



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



# Methoden zur Absicherung simulationsgerechter Produktmodelle

René Andrae · Peter Köhler

## Einleitung

Immer höhere Anforderungen an die Interdisziplinarität der virtuellen Produktentwicklung (VPE) erfordern qualifizierte Produktmodelle, die eine vollständige Integration und Verknüpfung aller relevanten Teilprozesse absichern. Gleichzeitig soll dabei für den Anwender das Produktverständnis, wie auch die Qualität des Produktes und des Prozesses erhöht werden. Eine Folge daraus sind kurze Innovationszyklen und eine Erhöhung der Transparenz des Prozesses. Die Anwendung numerischer Simulationsmethoden hat sich als dritter essentieller Bestandteil neben Konstruktion und Versuch in der VPE etabliert (Pährisch et al. 2012). Eine Absicherung durch virtuelle Prototypen in einer frühen Konzeptphase unterstützt dabei den Konstruktionsprozess. Ein Nachteil ist, dass die Verwendung virtueller Prototypen noch unzureichend in die übrigen Prozessschritte integriert und damit eine Sensibilisierung für eine vorausschauende Modellerzeugung noch nicht vorhanden ist. Ebenso ergab eine Studie, dass Berechnungsingenieure durchschnittlich 50% ihrer Arbeitszeit auf Datenbeschaffung verwenden müssen und nur jeweils 10% auf die Modellaufbereitung (Sendler et al. 2011). Dies liegt u. a. an der sog. Kommunikationsbarriere zwischen der Konstruktion und Simulation beschreibt. Eine Lösung dazu ist eine tiefere Integration dieser beiden Disziplinen in ein Produktmodell. Ein Lösungsansatz ist die Durchführung konstruktionsbegleitender Simulationen. Diese können mit in CAD-Systemen integrierten Simulationsmodulen durchgeführt werden. Die Integrationstiefe der gegebenen Verknüpfungen ist allerdings meist sehr gering.

Dieser Beitrag befasst sich mit Techniken, welche einen systematischen Aufbau eines simulationsorientierten Produktmodells absichern. Umgesetzt wird dies durch die Verwendung simulationsgerechter Komponenten, Feature und Analysen. Diese unterstützen eine automatisierte Modelltransformation im CAD-Prozess, an der Schnittstelle von Konstruktion und Simulati-

on. Damit wird die Prozesskette Konstruktion-Simulation verkürzt. Ebenso werden auch durch die Integration tiefgehender Inferenzmechanismen fortgeschrittene Simulationstechniken, wie auch die Definition und Informationsübergabe von Rand- und Lastbedingungen und weiteren Details auf höherer Instanz ermöglicht.

## Stand der Wissenschaft

Im Folgenden werden Methoden dargestellt, welche die Notwendigkeit neuer Techniken für eine tiefgehende und frühzeitige Berechnungsintegration verdeutlichen. Daraufhin werden bereits existierende Ansätze präsentiert. Dieses Kapitel endet mit einem Zwischenfazit, welches aktuelle Defizite hinsichtlich der Prozesskette Berechnung – Konstruktion – Simulation zusammenfasst.

### Simulationsgerechte Produktmodelle

Der Fortschritt von rechnergestützten Methoden führt zu einer immer virtueller werdenden Betrachtungsweise des Produktentstehungsprozesses. Dies mündete in dem Begriff der integrierten Produktentwicklung. Definiert ist diese als eine Arbeitsweise, welche die gesamtheitliche Sicht des Entwicklungsprozesses mit virtuellen Werkzeugen beschreibt. Als datentechnische Basis dient das virtuelle Produktmodell, vgl. Abbildung 1. Die Grundlage fast aller digitaler Produktmodelle sind digitale, im CAD-System erstellte, Mastermodelle: *„Aus diesem „Grundmodell“ lassen sich die Partialmodelle ableiten. Entsprechend bedeutungsvoll ist die sorgfältige Erstellung des digitalen Mastermodells. Denn nur durch sinnvoll strukturierte und insbesondere wissensangereicherte Mastermodelle kann die durchgängige wirtschaftliche Verwendung sichergestellt werden“* (Kesselmans 2014).

Entwicklungszeiten- und kosten zu reduzieren, mehr Produktinnovationen zu nutzen, wie auch neue Technologien zu verwenden sind nur einige Anforderungen an die moderne Produktentwicklung. Im Laufe der Zeit wurden immer neue Methoden entwickelt, um den bestmöglichen Kompromiss zwischen oft auch widersprüchlichen Anforderungen zu finden. Exemplarisch für diesen Beitrag werden das „Frontloading“ und das „Design for X“ behandelt.

Der frühzeitige Einsatz von optimierten Methoden und IT-Werkzeugen in der Produktentwicklung fällt unter den Begriff des „Frontloading“. Die Anwendung erfolgt während der Produktkonzeption, also in der Phase, in der das größte Kostenoptimierungspotenzial vorliegt (Szeghó et al. 2007). Dem Konstrukteur, welcher dadurch immer mehr im Zentrum eines Informationssystems steht, ist damit die Möglichkeit gegeben, relevante Informationen

aus internen wie auch externen Informationsquellen zu verwenden (Szeghó et al. 2007). Allerdings ist eine Systemunterstützung in der Konzept- und Entwurfsphase noch sehr gering (Kesselmans 2014).

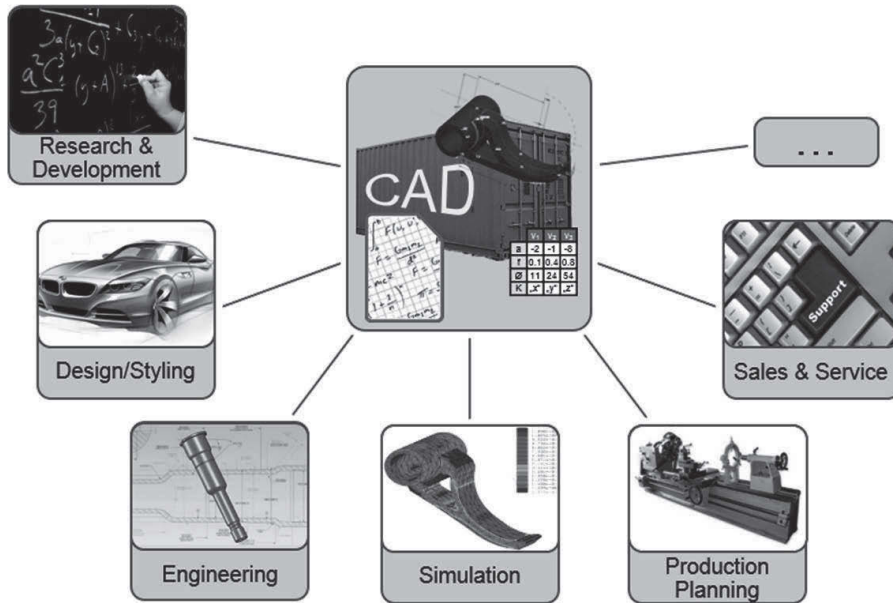


Abbildung 1: Digitales Modell aus zentrales Element (Klemme 2015)

Der Begriff des „Design for X“ beschreibt das Beachten von Gerechtheiten in der Produktplanungsphase (Stoeber et al. 2009): „DfX ist eine Vorgehensweise, in welcher Methoden und Wissen genutzt werden, um das Produkt so zu gestalten, dass das Kriterium X oder der Bereich X unterstützt wird“. In (Stoeber et al. 2009) präsentiert Stoeber et. al. Ansätze wie eine ganzheitliche Umsetzung des Design for X innerhalb der integrierten Produktentwicklung aussieht. Es wurde hierbei herausgearbeitet, dass gerade bei der resultierenden Beeinflussung der Produkteigenschaften Simulationen einen höheren Stellenwert einnehmen. „Für deren zielgerichteten Einsatz sind sowohl etablierte Referenzprozesse als auch ein effektives Management der anfallenden Produktdaten notwendig. Andererseits bedarf es einer zunehmenden Integration zwischen Synthese- und Analyseschritten“ (Stoeber et al. 2009). Klemme (Klemme 2015) präsentiert Methoden für einen wissensbasierten Aufbau simulationsorientierter Produktmodelle.

Er orientiert sich daran, dass die von ihm herausgearbeiteten komplexen Verknüpfungen in der modernen Produktentwicklung noch nicht ausreichend im Sinne des Design for X sind. Seine entwickelten Methoden stützen sich auf bereits mit Wissen angereicherte digitale Produktmodelle. Verwendet werden diese als Datenbasis für gekoppelte Simulationsprozesse (Klemme 2015).

Beide Methoden zielen auf eine möglichst frühe Ermittlung von Anforderungen an das Produkt. Gewährleistet wird dies durch eine frühzeitige Unterstützung des Konstrukteurs. Für eine tiefergehende Verknüpfung von CAD-CAE sind digitale Produktmodelle erforderlich, welche auf einer einheitlichen Datenbasis basieren. Zur Absicherung der Multidisziplinarität ist die Definition von Unterstützungssystemen notwendig.

### Verknüpfung von Gestaltung und Berechnung in CAD-Prozessen

Viele Forschungseinrichtungen beschäftigen sich mit neuen Lösungsansätzen zu einer tiefergehenden Verknüpfung von Gestaltung und Berechnung. Wichtige Teilthemen ergeben sich hierbei aus der sog. Schnittstellenproblematik und den fehlenden Möglichkeiten zur Abbildung der Parametrik in neutralen Datenformaten, was eine durchgängige Verknüpfung verhindert (Kesselmans 2014). Generell wird bei der Berechnungsintegration zwischen integrierten und gekoppelten Verfahren unterschieden (vgl. Abbildung 2).

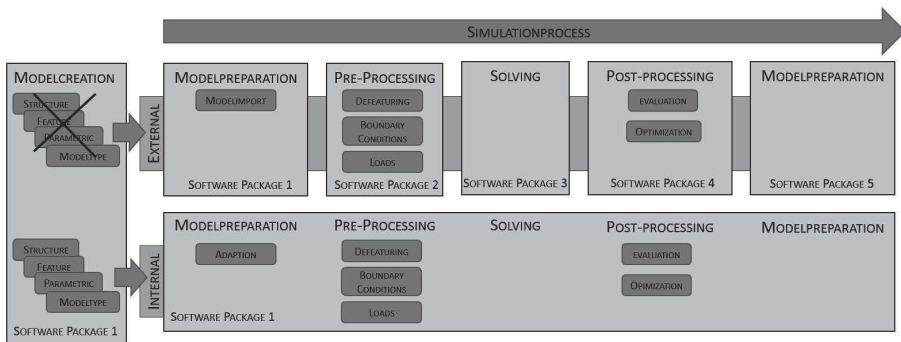


Abbildung 2: Vergleich zwischen integrierten und gekoppelten Verfahren (nach Klemme 2015)

Mit ersteren können konstruktionsbegleitende Simulationen direkt in einer an das CAD-System angegliederten Softwareumgebung durchgeführt werden. Bei gekoppelten Berechnungen wird auf sog. Stand-Alone-Lösungen zurückgegriffen, welche zumeist die Anwendung fortgeschrittene Simulationen zulassen. Bei den in CAD-Systemen integrierten Simulationstools

handelt es sich zu meist um Finite-Elemente- (FE-), Strömungs- (CFD-) oder Mehrkörpersimulationen (MKS). Diese integrierten Tools bieten häufig nur eine eingeschränkere Funktionalität im Vergleich zu den Stand-Alone-Lösungen. Vorteilhaft ist hier, dass eine direkte Anbindung an das CAD-Modell gegeben ist, sodass die Geometrie und verschiedene Metadaten nicht erst über neutrale Schnittstellenformate übertragen werden müssen. Beide Verfahren zur Berechnungsintegration lassen sich durch Knowledge-based Engineering (KBE) Methoden, hinsichtlich der simulationsgerechten Absicherung des Produktmodells optimieren.

### Integrierte Berechnungsverfahren

Eine simulationsgerechte Absicherung lässt sich bei integrierten Simulationsumgebungen in der Regel unkomplizierter umsetzen als bei der Verwendung externer Systeme. Begründet ist dies in der direkten Anbindung an die CAD-Umgebung. Eine Wissensanreicherung kann hier, durch den Wegfall von neutralen Schnittstellenformaten und der Verwendung einer gleichen Datenbasis, optimaler gestaltet werden.

Ein erster Schritt zur simulationsgerechten Integration der Prozesskette CAD-CAE ist der Ansatz von Lee (Lee 2005). Er verwendet in seiner Methode ein Mastermodell, welches das geometrische Modell für das CAD und ein idealisiertes Modell für das CAE beinhaltet. Damit wird eine automatisierte Dimensionsreduktion gewährleistet.

Skypkens entwickelte den Ansatz von Lee weiter. Er beschreibt in seinem Beitrag einen Ansatz für eine Multiple-view Feature Modellierungsmethode: *“Multiple-view feature modelling can do better here, by providing a separate view on a product for each development phase, and integrating all views. Each view contains a feature model of the product specific for the corresponding phase.”* (Skypkens et al. 2009)

Ein weiterer Trend bei integrierten Berechnungsverfahren ist der RFLP-Ansatz (RFLP: Requirements, Functional, Logical und Physical) der eng mit dem Softwaresystem Catia (Dassault Systèmes) verbunden ist. Dieser Ansatz unterstützt den integrativen Ansatz des Systems Engineering in einem CAE-System. Dabei werden das Anforderungsmodell, das Funktionsmodell, das logische Modell und das physikalische Modell, welches hier dem CAD-Modell entspricht, in einem integrierten Datenmodell verknüpft. Anwendung findet dies hauptsächlich bei der Entwicklung von mechatronischen Komponenten. (Kesselmans 2014)

## Externe Berechnungsverfahren

Die Schnittstellenproblematik ist eines der Hauptmankos bei der Verwendung externer Simulationsumgebung. Aber auch hier wurden unterschiedliche Ansätze für fortgeschrittene Simulationsmethoden entwickelt.

Die Verknüpfung von Komponentenmodellen zwischen einer CAD-Umgebung und einer Simulationsumgebung ist Inhalt des Beitrages von Boussuge et al. (Boussuge et al. 2014). Durch die Verwendung von verknüpften Templates in der CAD- und CAE-Umgebung wird eine simulationsgerechte Übertragung der Geometrie sichergestellt. Dabei wird die Geometrie des CAD-Modells in relevante Unterdomänen separiert, welche dann über ein neutrales Datenformat in die Simulationsumgebung geladen werden.

Das Konzept von Böhme et al. (Böhme et al. 2012) zur Auslegung von stationären Wirbelschichtfeuerungsanlagen, zeigt eine Verknüpfung eines gesamten Prozesses. Sie verknüpften verschiedene Softwaresysteme (Inventor (Autodesk), Excel (Microsoft), Creo (PTC) und ANSYS (Ansys)) und verwendeten bei ihrer Methode eine gemeinsame Parameterbasis, welche auf den Austausch von Geometriemodellen verzichtet und nur Parameter weitergibt.

Einen parameterbasierten Austausch von Daten ausschließlich über Lese- und Schreibvorgänge von ASCII-Textdateien mit zugehörigen Systemaufrufen zeigt Wortberg et al. (Wortberg et al. 2009). Inhalt dieses Konzeptes ist die Verknüpfung der drei Domänen CAD, Strömungssimulation und Optimierungssoftware zur Formoptimierung von Strömungskanälen von Kunststoffextrusionswerkzeugen.

Ein Ansatz für automatisierte numerische Auslegung ist die in der Abbildung 3 gezeigte hybride Redesign Strategie. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Auslegung nach der eigentlichen analytischen Auslegung und ggf. numerischen Simulation noch nicht abgeschlossen ist und sich der ideale Modellzustand erst unter Last einstellt (Klemme et al. 2013).

Dementsprechend wurde hier ein Ansatz entwickelt, der es erlaubt, u. a. durch Techniken aus dem Reserve Engineering, diesen Zustand zu finden. Dabei wird unter Einbeziehung eines genetischen Algorithmus die Geometrie optimiert. Anwendung finden kann dieser Ansatz z. B. bei der Auslegung von Strömungsmaschinen.

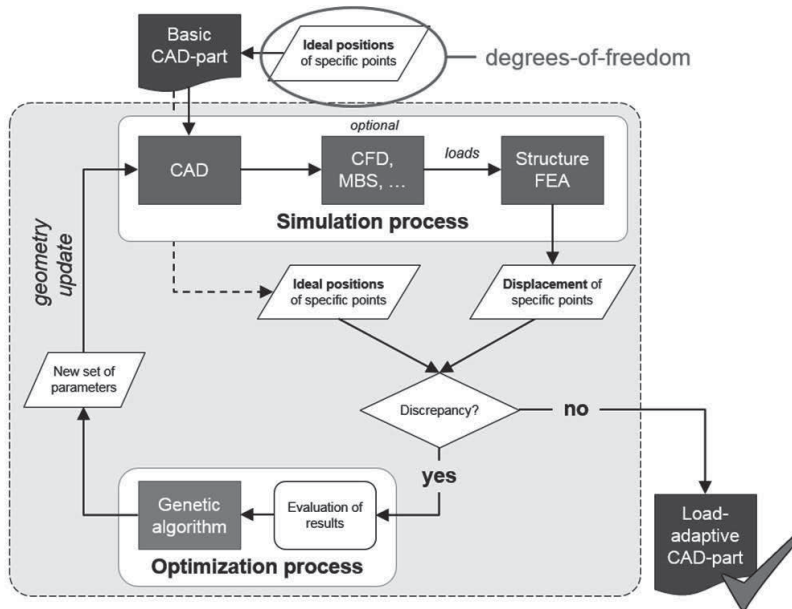


Abbildung 3: Ablaufdiagramm einer hybriden Redesign Strategie (Klemme et al. 2013)

### Zwischenfazit

Mit externen Berechnungsverfahren lassen sich komplexere Prozesse abbilden. Dementsprechend liegt der Fokus auf der simulationsgerechten Abbildung von Prozessen. Bei integrierten Verfahren dagegen eher auf dem simulationsgerechten Modellaufbau. Zur Gewährleistung einer einheitlichen Datenbasis, hinsichtlich der Absicherung simulationsgerechter Produktmodelle, müssen die Stärken beider Verfahren kombiniert werden.

## Informationstechnische Umsetzung als Unterstützungssystem im CAD-System

Die Umsetzung erfolgt durch modernen KBE-Methoden. Dabei sollen (teil-)automatisierte Lösungen für den Konstrukteur gefunden werden, um diesen bei der Entscheidungsfindung und bei der Durchführung von Routineaufgaben zu unterstützen. Dafür muss das System implementiert werden. Die Wissensakquisition, die natürlich auch problemspezifische Besonderheiten berücksichtigen muss, ist daher eine wichtige Voraussetzung für die Qualifizierung des Modellbildungsprozesses.

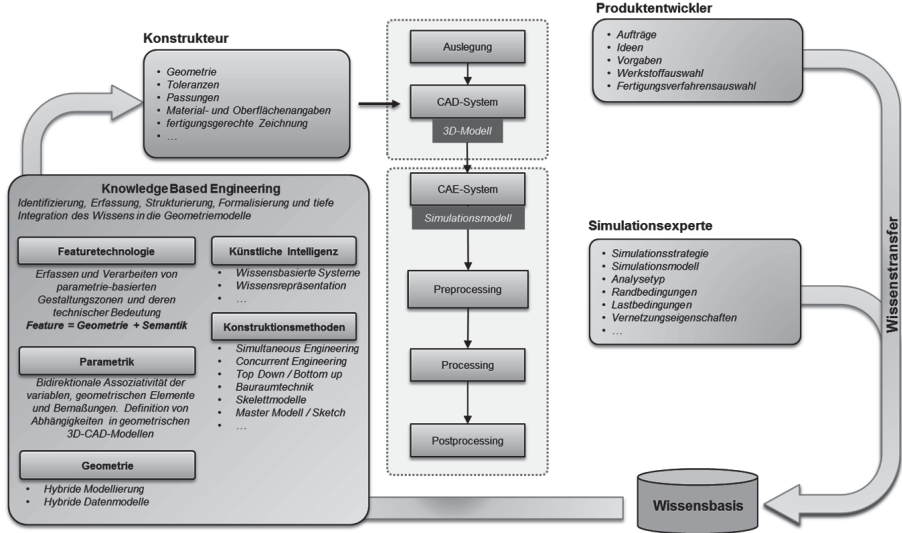


Abbildung 4: Wissenstransfer Simulation-Konstruktion

Abgelegt wird das akquirierte Wissen in einer Wissensbasis. Die Implementierung in das CAD-System, erfolgt über unterschiedliche KBE-Techniken, welche in der Abbildung 4 dargestellt sind. Der Einsatz der Techniken ist anwendungsspezifisch und erfordert eine weitergehende Einteilung nach bestimmten Kriterien, wie z. B. die Integrationstiefe oder eine gewünschte Wissensrepräsentationsform. Im Folgenden Kapitel erfolgt eine Klassifizierung.

#### Klassifizierung der simulationsgerechten Absicherung

Die Wertigkeit der simulationsgerechten Absicherung ist abhängig von Umfang der Integrationstiefe der jeweiligen Technik. In der folgenden Abbildung 5 ist ein Überblick über drei Stufen dargestellt.

Zu beachten ist dabei, dass eine Technik mit einer höheren Wertigkeit durchaus auf dem Wissen einer Technik mit einer niedrigeren basieren kann. Das sichert z. B. die Verwendung des Wissens, welches zur Definition eines Analysefeatures notwendig ist, auch für die Definition für ein simulationsgerechtes Feature, ab. Somit kann auch im Rahmen der vorherrschenden Konstruktionsart das Nutzen gegenüber dem Aufwand einer simulationsgerechten Absicherung optimal gewichtet werden. Im Folgenden werden die drei Stufen vorgestellt. Anschließend sind Umsetzungsbeispiele beschrieben.



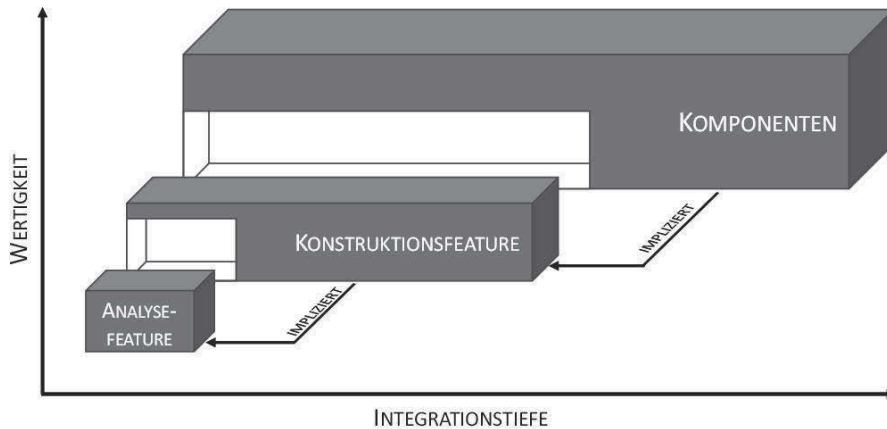


Abbildung 5: Wissensübertragung Simulation - Konstruktion

### Stufe 1: Analysetechniken

Der Einsatz von simulationsgerechten Analysetechniken beschränkt sich keinesfalls nur auf das Preprocessing der Simulation. Generell werden diese durch die Modifizierung gegebener bzw. Entwicklung neuer Analysefeature umgesetzt. Im Preprocessing wird der Konstrukteur bei der Modellvorbereitung unterstützt. Neben geometrischen Prüfungen wird auch die Existenz relevanter semantischer Informationen geprüft. Dies umfasst z. B. die frühzeitige Definition des Materialmodells. Weiterhin lässt sich im Processing und Postprocessing die Wertigkeit fortgeschrittener Analysetechniken bei der Kombination mit Fertigungsgerechtheiten und/oder dem Einsatz als Konstruktionsgrenze bei einer Optimierung steigern. Gemeint ist damit, dass bestimmte Restriktionen, welche aus einem zuvor definierten Fertigungsverfahren resultieren, Grenzen für die Optimierung eines Simulationsmodells darstellen. Dies wird umgesetzt durch die Einbindung von Gestaltungsrichtlinien und Konstruktionsregeln in die Analysefeature. Allgemein werden die dargestellten Regeln in unterschiedlichen Formen, wie Graphen, Kennwerte, Formeln, etc beschrieben. Analytisch beschreibbare Regeln lassen sich mit dem geringsten Aufwand umsetzen Dies geschieht über eine API, über welche die meisten leistungsstarken CAD-Systeme verfügen.

### Stufe 2: Featuretechniken

Ein simulationsgerechtes Feature kombiniert ein Konstruktionsfeature mit einem Simulationsfeature. Damit enthält es Geometrie und/oder Semantik,

welche notwendig sind für beide Disziplinen. Für die Umsetzung sind zwei Methoden gegeben:

- Die Einbindung von Gestaltungsrichtlinien und Konstruktionsregeln in vorhandene Modellierungsoptionen des CAD-Systems (Rippen, Schrägen, Rundungen, ...)
- Die Entwicklung neuer simulationsgerechter Konstruktions-Feature

Die Implementierung der Feature erfolgt durch ein integriertes KBE-System. Dies gewährleistet die Verwendung aller Wissensrepräsentationsformen, die ein CAD-System aufweist.

Im Preprocessing wird der Konstrukteur durch (teil-)automatisierte Modellidealisierungen unterstützt. Wenn dieser z. B. die Absicht besitzt, ein dünnwandiges Bauteil zu modellieren, soll in der Simulation eine automatisierte Reduktion der Dimension vorgeschlagen und dann ggf. durchgeführt werden. Weiterhin lässt sich die Wertigkeit simulationsgerechter Feature durch die Einbeziehung fertigungstechnischer Informationen steigern, besonders im Kontext von Optimierungsstudien. Ebenso sind die semantischen Informationen, welche zur Definition eines Analysefeatures aus Stufe 1 verwendet wurden, auch für die Definition eines Konstruktionsfeatures geeignet. Sind analytisch beschreibbare Konstruktionsregeln in einer Analyse implementiert, kann dies auch direkt bei der Erzeugung neuer Geometrie geschehen. Damit ist z. B. eine automatische Wanddickenprüfung beim spritzgussgerechten Bauteilentwurf hinsichtlich einer Füllsimulation gemeint.

### Stufe 3: Komponentenmodelle

Die höchste Wertigkeit der drei Stufen besitzt die simulationsgerechte Komponente. Orientiert wird sich an dem höherwertigen Komponentenmodell von Kesselmanns (Kesselmanns 2015). In Abbildung 6 ist sein auf der linken Seite zu finden und auf der rechten Seite die Erweiterung. Dieses verfügt mindestens über die gekoppelten Partialmodelle CAD und CAE. Abhängig vom Einsatzzweck ist die Integration weiterer Partialmodelle möglich. Dadurch ist dieses Komponentenmodell durch die Kopplungen auch für Optimierungsstudien geeignet, bei welcher Parameter aus verschiedenen Partialmodellen als Konstruktionsvariablen eingesetzt werden.

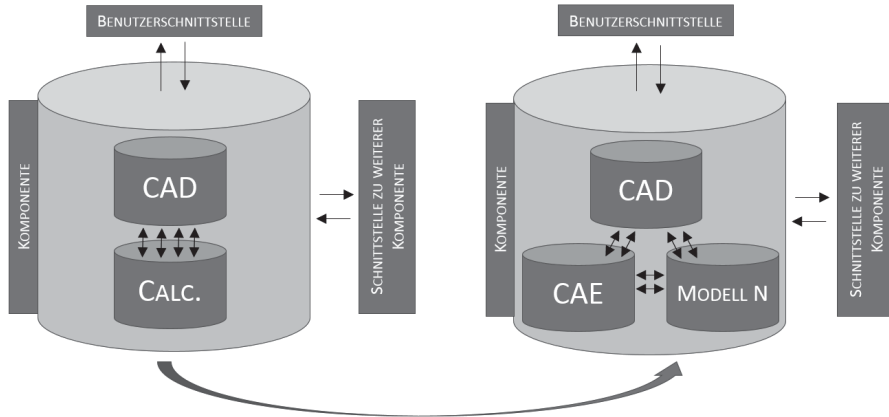


Abbildung 6: Simulationsgerechte Komponente

Implementiert wird das Komponentenmodell ebenfalls durch die Verwendung eines integrierten KBE-Systems. Das in der Komponente verfügbare Wissen wird dem Konstrukteur u. a. durch folgende Weisen zur Verfügung gestellt:

- Simulationstemplates
- Familientabellen
- Regelmodule

Die Auswahl der Verknüpfung hängt von der Integrationstiefe und der Komplexität der Anwendung wie auch von der verwendeten CAD-CAE-Umgebung ab. Wie schon zuvor erwähnt ergibt sich das größte Potential des KBEs in der Kombination mit CAD-Mastermodellen. Dementsprechend bieten sich im Bereich der Norm- und Wiederholteile sinnvolle Einsatzmöglichkeiten. Hier können simulationsgerechte Produktvarianten über Familientabellen und Templatedateien verknüpft werden. Alle drei Partialmodelle des Simulationsmodells (Geometrie, Material und Belastungsmodell) können so vordefiniert werden. Ebenso ist eine Integration von analytischen Auslegungsberechnungen mit in die Komponente zulässig. Durch die bidirektionale Verknüpfung können Parameter aus dieser Berechnung als Eingangsgrößen in der Simulation verwendet werden. Im Rückschluss können aber auch die Ausgangsgrößen auf Plausibilität geprüft werden. Im Bereich der Neukonstruktion kann dieses Modell ebenfalls angewendet werden. Wird die Gestalt und die Funktion eines Bauteils in einer Optimierung von Konstruktionsgrenzen aus unterschiedlichen Partialmodellen gesteuert, dann ist eine Kopplung sinnvoll. Am effektivsten gestaltet sich der Aufbau der Komponente dann aus simulationsgerechten Feature, wie sie zuvor vorgestellt wurden.

## Umsetzung in verschiedenen Szenarien

Im Folgenden werden Anwendungsbeispiele für die zuvor vorgestellten Techniken behandelt. Zu Beginn wird gezeigt wie eine simulationsgerechte Komponente im Bereich der Norm- und Wiederholteile eingesetzt wird. Im zweiten Teil wird eine Optimierung beschrieben, deren Grenzen durch den Einsatz simulationsgerechter Feature und Analysen festgelegt sind. Der erste Ansatz bezieht sich auf den Einsatz einer integrierten Simulationsumgebung und der darauffolgende auf eine externe.

### Blindflansch

In der Abbildung 7 ist ein Druckbehälter mit verschiedenen Komponentenmodellen zu sehen. Exemplarisch ist links eine Tragplatte und rechts ein Blindflansch inklusive Schraubverbindungen dargestellt. Zu jedem Komponentenmodell sind die jeweiligen Partialmodelle, welche für die Auslegung relevant sind, abgebildet. Im weiteren Verlauf werden ausschließlich die Komponenten des Blindflansches betrachtet. Bei der Auslegung einer Blindflanschverbindung ist die gewählte Schraubverbindung ausschlaggebend. Schraubverbindungen sind nach der VDI Richtlinie 2230 Teil 2 (VDI 2014) in vier Modellklassen für die numerische Berechnung eingeteilt. Dabei handelt es sich um den Grad der Idealisierung welcher hauptsächlich abhängig vom Einsatzzweck ist.

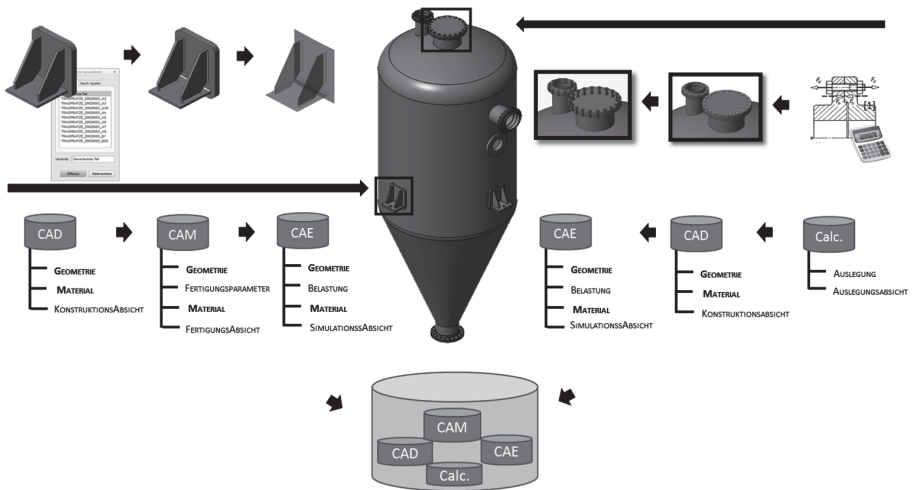


Abbildung 7: Druckbehälter

Der hier dargestellte Ansatz geht davon aus, dass in der CAD-Umgebung die Schraubverbindung als Komponentenmodell definiert wird, welche das CAD-Modell, das numerische Simulationsmodell und eine analytische Auslegungssoftware koppelt. Durch eine Verknüpfung an eine analytische Berechnung wird die Auslegung der Schraubverbindung überprüft. Weitere Konstruktionsgrenzen resultieren aus den geometrischen Restriktionen der anderen Bauteile (vgl. Abbildung 8).

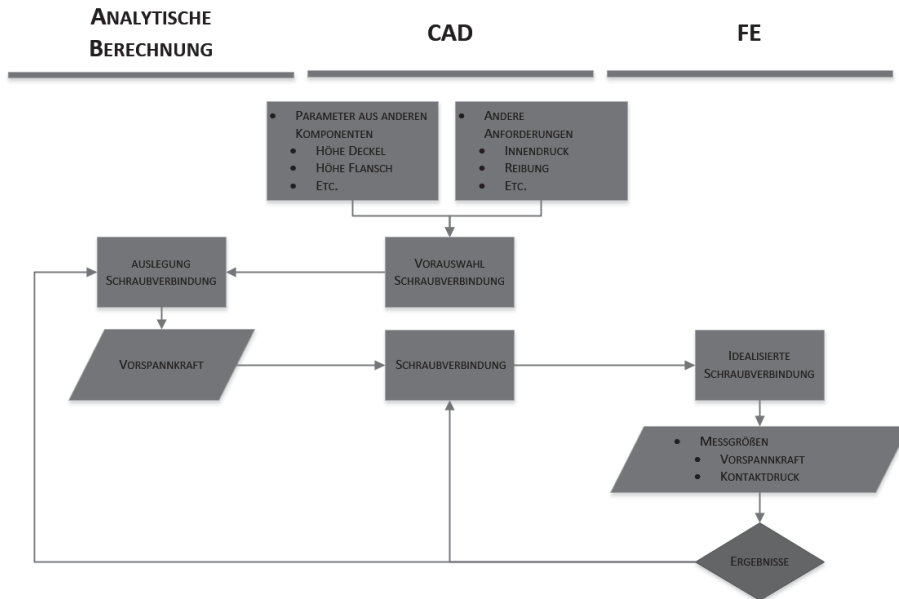


Abbildung 8: Workflow Komponente Schraubverbindung

Im globaleren Kontext, in welchem der Flansch, die Deckel wie auch die Dichtung eigene Komponentenmodelle abbilden, kann mit Unterstützung dieser Technik der Auslegungsprozess einer Blindflanschberechnung in wenigen Iterationen abgeschlossen werden. Für den Flansch ist das Geometriemodell durch Normen und Richtlinien festgelegt. Ebenso wie das Materialmodell. Das Belastungsmodell ergibt sich aus dem Anwendungsfall. Dieser lässt sich allgemein auf den Innendruck und die Kräfte welche zur Abdichtung notwendig sind beschränken. Die Abdichtung resultiert aus der Definition der Schraubverbindung. Die Verknüpfung muss an dieser Stelle durch eine Schnittstelle zwischen den Komponenten Flansch und Schraubverbindung gewährleistet werden. Diese muss Parameter zu relevanten Kräften, wie auch zur Flächenpressung bidirektional übertragen können. Eine

sinnvolle Vernetzung der jeweiligen Komponente ist durch die Verwendung von Templates gewährleistet. Eine generelle Übertragbarkeit auf weitere Varianten ist durch den Aufbau der Komponentenmodelle abgesichert.

### Spritzgussgerechter Bauteilentwurf

Eine ganzheitliche Unterstützung im CAD-System beim spritzgussgerechten Bauteilentwurf fehlt. Im Rahmen eines von der deutschen Forschungsgesellschaft geförderten Projektes wird eine Methode zur integrierten Produktsimulation entwickelt, vgl. Abbildung 9. Im Komponentenmodell des Spritzguss Bauteils wird das CAD-Modell mit dem Simulationsmodell einer Füllsimulation verknüpft.

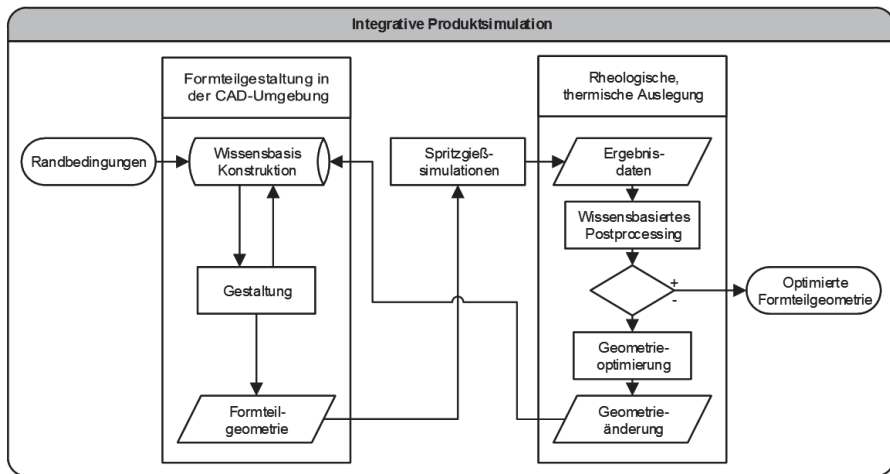


Abbildung 9: Einbindung von Konstruktionsgrenzen

Die Schaffung der Wissensbasis erfolgt durch die Einbindung von Konstruktionsregeln und Gestaltungshinweisen aus der Literatur. Die Definition geometrischer Restriktionen für die Simulation erfolgt durch den Aufbau des CAD-Modells mittels spritzgussgerechter Feature (vgl. Abbildung 10). In der Abbildung ist auf der linken Seite die Empfehlung aus der Richtlinie dargestellt und auf der rechten Seite die Implementierung dieser als Parameter. Bei Verwendung eines gegebenen CAD-Modells werden diese über Analysefeature definiert. Die hier implementierten Regeln werden auch zur Definition eines Konstruktionsfeatures benötigt. Im globaleren Komponentenmodell werden während der Optimierung als Konstruktionsgrenzen die Parameter aus dem Analysefeature oder Konstruktionsfeature verwendet.

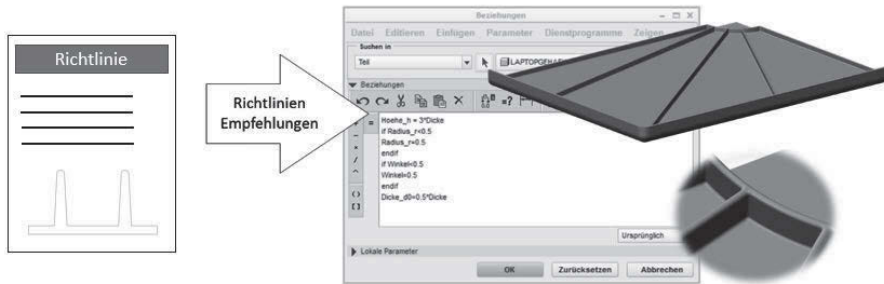


Abbildung 10: Einbindung von Konstruktionsgrenzen

Die Netzerstellung für die Simulation erfolgt (teil-)automatisiert im CAD-System. Durch verschiedene Kenngrößen, welche im Postprocessing der Simulation ausgewertet werden, werden die Parameter des jeweiligen Features in den vorgeschriebenen Konstruktionsgrenzen angepasst.

## Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde dargestellt, wie durch die Anwendung von KBE Methoden, Produktmodelle über eine engere Verknüpfung der jeweiligen Partialmodelle, simulationsgerecht abgesichert werden können. Dem Konstrukteur wird es auf diese Weise ermöglicht komplexere Simulationen durchzuführen, ohne sich weiteres simulationsspezifisches Wissen aneignen zu müssen. Gezeigt wurde dies am Beispiel von verschiedenen Techniken die in die CAD- wie auch in die CAE Umgebung integriert wurden. Desweiteren wurden Möglichkeiten aufgezeigt, wie auch unternehmensspezifische Problemstellungen in den Konstruktions- und Berechnungsprozess integriert werden können.

## Literaturverzeichnis

- Boussuge, F., Shahwan, A., Leon J.-C.; Hahmann S., Foucault G. & Fine L. 2014: Template-based Geometric Transformation of a Functionally Enriched DMU into FE Assembly Models. In: Computer-Aided Design and Applications 11 (4), S. 436–449
- Böhme, C., Lieberwirth, C. & Brökel, K. 2012: Konzept zum Parametertausch zwischen unterschiedlichen CAD/CAE-Plattformen. In: Tagungsband 10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, S. 655-663
- Kesselmans, C. 2014: Höherwertige Konstruktionsobjekte für CAD-Prozesse. Dissertation Universität Duisburg-Essen. Göttingen: Cuvillier Verlag
- Klemme, U. 2015: Methoden zum wissensbasierten Aufbau simulationsorientierter Produktmodelle. Dissertation Universität Duisburg-Essen. Göttingen: Cuvillier Verlag

- Klemme, U. & Köhler, P. 2012: A Hybrid Redesign Strategy to Derive Load-Adaptive Parts. In: Computer-Aided Design and Applications, 9(5), 665-677
- Lee, S. H. 2005: A CAD–CAE integration approach using feature-based multi-resolution and multi-abstraction modelling techniques. In: Computer-Aided Design, 37 (2), S. 941–955
- Pährisch, M., Triebel, M. & Schlenkrich, M. 2012: Simulationsdatenmanagement komplett - Integration einer SDPM-Lösung in das Product Lifecycle Management. In: VDI(HG.) SIMVEC, S. 759-770
- Sendler, U. & Wawer, V. 2011: Von PDM zu PLM. Prozessoptimierung durch Integration. München: Carl Hanser Verlag
- Stoerber, C., Gruber, G., Krehmer, H., Stuppy, J. & Wetphal, C. 2009: Herausforderung Design for X (DfX). In: Beiträge zum 20. Symposium „Design for X“, S. 101-111
- Sypkens Smit, M. & Bronsvort, W. F. 2009: Integration of Design and Analysis Models. In: Computer-Aided Design and Applications 6, S. 795–808
- Szeghó, K. & Bercsey, T. 2007: Kosten- und Risikomanagement in der frühen Phase der Produktentwicklung. In: Beiträge zum 18. Symposium „Design for X“, S.65-72
- Verein Deutscher Ingenieure. 2014: Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Mehrschraubenverbindung, VDI 2230 Part 2, Berlin: Beuth Verlag
- Wortberg, J., Saul, K., Lupa, N. & Köhler, P. 2009: Automatisierte Optimierung von Strömungskanälen zur Verbesserung des Spülverhaltens von Kunststoff-Extrusionswerkzeugen. In: WAK-Zeitschrift Kunststofftechnik Nr. 5, S. 131-152

## Kontakt

René Andrae, M. Sc.  
 Universität Duisburg-Essen  
 Lehrstuhl Rechnereinsatz in der Konstruktion  
 Lotharstraße 1  
 47057 Duisburg  
[www.uni-due.de/cae](http://www.uni-due.de/cae)  
 Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Math. Peter Köhler  
 Universität Duisburg-Essen  
 Lehrstuhl Rechnereinsatz in der Konstruktion  
 Lotharstraße 1  
 47057 Duisburg  
[www.uni-due.de/cae](http://www.uni-due.de/cae)