product development, in planning and controlling of processes and adapted IT-Solutions. The following paper presents an advanced concept of model based Systems Engineering based on a PLM-Platform and addresses open requirements on the design of future supporting processes.

**Keywords:** MBSE, innovative methods for product development

THOMAS GUTHMANN, FRANK ENGELMANN, KARL-HEINRICH GROTE, ERNST-ABBE-HOCHSCHULE JENA, FACHBEREICH WIRTSCHAFTSINGENIEURWESEN, INSTITUT FÜR MASCHINENKONSTRUKTION, OVGU MAGDEBURG

## **Gestaltungsrichtlinien zum Leichtbau von komplexen Druckbehältern**

**Inhalt:** Im Rahmen des Projektes wird eine strukturierte Vorgehensweise zur Entwicklung von rechteckigen Druckgehäusen in Leichtbauweise aufgezeigt. In Verbindung mit den dargestellten Gestaltungsrichtlinien ermöglicht dies eine effiziente konstruktive Gestaltung von Druckgehäusen in Gussbauweise.

**Stichwörter:** Druckgehäuse, Gestaltung, Leichtbau

## **Design guidelines for the lightweight construction of complex pressure vessels**

**Abstract:** Within this project a structured approach for the development of cubic pressure vessels in lightweight design will be shown. In combination with the displayed construction guidelines an efficient constructive design of pressure vessels to be fabricated by casting will be possible.

**Keywords:** pressure vessels, lightweight design

GERHARD SCHARR, LEHRSTUHL KONSTRUKTIONSTECHNIK / LEICHTBAU, UNIVERSITÄT ROSTOCK, FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU UND SCHIFFSTECHNIK

## **Federn aus Faser-Kunststoff-Verbund**

**Inhalt:** Faser-Kunststoff-Verbunde sind aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften sehr gute Federmaterialien mit hohem Leichtbaupotenzial. Vor- und Nachteile werden gegenübergestellt und mit ausgewählten Darstellungen belegt. Nachfolgend wird eine Rollfeder, eine Reibungs-/Ringfeder, eine querbelastete Schraubenfeder sowie eine Gasdruckfeder aus Faser-Kunststoff-Verbund dargestellt und kurz beschrieben. Für eine weitere Marktdurchdringung sind geeignete Herstellungstechnologien notwendig.

**Stichwörter:** Elastische Federn, Faser-Kunststoff-Verbund, Leichtbau

## **Elastic Springs made of Fiber Reinforced Plastics**

**Abstract:** Due to their mechanical behaviors fiber-reinforced plastics are very good spring materials with a high potential for lightweight. Advantages and disadvantages are compared and highlighted with selected presentations. Then a constant force spring, a friction / ring spring, a transversely loaded helical spring and a gas spring made of fiber reinforced plastic are presented and briefly described. For further market penetration manufacturing technologies are needed.

**Keywords:** Elastic springs, fiber reinforced plastics, light weight construction

WALTER SCHMIDT, GEORG JACOBS, YIMIN YANG, MANUEL LÖWER, RWTH AACHEN, LEHRSTUHL UND INSTITUT FÜR ALLGEMEINE KONSTRUKTIONSTECHNIK DES MASCHINENBAUS

## **Festere Klebeverbindungen durch Flächenstrukturierung additiv gefertigter Teile**

**Inhalt:** Im Leichtbau werden häufig faserverstärkte Werkstoffe eingesetzt. Bei der Gestaltung von Baugruppen aus diesen Materialien spielt die Füge­technik eine besondere Rolle. Weit verbreitet sind hierbei stoffschlüssige Verbindungen auf Basis von Epoxid-Harzen, die hohe Festigkeiten aufweisen und dabei spaltüberbrückend und dadurch toleranzausgleichend wirken. Im FLM-Verfahren additiv hergestellte Bauteile eignen sich aufgrund ihrer freien Formgebung und ihrer hohen Funktionsvielfalt sehr gut für einen Verbund mit faserverstärkten Werkstoffen. Die Integration thermoplastischer Kunststoffteile in Leichtbau-Anwendungen erfordert bisher jedoch eine aufwändige Vorbehandlung der Oberflächen für das Kleben mit Epoxid-Harz. Dabei ergeben sich durch die additive Fertigung neue Möglichkeiten für die Gestaltung kraftübertragender Wirkflächen von Klebeverbindungen. Der Beitrag beschreibt, wie die Klebefläche eines gedruckten Bauteils strukturiert werden kann, um die Festigkeit der Verbindung durch Epoxid-Harz deutlich zu erhöhen. Dazu werden realisierbare Strukturen systematisch variiert und ausgesuchte Probemuster im FLM-Verfahren gedruckt. Die Festigkeit der geklebten Verbindungen wird anschließend auf einer Prüfmaschine getestet. Ein direkter Vergleich der gewonnenen Ergebnisse mit einem Referenzversuch schließt diesen Beitrag ab.

**Stichwörter:** Leichtbau, additive Fertigung, Klebetechnik

## **Stronger glued joints through structured surfaces of additive manufactured parts**

**Abstract:** Fiber-reinforced materials are widely used in lightweight design. Fixation strategies play a major role in designing assemblies utilizing these materials. Adhesive bonding with epoxy resin is commonly applied in this field, due to its strength and gap bridging properties which allow compensation of manufacturing tolerances. FLM - additive manufactured parts are very eligible for a usage in combination with fiber-reinforced materials due to their suitability for free formed surfaces and high functional versatility. However, for integration of thermoplastic parts in lightweight applications with epoxy resin complex preprocessing of the surfaces is inevitable. Additive manufacturing offers relief through specific surface geometries for improved force transfer in adhesive bonding. This paper describes a method to achieve stronger epoxy resin bonding of printed parts through utilization of a structured bonding surface. The initial step is the systematic variation of feasible structures before selected samples are printed on a FLM-printer. The achievable strength of the adhesive bond is then evaluated through mechanical stress-testing. Finally, a direct comparison of the gained results and the results of a reference experiment is presented.

**Keywords:** lightweight design, additive manufacturing, adhesive technology

ROBIN KAISER, MICHAEL VIELHABER, LEHRSTUHL FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK, UNIVERSITÄT DES SAARLANDES, DAIMLER AG

## **Systematische Materialauswahl von Fahrzeugstrukturbauteilen**

**Inhalt:** Eine häufig auftretende Problemstellung in der Fahrzeugentwicklung ist die transparente Abbildung möglichst vieler Szenarien in der frühen Phase der Entwicklung. Im Falle der lasttragenden Fahrzeugkarosserie führen diese ständigen Änderungen des Anforderungsprofils (Last und Bauraum) automatisch auch zu einer Unschärfe in der Materialauswahl, die bisher lediglich auf statische Anforderungsprofile und für Fahrzeugstrukturbauteile untypische Querschnitte ausgelegt war. Im Rahmen dieser Ausarbeitung soll ein Weg aufgezeigt werden um diese Lücken zu schließen.

**Stichwörter:** Materialauswahl, Fahrzeugstrukturbauteile, Produktentwicklung

## **Systematic material selection in vehicle development**

**Abstract:** A common problem in vehicle development is the transparent representation of many scenarios in the early stage of development. In case of the load-bearing car body these permanent changes of the requirements profile (load and available space) lead to a blur within the material selection. This has only been configured for statical requirement profiles and untypical car body cross sections, until now. With this paperwork a solution will be demonstrated to close this gap.

**Keywords:** material selection, vehicle structure parts, product development

JEROME KASPAR, MICHAEL VIELHABER, LEHRSTUHL FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK, UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

## **Komponentenübergreifende leichtbau- und werkstofforientierte Produktentwicklungsmethodik infolge anforderungsoptimierter Multi-Material-Strukturen**

**Inhalt:** Immer komplexere Systeme benötigen angesichts einer bestmöglichen Ausnutzung jeweiliger Kosten-Nutzen-Relationen aber auch infolge der ständig steigenden Produkthanforderungen kraftfluss- und gewichtsoptimierte sowie multifunktionale Werkstoffstrukturen, insbesondere hinsichtlich der heutzutage geforderten Optimierung der Werkstoffeigenschaften, des Leichtbaupotentials und der entsprechenden Energie- und Ressourceneffizienz. Vor diesem Hintergrund und in Anbetracht, dass viele neue Technologien – bspw. die Multi-Material- Bauweise – in diversen Fachdisziplinen verstärkt Einzug erhalten, erweist sich die Notwendigkeit eines komponentenübergreifenden leichtbau- und werkstofforientierten Produktentstehungsprozesses unter gesonderter Betrachtung des Verbindungsstellen-Designs als unabdingbar.

**Stichwörter:** Leichtbau, Werkstoffauswahl, Komponentenübergreifende Methodik, Produktentstehungsprozess (PEP), Multi-Material-Design

## **A Cross-Component Lightweight and Material-Oriented Product Development Methodology Concerning Requirement-Optimized Multi-Material Structures**

**Abstract:** More and more complex systems with enormous requirements and conditions necessitate load- as well as weight-optimized and equally function-integrated multi-material structures for the today's demand on the cost-benefit ratio of optimized material properties, innovative potentials in lightweight constructions as well as the corresponding energy and resource efficiency. Considering this matter as well as the continuously increased application of new technologies – for instance multi-material systems – and thus the also more challenging design freedom, a systematic methodology is indispensable, particularly in view of a cross-component lightweight and material-oriented design (LMOD) with special emphasis on the joint section design.

**Keywords:** Lightweight Design, Material Selection, Cross-Component Methodology, Product Development Process, Multi-Material Design

MARC CLAUS SCHMITT, KARL-HEINRICH GROTE, LEHRSTUHL KONSTRUKTIONSTECHNIK, OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITÄT MAGDEBURG, INSTITUT FÜR MASCHINENKONSTRUKTION

## **Vorgehen zur Optimierung der Entwicklungstätigkeiten im Prüffeldbetrieb**

**Inhalt:** Ein verstärkter Wettbewerb zwingt Automobilhersteller zu kürzeren, effizienteren Entwicklungszyklen mit hoher Qualität. Prüfstände ermöglichen die reproduzierbare, frühzeitige Absicherung kritischer Aufgaben. Hohe Investitions- und Personalkosten schränken eine Vergrößerung der Anzahl an Prüfständen jedoch ein. Daher ist eine Methodik erforderlich, um Potentiale zu erkennen und Prozesse zu verbessern. Ziel ist die Steigerung der Effektivität und Effizienz des Prüffeldbetriebs. Um hierfür eine Methodik zu entwickeln, werden die ablaufenden Prozesse der Produktentwicklung und des Prüffeldbetriebs betrachtet. Anschließend wird die Produktion und deren Methoden zur Prozessoptimierung als mögliches Vorbild betrachtet. Eine Übertragbarkeitsprüfung stellt sicher, dass Ansätze aus dem Pro-

duktionsbereich im Prüffeldbetrieb genutzt werden können. Anhand des Vorgehens der Variantenbewertung mittels Werteprofilen wird erläutert, wie die passende Methode der Prozessoptimierung ausgewählt und umgesetzt werden kann.

**Stichwörter:** Prüffeld, Prüfstand, Produktion, Prozessoptimierung, Kennzahl, Systemtheorie, Übertragbarkeit

## Methods to identify potentialities and to improve processes to increase the effectiveness and efficiency of test fields

**Abstract:** Increased competition has forced automakers to shorter, more efficient development cycles with increased quality. Test beds enable a repeatable, early validation of critical parameters. However, high investment and personnel costs restrict an increase in the number of test beds. Therefore, methods are needed to identify potentialities and to improve processes to increase the effectiveness and efficiency of test fields. With the objective to develop a methodology for this purpose, the processes in product development and test bed operations are analysed. Subsequently, the methods of the production for process optimization are regarded as a possible paragon. The following check of applicability makes sure that it is possible to transfer the methods from the production area to the test field. Using the methodology of value profiles to compare different variants of process optimization, it is shown in which way appropriate methods can be selected.

**Keywords:** test field; test bed, production, process optimization; key performance indicator; systems theory, transferability

ANDREAS ZÖRNIG, RALF HINZELMANN, ROLAND KASPER, INSTITUT FÜR MOBILE SYSTEME, LEHRSTUHL MECHATRONIK, OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITÄT MAGDEBURG

## Methodische Konstruktion eines Radnabenmotors mit Radialfluss-Luftspaltwicklung für Kleinwagen

**Inhalt:** Am Lehrstuhl für Mechatronik der OvGU wird ein Elektroantrieb mit eisenloser Luftspaltwicklung erforscht, der sich durch eine hohe Leistungsdichte und einen hohen Wirkungsgrad auszeichnet. Dieser permanent erregte elektrisch kommutierte Außenläufer stellt die Kernkomponente eines neuartigen Radnabenmotors dar, welcher mit Hilfe der Konstruktionsmethodik nach Pahl und Beitz konstruiert wurde. Zu Anfangs werden grundlegende Kenntnisse über Radnabenmotoren und über die Luftspaltwicklung vermittelt. Als Bestandteil der Hauptphasen des Konstruktionsprozesses werden Anforderungen genannt und eine Funktionsstruktur gezeigt. Es werden prinzipielle Lösungen zu Welle-Nabe-Verbindungen und Wasserkühlerbauarten aufgelistet. Wesentliche Anordnungskonzepte des Gesamtsystems werden präsentiert. Der Artikel endet mit der Erläuterung des Feinentwurfs, sowie Hinweisen zur Fertigung.

**Stichwörter:** Radnabenmotor, Luftspaltwicklung, Direktantrieb, Konstruktionsmethodik, Welle-Nabe-Verbindung

## The Design of an electric wheel hub drive with ironless air gap winding

**Abstract:** At the chair of mechatronics of the Otto-von-Guericke-University Magdeburg an electric drive with ironless air gap winding is researched, that has got a high power density and a high efficiency. This permanent magnet electrically commutated external rotor motor is the core component of a new wheel hub drive, that was created by the use of the engineering design conform to Pahl and Beitz. At the beginning basic knowledge about wheel hub drives and the air gap winding is transferred. As an essential part of the main stages of the design process requirements are noticed and a functional interrelationship is shown. Principal solutions for shaft-hub connections and designs of watercoolers are listed. Relevant concepts for positioning of the whole system are presented. This article finishes with the explanation of the detailed design and furthermore hints for the manufacturing.

**Keywords:** wheel hub motor, air gap winding, direct drive, engineering design, shaft-hub connection

SABRINA HERBST, FRANK ENGELMANN, KARL-HEINRICH GROTE, ERNST-ABBE-HOCHSCHULE JENA, OTTO-VON-GUERICKE UNIVERSITÄT MAGDEBURG, INSTITUT FÜR MASCHINENKONSTRUKTION

## **Entwicklung von konstruktiven Hilfsmitteln für den Produktentwicklungsprozess im nicht-elektrischen Explosionsschutz an ausgewählten Beispielen**

***Inhalt:** Produkte, welche in einer explosionsfähigen Atmosphäre eingesetzt werden sollen, müssen besonders hohe Anforderungen erfüllen. Diese sind u. a. durch Normen und Richtlinien gekennzeichnet. Aktuell stehen dem Konstrukteur für die explosionsschutzgerechte Gestaltung von Produkten im nicht-elektrischen Explosionsschutz nur wenige Hilfsmittel zur Verfügung. Die vorhandenen Werkzeuge berücksichtigen jedoch nicht die spezifischen Anforderungen des Produktentwicklungsprozesses. Daher ist es erforderlich zum einen Hilfsmittel für die Erarbeitung von Wirkstrukturen und Festlegung der Zündschutzart zu entwickeln und zum anderen Hilfsmittel für die explosionsschutzgerechte Gestaltung und Dimensionierung zu schaffen.*

***Stichwörter:** Produktentwicklung, Explosionsschutz, Konstruktionsmethodik*

## **New tools for the development of effective tools for the explosion protection**

***Abstract:** Products used in explosive atmospheres have to comply with high requirements. These requirements are characterized, among other things, by standards and directives. Currently, design engineers can make use of only a few tools to dimension non-electrical products for explosive atmospheres. These tools don't regard the specific requirements of the product development process. Therefore it is necessary to create new tools for the development of effective structures and the determination of the ignition protection method on the one hand, but also to do develop tools for the explosion protection - compatible design and dimensioning on the other hand.*

***Keywords:** product development, explosion protection, design methodology*

BENEDIKT SEELHORST, TOBIAS STEFANIAK, ROBERT ODENBACH, KEVIN KUHLMANN, KARL-HEINRICH GROTE, LEHRSTUHL FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK, OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITÄT MAGDEBURG, FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU

## **Entwicklung eines Verfahrens zum Austausch von Taschenzellen bei industriell gefertigten Batteriemodulen**

***Inhalt:** Alternative Antriebskonzepte wie der Elektroantrieb gelten als langfristige Lösung der Problematik von steigenden Lärm- und Schadstoffemissionen und sind Grundlage für eine von fossilen Brennstoffen unabhängige Mobilität. Taschenzellen (pouch cells), die u.a. in Batteriemodulen für Elektrofahrzeuge eingesetzt werden, sind größtenteils mittels industrieller Fügeverfahren (Laserstrahlschweißen, Ultraschallschweißen) an ihren Polfahnen stoffschlüssig zu fest konfigurierten Batteriemodulen verbunden. Die stoffschlüssige Verbindung der Taschenzellen führt dazu, dass beim Versagen einer einzelnen Zelle das gesamte Modul ausgetauscht werden muss. Dies führt nicht nur zu einer hohen Kostenbelastung des Nutzers, sondern auch zu einer sinkenden Nutzerakzeptanz und Konkurrenzfähigkeit von Elektrofahrzeugen. In vorangegangenen Forschungsarbeiten entstand ein Methode zum Austausch von Taschenzellen aus industriell gefertigten Batteriemodulen (Hersteller: A123 Systems). Dieser Beitrag handelt von einem Verfahren zum Heraustrennen defekter Zellen, sowie der Lagerung der neuen Zellen und der Fixierung des Batteriemoduls. Zur Erfüllung der Schlüsselfunktion des Zellwechselforgangs und der Kontaktierung der Polfahnen wurden zwei modulare Verbindungen entwickelt (Klemmverbindung, Schweißverbindung). Die Klemmverbindung berücksichtigt die Kontaktierung von neuen sowie alten Batteriezellen im Modul und verzichtet auf spezielle Fertigungsverfahren. In der Schweißverbindung wird ein im Überlappverbund walzplattiertes Al-Cu-Blech aufgrund der guten elektrischen Leitfähigkeit als Leitblech eingesetzt. Eine definierte Schnittgeometrie im Blech dient der Polfahnenaufnahme und ermöglicht einen Kontaktierungsprozess im Laserstrahlschweißverfahren.*

***Stichwörter:** Elektromobilität, Batteriemodul, Taschenzellen (pouch cells), Zellverbindung, Laserstrahlschweißen, Ultraschallschweiße*

## Development of a process for replacing pouch cells in industrially manufactured battery modules

**Abstract:** *Alternative drive concepts such as the electric drive are said to be the long-term solution for the problem of rising noise and pollutant emissions and are the basis for mobility that is independent of fossil fuels. Pouch cells, used in battery modules for electric cars, are mostly joined to battery modules by connecting their battery tabs using industrial joining processes (laser welding, ultrasonic welding). The substance-to-substance bond of the pouch cells does not allow the replacement of single battery cells. Therefore, a defect of one of the battery cells requires the whole battery module to be replaced. This not only makes it more expensive for the user but subsequently leads to a lower degree of user acceptance and makes electric cars less competitive. Previous research work resulted in a process to replace batteries in industrially produced battery modules (A123 Systems). This article presents a procedure to remove defect battery cells and a process to mount new battery cells in the battery module are being presented. Special attention is paid to the battery tab connection, the key function for a battery replacement process. Two modular connection systems, a clamp connection and a weld connection, have been developed. The clamp connection allows the bonding of new as well as old battery cells in the module without the need of special production processes. Due to its good electrical conductivity, the weld connection uses a roll-bonded Al-Cu-sheet as a battery tab connection plate. A defined gap geometry in the plate allows the bonding of the battery tabs in a laser beam welding process.*

**Keywords:** *Electric mobility, battery module, pouch cell, battery tab connection, laser beam welding, ultrasonic welding*

RALF HINZELMANN, ANDREAS ZÖRNIG, NORMAN BORCHARDT, ROLAND KASPER, INSTITUT FÜR MOBILE SYSTEME, LEHRSTUHL MECHATRONIK, OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITÄT MAGDEBURG, ELEKTROMOTOREN UND GERÄTEBAU BARLEBEN GMBH

## Parametrisches Konstruktionswerkzeug für die Gestaltung von elektrischen Maschinen mit Luftspaltwicklung

**Inhalt:** *In der Produktentwicklung besteht eine Herausforderung darin, dass in einer frühen Phase des Entwicklungsprozesses die Anforderungen an die Eigenschaften des Produktes nicht genau definiert werden können. Außerdem bestehen meist komplexe Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Eigenschaften des Produktes. Deshalb muss bei der Detaillierung, Modellierung und Berechnung des Produktes iterativ vorgegangen werden. Dies ist ein sehr zeitintensiver Prozess. Insbesondere bei der Konstruktion von elektrischen Maschinen sind die Zusammenhänge zwischen den mechanischen, thermischen, elektrischen und kinematischen Größen zu beachten. Die Qualität der Lösung wird von dem Grad der Abstimmung all dieser Größen aufeinander bestimmt. Deshalb wurde ein vollständig parametrisches Konstruktionswerkzeug entwickelt, welches dieser Anforderung gerecht wird, indem es einen schnellen Austausch von Parametern zwischen den jeweiligen domänenspezifischen Berechnungswerkzeugen realisiert. Zur thermischen Analyse wird MATLAB Simulink verwendet, zur mechanischen Analyse wird Autodesk Inventor verwendet und zur Wälzlagerberechnung wird „BEARINX-online Easy Friction“ genutzt. Die Parameter werden in Microsoft Excel verwaltet und visualisiert. Die Anwendung des entwickelten parametrischen Konstruktionswerkzeuges erfolgt beispielhaft für einen Generator mit Luftspaltwicklung.*

**Stichwörter:** *Parametrische Konstruktion, Thermische Simulation, Luftkühlung, Produktentwicklung, elektrische Maschinen, Generator, Luftspaltwicklung*

## Development of a parametric design tool for an alternator with air gap winding

**Abstract:** *A challenge in product development processes is that in an early phase the characteristics of the final product can't be defined precise. Furthermore the different characteristic properties of a product are linked complexly. This is why the detailing, modeling and calculation of a product is an iterative process. This makes the product development time-consuming. Especially at the final design engineering of electrical machines the relationships between thermal, mechanical, electric and kinematic properties need to be taken into account. The quality of the final solution is based on the match of all those properties. Therefore a complete parametric design tool was developed which can handle this challenge by realizing a fast exchange of a large parameter set between different calculation tools. For thermal analysis MATLAB Simulink is used. For mechanical analysis Autodesk Inventor is used and for the roller*

bearing calculation „BEARINX-online Easy Friction“ is used. The parameters set is preprocessed, handled and display in Microsoft Excel. The application of the tool is shown exemplarily for an alternator with air gap winding.

**Keywords:** Parametric design, thermal simulation, air cooling, product development, electrical machines, alternator, air gap winding

CLEMENS BIRK, ALBERT ALBERS, SABINE MUSCHIK, NIKOLA BURSAC, KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT), IPEK – INSTITUT FÜR PRODUKTENTWICKLUNG, TRUMPF WERKZEUGMASCHINEN GMBH + CO. KG

## **Systematik zur Bewertung von Baukästen am Beispiel eines Werkzeugmaschinenherstellers**

**Inhalt:** Der marktseitig geforderten Variantenvielfalt versuchen Unternehmen zunehmend mit der Einführung von Baukastensystematiken zu begegnen, um einerseits die externe Vielfalt zu ermöglichen und andererseits die interne Vielfalt und die damit einhergehende Komplexität in einem handhabbaren Rahmen zu halten. Neben organisatorischen Anpassungen müssen etablierte Prozesse und Strukturen modifiziert und neue Methoden sowie ein gemeinsames Baukastenverständnis etabliert werden. Hierfür sind Bewertungssystematiken für Steuerungs- und Controlling-Aufgaben notwendig, welche die Besonderheiten eines Baukastens berücksichtigen. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Bewertungssystematik abgeleitet und praxisnah evaluiert, die den genannten Anforderungen gerecht werden kann. Dabei orientiert sich diese an der Systemtheorie und ermöglicht so eine Bewertung sowohl auf Baukastenebene als auch auf Modulebene. Der thematische Fokus der Bewertung lässt sich durch Anpassung der berücksichtigten Datengrundlage variieren. Bei der Datenerhebung folgt die Bewertungssystematik dem Ansatz, bevorzugt auf bereits etablierte Datenerhebungsprozesse zurückzugreifen. Dieses Vorgehen hat zum Ziel, den zusätzlichen Aufwand gering zu halten und vor allem bereits gewonnene Akzeptanz und Erfahrungswissen bezüglich der erhobenen Daten nutzbar zu machen. Durch eine übersichtliche Darstellung der Daten und einer datenspezifischen Bewertungslogik lässt sich die entwickelte Systematik „Status Board x“ sowohl im Sinne der kontinuierlichen Validierung als auch in Entscheidungssituationen auf Managementebene nutzen.

**Stichwörter:** Baukasten, Bewertungssystematik, Werkzeugmaschinenhersteller

## **Systematic Approach for Evaluating a Construction Kit on the Example of a Machine Tool Manufacturer**

**Abstract:** In order to address market expectations to offer a varied product portfolio, more and more companies introduce a modular design to provide the required external diversity and keep the internal diversity as well as the overall complexity within manageable boundaries. Besides organizational adjustments, established processes and structures need to be adapted and new methods have to be introduced. To do so, controlling needs evaluation systematics that respect the particularities of construction kits. Therefore this study introduces a rating methodology which acknowledges these requirements. With respect to system theory the systematic allows to review the overall construction kit as well as individual modules. By adjusting the considered data basis the thematic focus of the evaluation can be shifted. Data collection is preferably based on already established processes in order to minimize additional efforts and to keep obtained acceptance and empirical knowledge available regarding the data collected. Due to a clear presentation of data and data specific validation system, the rating methodology “Status Board x” can be used for continuous validation as well as in decision-making situations at management-level.

**Keywords:** Construction kit, evaluation systematic, machine tool manufacturer

ALEXANDER SCHMID, GEORG JACOBS, MANUEL LÖWER, TIM KATZWINKEL, WALTER SCHMIDT, JUSTUS SIEBRECHT, LEHRSTUHL UND INSTITUT FÜR ALLGEMEINE KONSTRUKTIONSTECHNIK DES MASCHINENBAUS, RWTH AACHEN

## **Datenbankbasierte Kompatibilitätsbewertung technologieintegrierender Werkzeugmaschinen**

***Inhalt:** Die Entwicklung technologieintegrierender Werkzeugmaschinen erfordert eine Strukturierung und Systematisierung des Produktentstehungsprozesses, um neuartige synergetische Fertigungsverfahrenskombinationen in einem Maschinensystem zu erschließen. Ein Lösungsansatz, der kombinatorischen Vielfalt zu begegnen, liegt in der Anwendung einer relationalen Datenbank, die Experten- bzw. Produktwissen komprimiert bereitstellt. Eine Bewertung bzw. eine für den jeweiligen Anwendungsfall geeignete Auswahl erfolgt auf Basis der technologischen Verträglichkeit und in weiteren Evaluationschritten durch die Einbeziehung zusätzlicher ökonomischer und technischer Parameter. Eine Validierung des relationalen Datenbanksystems erfolgt basierend auf einer retrospektiven Analyse eines Multi-Technologie-Metallbearbeitungszentrums sowie eines Inkrementellen Blechbearbeitungszentrums*

***Stichwörter:** Relationale Datenbank, technologieintegrierende Werkzeugmaschinen, technologische Kompatibilitätsbetrachtung.*

## **A systematic development and design process for Multi-Technology-Machine-Tools**

***Abstract:** A systematic development and design process for Multi-Technology-Machine-Tools forms the basis to open up novel synergetic process combinations. One possible approach to meet the combinatorial diversity is to apply a relational database including current expertise and product know-how. The evaluation is currently depending on technological compatibility and should in further steps be extended by economic aspects to guarantee a holistic approach. In a retrospective analysis the developed database is validated by a Multi-Technology-Machining-Centre and an Integrative-Sheet-Metal-Processing-Centre.*

***Keywords:** Relational database, technology integrating machine tools, technological compatibility evaluation*

SIMON KIND, KONRAD EXNER, RAINER STARK, SEBASTIAN NEUMEYER, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN, LEHRSTUHL INDUSTRIELLE INFORMATIONSTECHNIK, FRAUNHOFER INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK, GESCHÄFTSFELD VIRTUELLE PRODUKTENTSTEHUNG

## **Smart Engineering im Kontext von Industrie 4.0: Baukastensysteme für die erlebbare Absicherung von Montageanlagen**

***Inhalt:** Die Vision der Vernetzung von Produktionsressourcen untereinander und mit intelligenten Produkten, der sogenannten „Cyber-Physische Systeme“ (CPS), soll einen hohen Mehrwert für die Industrie bieten. Die heute häufig mechanisch zentriert arbeitenden Anlagenbauer müssen hierfür in die Steuerungen der Anlagen zusätzliche Funktionen und Schnittstellen integrieren. Die dadurch steigende Komplexität des Steuerungsentwurfes sowie der Verhaltensmodellierung fordert von den Anlagenbauern einen Paradigmenwechsel im Entwicklungsvorgehen und bei den Absicherungsmethoden. Im Rahmen des Projektes VIB-SHP wurde die Methode der Virtuellen Inbetriebnahme (VIBN) für die Absicherung einer Anlagensteuerung im Kontext Industrie 4.0 untersucht. Als Ergebnis wurde ein Baukasten entwickelt, der die Partialmodelle der unterschiedlichen Entwicklungsdisziplinen (M-CAD, E-CAD, SPS-Funktionsbausteine) sowie die steuerungstechnischen Verhaltensmodelle umfasst. Durch einen Abgleich der disziplinspezifischen Partialmodelle in einer PLM-Lösung wird die Konsistenz der Partialmodelle sichergestellt. Neben der Verkürzung des Entwicklungsprozesses wird auch die disziplinübergreifende Abstimmung der Entwicklungen erleichtert. Darüber hinaus können die Entwickler am funktionalen, virtuellen Prototypen die disziplinspezifischen Entwürfe erlebbar prüfen, frühzeitig die Anlage mit Kunden und zukünftigen Bedienern abstimmen und vor der Herstellung und dem Aufbau der Anlage Kundenwünsche berücksichtigen.*

***Stichwörter:** Smartes Engineering, CPPS, Industrie 4.0, Baukasten, Verhaltenssimulation*

## Smart engineering in the context of Industrial Internet of Things: Construction kits for an immersive validation of production systems

**Abstract:** *The vision of interlinked, intelligent manufacturing systems is explored in research and industry. German mid-sized manufacturing system designers still follow a mechanic centered design. Due to increasing communication processes and additional interfaces of the manufacturing systems, the complexity in PLC-design and behavior modeling are raising and demand a change of existing design approaches and validation methods. Within the project VIB-SHP, virtual commissioning is explored for the usage of assembly system design. Therefore, a construction kit with discipline-specific models (M-CAD, E-CAD, PLC-modules) as well as behavior models covering the discipline specific designs is provided. With the help of a PLM-Solution, the consistency of the discipline specific models is ensured. Besides an early PLC-test the design process can be shortened. Additionally, designers are enabled to validate their discipline specific designs, at the virtual manufacturing system prototype with all future functions, align the manufacturing system with the customer and future operators and consider changes of the customer before installation and commissioning*

**Keywords:** SMART Engineering, CPPS, Industrie 4.0, construction kit, behavior simulation

ROLAND WEGMANN, STEFAN ZORN, KLAUS BRÖKEL, LEHRSTUHL KONSTRUKTIONSTECHNIK / CAD, UNIVERSITÄT ROSTOCK, FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU UND SCHIFFSTECHNIK

## Zeitlose Algorithmen und ihre Adaption in modernen Simulationsverfahren

**Inhalt:** *Gegenstand der Arbeit ist die Anwendung und Anpassung zeitloser mathematischer Algorithmen am Beispiel des hydrodynamischen Gleitlagers. Zunächst wird auf die Notwendigkeit einer ballastfreien mathematischen Formulierung des Problems als Voraussetzung einer effektiven Lösung hingewiesen. Im zweiten Teil werden die Konzepte der numerischen Lösungsverfahren und ihre Anpassung beschrieben. Es werden das Differenzen-Verfahren, das Gauß'sche Eliminationsverfahren, das GMRES-Verfahren und das Newton'sche Näherungsverfahren betrachtet.*

**Stichwörter:** *Hydrodynamik, Reynolds'sche Differentialgleichung, Linearisierung, Differenzenverfahren, Gauß'sches Eliminationsverfahren, GMRES-Verfahren, Newtons-Verfahren*

## Timeless algorithms and their adaptation to modern simulation procedures

**Abstract:** *Subject of this paper is how to use and to adapt timeless mathematical algorithms using the example of the hydrodynamic journal bearing. First, attention is drawn to the need for a ballast-free mathematical formulation of the problem as a prerequisite of an effective solution. In the second part, the concepts of numerical methods and their adaptation are described. The difference method, the Gaussian elimination method, the GMRES method and Newton's method of approximation are considered.*

**Keywords:** *hydrodynamic, Reynolds equation, linearization, Gaussian elimination algorithm, GMRES algorithm, Newton's method*

HANS-PETER PRÜFER, RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM; IM RUHESTAND

## Optimierungsmethoden im Konstruktionsprozess - Eine kritische Betrachtung

**Inhalt:** *Die Produktoptimierung ist ein wesentlicher Bestandteil der Produktentstehung. Nach der subjektiven heuristischen Vorgehensweise geht man immer mehr zu systematischen Optimierungsalgorithmen über. Wir geben hier eine Übersicht über die verfügbaren Verfahren und betrachten dabei ihre Möglichkeiten ebenso wie ihre Grenzen. Für typische Aufgabenstellungen werden Empfehlungen gegeben, gleichzeitig wird erklärt, warum es in der Technik keine mathematisch exakte Optimierung geben kann.*

**Stichwörter:** *Optimierungsalgorithmen, Bewertungskriterien, technische Optimallösungen*

## Optimization Methods and Product Design. A Skeptic's View

**Abstract:** Optimization processes are a well known tool of product design. Optimal products can be achieved in a heuristic way or by means of algorithms. A survey of methods is complemented by a critical evaluation, including their capabilities and limitations as well as recommendations for their usage. Finally it is shown that the exact mathematical solution of the general optimization problem does not exist.

**Keywords:** algorithmic optimization, evaluation criteria, optimized technical solutions

MATTHIAS KLAUS, CHRISTINE SCHÖNE, RALPH STELZER, LEHRSTUHL KONSTRUKTIONSTECHNIK / CAD, TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN, FAKULTÄT MASCHINENWESEN

### FE- Netzverformung an Scandaten ähnlicher Objekte

**Inhalt:** Wir präsentieren eine Methode zur Verformung von FE- Netzen an Scandaten ähnlicher Objekte. Die Verformung verläuft unter Beibehaltung der Netztopologie, wodurch sich lediglich die Positionen der FE- Knoten ändern. FE- Elementtypen und Materialangaben bleiben unverändert, Last- und Lagerstellen passen sich der geänderten Geometrie automatisch an. Die Berücksichtigung relevanter Features in den Datensätzen sichert dabei die Verformung semantisch tatsächlich zueinander gehöriger Objektbereiche. Das Verfahren ersetzt aufwendige Prozesse zur FE- Modellerstellung realer Objekte, wenn Simulationsmodelle bereits für gleichartige Objekte vorhanden sind.

**Stichwörter:** 3D- Datenverarbeitung, 3D- Digitalisierung, FEM, Netzverformung

### Deformation of finite element meshes on scanning data of similar objects

**Abstract:** We present a method for FE- mesh deformation on scanned data of similar objects. By merely re- computing the coordinates of the FE- mesh nodes, mesh topology isn't changed by the deformation algorithm. FE- element types and material properties stay unmodified, loads and constraints adapt to the new geometry automatically. Deforming essentially corresponding parts of the objects is ensured by considering matching mesh features. Extensive procedures of building FE- models of real world objects can be replaced by this method, if simulation models of similar objects are already in existence.

**Keywords:** 3d data processing, 3d digitalization, FEA, mesh deformation

MARKUS ZIMMERMANN, DANIEL BILLENSTEIN, DANIEL GOLLER, JOHANNES GLAMSCH, FRANK RIEG, LEHRSTUHL FÜR KONSTRUKTIONSLEHRE UND CAD, UNIVERSITÄT BAYREUTH

### Untersuchung des Leistungspotentials GPU und HPC beschleunigter Gleichungslöser für den Einsatz in der Finiten-Elemente-Analyse mit Z88

**Inhalt:** In verschiedensten Ingenieurwissenschaften ist die Finite-Elemente-Analyse (FEA) ein unverzichtbares Werkzeug geworden. Diese stützt sich auf eine definierte Abfolge von Schritten, wobei eine der mathematischen Hauptaufgaben die Lösung eines linearen Gleichungssystems ist, was, abhängig vom vorliegenden Netz, sehr viel Zeit und Rechenleistung beanspruchen kann. Daher liegt in diesem Schritt ein großes Optimierungspotential den Produktentstehungsprozess zu beschleunigen und die dadurch entstehenden Kosten zu reduzieren. In den letzten Jahren wurde es möglich mit Hilfe von Grafikprozessoren allgemeine Berechnungen durchzuführen (GPGPU: General Purpose Computation on Graphics Processing Unit). Eine andere Möglichkeit der massiven Parallelisierung zur Beschleunigung ist die Verwendung von Computer-Cluster.

**Stichwörter:** FEA, FEM, Parallelisierung, Solver, GPU, GPGPU, High Performance Computing, HPC

## Investigation of the potential acceleration of finite element analysis with GPU and HPC solver for Z88

**Abstract:** In almost any engineering science, finite element analysis (FEA) has become an indispensable tool. It is based on a defined sequence of steps, whereas one of the main mathematical tasks is the solution of a linear system, which, depending on the mesh, can take a significant amount of time and processing power. Hence, this step offers a great potential for optimization, to speed up the product development process and reduce the associated costs. In recent years this speedup has become possible with graphics processors being able to perform general calculations (GPGPU: General Purpose Computation on Graphics Processing Unit). Another possibility of massive parallelization for acceleration are computer clusters.

**Keywords:** FEA, FEM, parallelization, solver, GPU, GPGPU, high performance computing, HPC

CHRISTIAN DINKEL, DANIEL GOLLER, CHRISTIAN GLENK, FRANK RIEG, LEHRSTUHL FÜR KONSTRUKTIONSLERE UND CAD, UNIVERSITÄT BAYREUTH

## Informationsübertragung zwischen Knoten in der Finite- Elemente-Analyse am Beispiel der Wärmeübertragung

**Inhalt:** Verschiedene mathematische Verfahren dienen dazu, Kontaktprobleme in der Finiten-Elemente-Analyse lösen zu können. Diese Verfahren ermöglichen es, zwei oder mehrere Knoten verschiedener Bauteile mathematisch miteinander zu verbinden, um die Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Bauteilen zu berücksichtigen. Dazu müssen Informationen zwischen bestimmten Knoten des Finite-Elemente Netzes übertragen werden. Dies kann nahezu beliebig ausgebaut werden, indem nicht nur die Information, welche Knoten miteinander interagieren, in das mathematische Gleichungssystem eingebaut wird, sondern auch weitere Zusammenhänge. Im vorliegenden Beitrag geschieht dies am Beispiel der Wärmeübertragung. Es wird gezeigt, wie die analytischen Zusammenhänge der Wärmeleitung zwischen Finite-Elemente Knoten in die Kontaktdefinition integriert werden, um einen unvernetzten Bereich zwischen zwei Bauteilen zu überbrücken. Auf diese Weise kann die Berechnungsdauer erheblich reduziert, die thermischen Effekte im betrachteten Bereich aber dennoch berücksichtigt werden.

**Stichwörter:** Finite-Elemente-Analyse, thermische Simulation, Lagrange-Multiplikator-Verfahren

## Information transmission between nodes within thermal Finite-Element-Analysis

**Abstract:** There are various mathematical methods to solve contact problems within Finite-Element-Analyses. These methods allow it to connect two or more nodes of different parts in a mathematical way to consider the interactions of the contacts between the involved parts. Information transmission between the nodes of the finite-element mesh takes place. This transmission can be expanded almost indefinitely by not only transmitting which nodes are involved but also by including further correlations. In this paper this happens in case of heat transmission. It is shown how the analytical relations of heat conduction between finite-element nodes can be integrated in the contact definition to bridge over a non-meshed area between two parts. This way, the computation duration can be reduced significantly, whereas the thermal effects are still considered.

**Keywords:** Finite-Element-Analysis, thermal simulation, method of Lagrange multiplier.

ALI DARYUSI, PROFESSUR FÜR MASCHINENELEMENTE UND CAD/CAE, HOCHSCHULE OFFENBURG, FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU UND VERFAHRENSTECHNIK

## FEM-Berechnung der Stützwirkung an Durchdringungskerben

**Inhalt:** Der hier vorliegende Beitrag beschreibt die mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) gewonnenen Untersuchungsergebnisse zur Bestimmung von Stützziffern und Kerbwirkungszahlen bei Getriebe-Wellen. Es handelt sich dabei zum einen um die Kerbüberlagerung einer umlaufenden Halbkreisnut in Kombination mit überlagerter Querbohrung. Da zur Bestimmung der Stützwirkungszahlen die Berechnung der bezogenen Spannungsgradienten in Tiefenrichtung benötigt wird, wurden die Parameter der Kerbgeometrie (der Umlaufnutradius sowie der Querbohrungsdurchmesser) variiert. Als Ergebnis dieser

Arbeit wurde festgehalten, dass sich die Formzahl infolge der Durchdringungskerbe im Vergleich zur Formzahl einer Einzelkerbe (z. B. Umlaufnut oder Querbohrung) erhöht und dementsprechend erhöht sich die Kerbwirkungszahl deutlich im Vergleich zu einer Einzelkerbe. Die numerisch erfassten Kerbwirkungszahlen an den erforschten Durchdringungskerben wurden mit analytischen Ansätzen aus der Fachliteratur verglichen. Entsprechende Diagramme und Zahlenwerte werden zur Abschätzung der Kerbwirkungs- und Stützzahlen je nach Belastungsart Torsion, Biegung und Zug/Druck angegeben.

**Stichwörter:** FEM, Mehrfachkerben, Stützwirkung, Kerbwirkungszahlen, bezogenes Spannungsgefälle

## **FEM of the supporting effect and notch factors in drive shafts**

**Abstract:** The article describes the study results with the finite element method (FEM) for the determination of supporting effect and notch factors in drive shafts with 3D- multiple notches. It involves a circumferential groove in combination with a vertical hole. The parameters of the notch geometries were varied in order to determine the related stress gradient. As a result of this work was held that the notch effect factors of the multiple-notch are greater than those of a single notch. The numerically detected notch factors of the researched multiple notches were compared with analytical approaches from technical literature. Corresponding diagrams and numerical values are specified and it were developed new approximations for estimation of the notch factors depending on the type of load torsion, bending and tensile.

**Keywords:** FEM, multiple notches, notch support factors, notch effect factors, relative stress gradient

DANIEL BILLENSTEIN, PASCAL DIWISCH, CHRISTIAN DINKEL, FRANK RIEG, LEHRSTUHL FÜR KONSTRUKTIONSLEHRE UND CAD, UNIVERSITÄT BAYREUTH

## **Numerische Betrachtung von Zwangsbedingungen in der Finite Elemente Analyse**

**Inhalt:** Die Existenz von finiten Elementen mit stark unterschiedlichen Steifigkeiten führt innerhalb der Finiten Elemente Analyse (FEA) zu numerischen Problemen, die bis zum Abbruch des Gleichungslösers führen können. Eine Lösung zur Substitution steifer Strukturelemente bieten Koppelbedingungen, welche über geometrische Beziehungen mithilfe analytischer Zwangsbedingungen ein ideal steifes Elementverhalten abbilden. Das Einbringen solcher Zusatzgleichungen in das zu lösende Gleichungssystem beeinflusst jedoch ebenfalls die Konditionszahl. Die drei in der FEA etablierten Verfahren (Transformations-, Penalty- und Lagrange-Verfahren) zum Einbau von Zwangsbedingungen wurden an einem Praxisbeispiel hinsichtlich der Kondition untersucht und gegeneinander verglichen.

**Stichwörter:** Finite Elemente Analyse, Zwangsbedingung, Kondition, Koppelbedingung

## **Numerical consideration of constraints at the finite element analysis**

**Abstract:** In Finite Element Analysis (FEA) the existence of finite elements with very different rigidities leads to numerical problems, which can result in solver abort. Coupling constraints provide a solution for the substitution of rigid structural elements. They represent ideal rigid element behavior using geometric relationships. However, adding these additional equations to the equation system affects the condition number. In this paper, the three most common methods of implementing these constraints (Transformation-, Penalty- and Lagrangian-Method) are examined and compared based on a practical example. The studies are conducted with regard to the condition number.

**Keywords:** Finite Element Analysis, Constraint, Condition number, coupling

PASCAL LÜNNEMANN, CARINA FRESEMAN, SEBASTIAN NEUMEYER, WEI MIN WANG, PROF. DR.-ING. RAINER STARK, FRAUNHOFER IPK, INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK, TU BERLIN, FACHGEBIET INDUSTRIELLE INFORMATIONSTECHNIK

## **Entscheidende Veränderungen in der zukünftigen kollaborativen Produktentwicklung**

***Inhalt:** Die gemeinschaftliche Produktentwicklung ist Alltag in der deutschen Industrielandschaft. Die Globalisierung, kürzere Entwicklungszyklen und zunehmende Produktkomplexität verlangen eine effiziente Einbindung der zahlreichen Partner in allen Phasen der Produktentwicklung. Im Rahmen einer Studie wurde die aktuelle Situation in der kollaborativen Produktentwicklung sowie das von Forschung und Industrie erwartete Zukunftsbild erhoben. Nachfolgend werden ausgewählte Ergebnisse dieser Studie vorgestellt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den heute eingesetzten und zukünftig zu erwartenden Werkzeugen in ihrem Zusammenspiel mit den Prozessen der kollaborativen Produktentwicklung. Die Prozesse werden, so zeigt es die Studie, zukünftig das zentrale Koordinationsinstrument für die unternehmensübergreifende Entwicklung sein und sind entsprechend anerkannt, während sich bei den unterstützenden IT-Werkzeugen eher Mängel zeigen.*

***Stichwörter:** Kollaboration, IT-Systeme, Produktentwicklung, Prozesse*

## **Crucial changes in future collaborative product development**

***Abstract:** The collaborative product development is daily business in German industry. Globalization, shorter development cycles and increasing product complexity require an efficient involvement of numerous partners in all phases of product development. In a study of the current situation of collaborative product development an industrial vision was raised. Below selected results of this study will be presented. The focus is on the tools used today and anticipated in their interaction with the processes of collaborative product development. As proven by the study collaboration processes will remain the central coordination element for enterprise-wide engineering also in the future. The supporting IT-tools, however, still show deficiencies and limitations.*

***Keywords:** Collaboration, IT-systems, product development, processes*