

## BERECHNUNGSGERECHTES KONSTRUIEREN - PROBLEME, LÖSUNGEN UND GRENZEN-

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Reinhard Hackenschmidt  
Dipl.-Ing. Alexander Troll  
Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg

Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD  
Universität Bayreuth

*Der Einsatz numerischer Simulationsmethoden hat in den letzten Jahren dank der rasanten Hard- und Softwareentwicklung einen riesigen Aufschwung erfahren. Dadurch steigt die Bedeutung einer sehr guten Vorarbeit im Bereich der Konstruktion, da die dort erstellten 3D-CAD Modelle die eigentliche Basis für die weiteren Schritte der virtuellen Prozesskette bilden. Im vorliegenden Artikel wird die mögliche Herangehensweise an dieses Problem vor den Hintergrund einer komplex virtuell vernetzten industriellen Produktentwicklung diskutiert.*

Analysiert man die Abläufe (Bild 1) von virtuellen Entwicklungsprozessketten, fällt die zentrale Rolle der 3D CAD Konstruktion sofort ins Auge. Sowohl der ursprüngliche Entwurf als auch die durch in- und externe Notwendigkeiten implizierten Änderungskonstruktionen müssen im Zuge iterativer Schleifen immer wieder bearbeitet und angepasst werden.

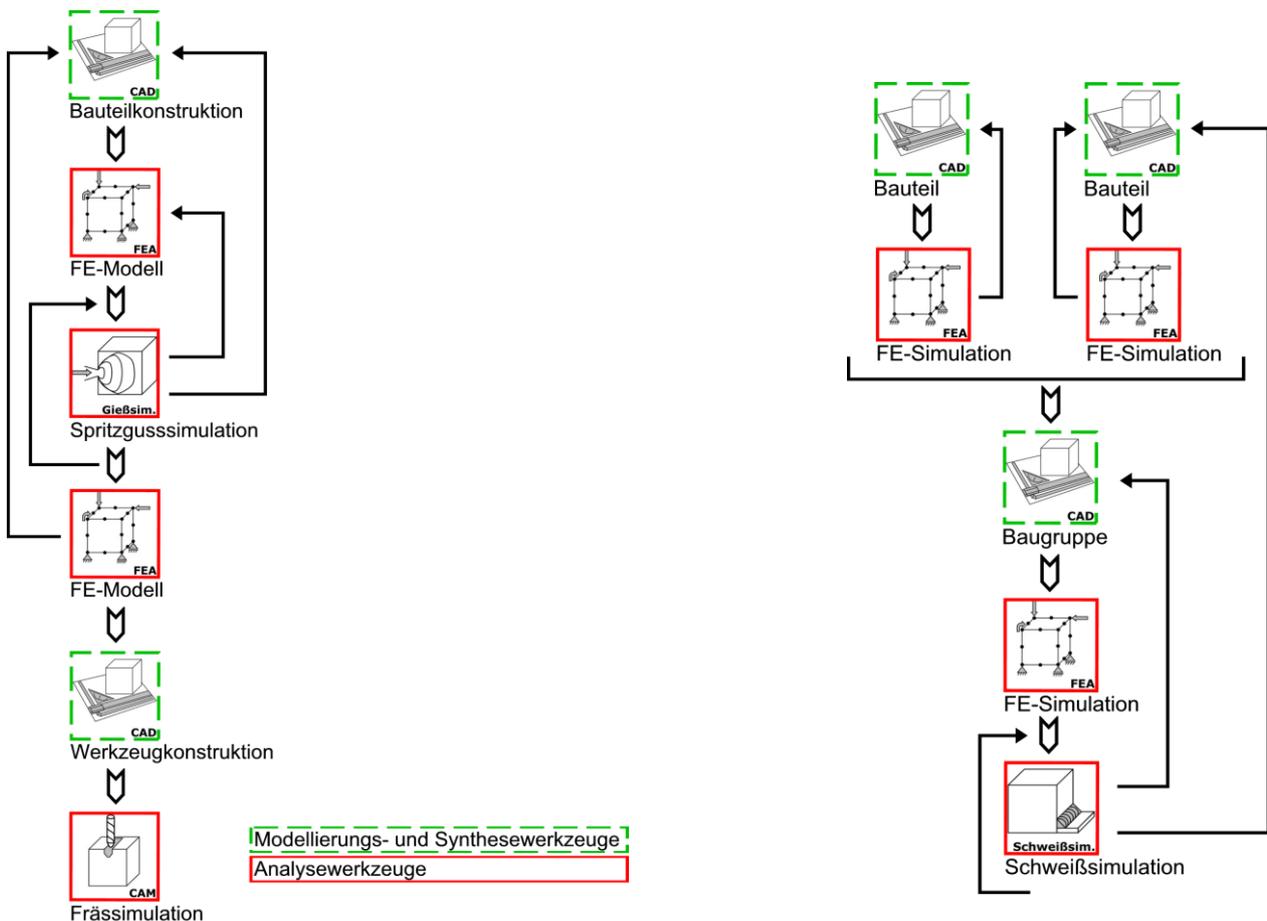


Bild 1: Abläufe von Produktentwicklungen aus Sicht des Einsatzes von Simulationsprogrammen. Links Beispiel 1 – Spritzgegossene Polymerbauteile /1a/; rechts Beispiel 2 - Simulation verschweißter Bauteile /1b/

Dies führt dazu, dass hier gemachte „Fehler“ sich nicht nur in dem direkt angrenzenden Simulationsbereich sondern auch in einem fortgeschrittenerem Stadium des Produktentstehungsprozesses negativ auswirken können. Dies hin bis zu Situationen, dass vorgeschaltete Simulationsergebnisse keine Gültigkeit mehr besitzen, da die verwendete 3D- Geometrie, um eine spätere Simulation durchführen zu können, verändert wurde.

Dies führt in der betrieblichen Praxis zu inkonsistenten CAD Modellen, doppelter Modellführung und einer massiven Mehrbelastung aller Beteiligten durch die Bereinigungsnotwendigkeit dieser impermeablen Prozessketten.

## 1. Problem 3D-Modellierung

Es wurden durch die Erarbeitung der VDI Richtlinie 2209 zur 3D-Produktmodellierung /2/, wesentliche Grundlagen geschaffen um eine einheitliche, durchgängige Produktmodellierung gewährleisten zu können. In der Praxis treten jedoch immer wieder grundsätzliche Probleme bei der Erstellung von qualitativ guten Konstruktionen auf, die sich nach Gerkens /3/ in drei Bereiche aufteilen lassen (Tab. 1).

Formale Anforderungen	Geometrische Anforderungen	Strukturelle Anforderungen
Wichtige grundsätzliche Dinge werden definiert:	Die geometrischen Randbedingungen werden definiert:	Wichtige strukturelle Anforderungen sind:
Voreinstellung des CAD Systems durch Konfigurationsdateien, z.B. Systemgenauigkeit	Stetigkeiten	Modellstruktur, Modellbaum
Startmodelle	Selbstdurchdringungen	Methodik
Zeichnungsrahmen	Minielemente / Kurze Kanten	...
Symbole	...	...

Tab. 1: Unterteilung der Qualitätsanforderungen an 3D- CAD Modelle /3/

Als Beispiel sei das Auftreten des Fehlers „Kurze Kante“ erläutert. Kurze Kanten sind Elemente, die zwar formal korrekt, aber durch ihre sehr geringe Länge bei der weiteren Nutzung z.B. bei der NC Simulation zu Problemen führen. Sie können z.B. bei der Erzeugung von Verrundungen entstehen. Diese sind nicht per se auf die Arbeit des Konstrukteurs zurückzuführen, sondern entstehen durch die Arbeitsweise der in CAD-Systemen verwendeten Grafikkernel. Diese bauen die Gesamtgeometrie aus einzelnen geometrischen Primitiven (Kugeln, Zylindern, etc.) auf und Verschmelzen oder verschneiden diese zur schlussendlichen Form. Gerade bei der Verschneidung entstehen oft diese Minikanten, welche in internen Vernetzern zu Abbrüchen führen, da sie zu kurz sind um effektiv verarbeitet zu werden. Natürlich steigt die Fehlerwahrscheinlichkeit mit der Anzahl der betroffenen Kanten. Die unten gezeigte Transportkiste besitzt z.B. 772 Kanten die < 2mm sind und somit eine potentielle Fehlerquelle darstellen.

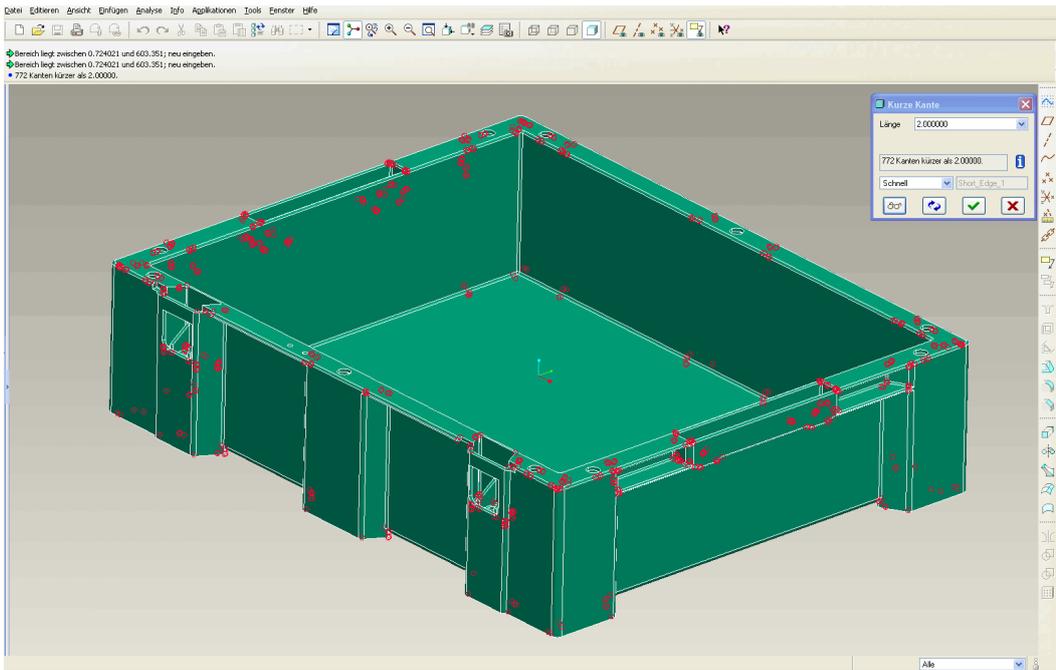


Bild 2: Orte Kurzer Kanten in einer Transportkiste

Die Jagd nach solchen Fehlern kann ebenso ermüdend sein wie deren Beseitigung, da das Auftreten oft erst bei der Anwendung des Simulationstools offensichtlich wird (Bild 3) und dann die Überführung in eine 3D-Modellierungslösung zu ungeahnten Schleifen besonders bei mehreren beteiligten Bearbeitern führen kann.

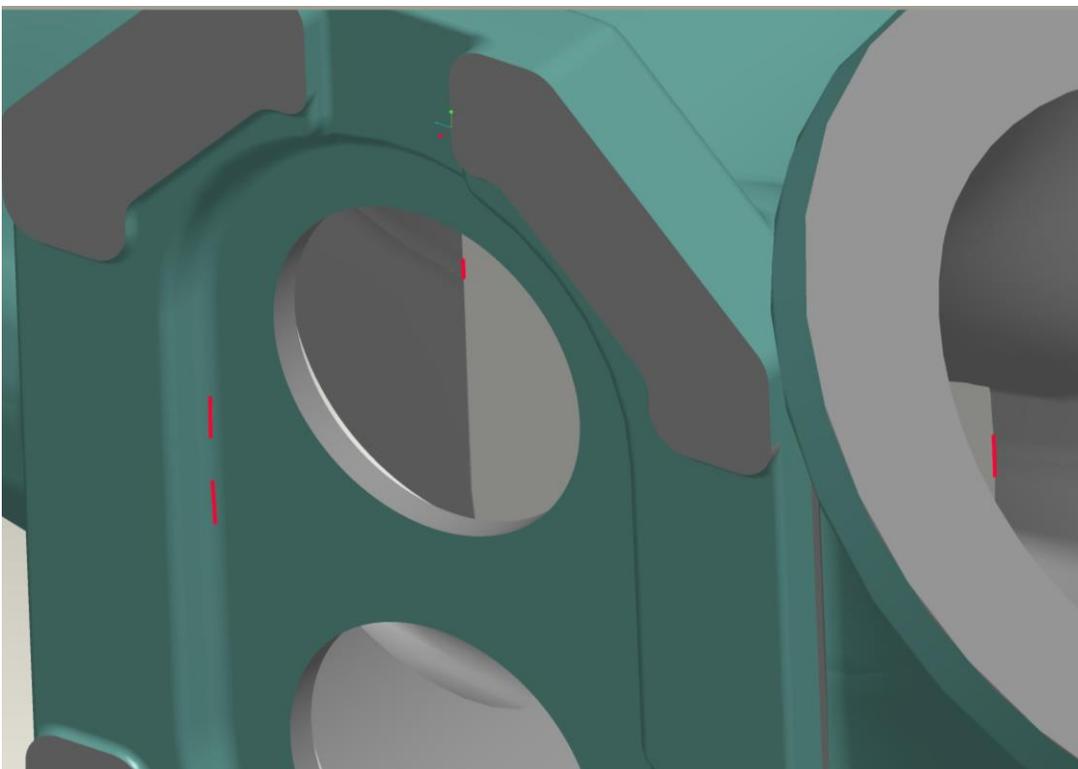


Bild 3: Anzeige von Vernetzungsproblemen aufgrund von Geometriefehlern im FEM Tool bei einem Drehkolbenpumpengehäuse

Die Problematik der Kurzen Kanten tritt nicht nur bei Bauteilen, sondern auch bei Baugruppen entsprechend auf. Als Beispiel sei das geteilte Gehäuse einer Kolbenpumpe aufgeführt. Die als Gußbauteil ausgeführte Konstruktion besteht aus zwei Einzelteilen, die jeweils mit Gußschrägen zur Entformung versehen sind. Beide Einzelteile sind extrem sorgfältig durch einen langjährigen 3D-Konstrukteur erstellt und lassen sich als Bauteil hervorragend in alle weiteren Programme zur Finite Elemente-, Gieß- und Frässimulation überführen. Bei der zusammengebauten Baugruppe ergibt sich an der Schnittstelle geometrieabhängig automatisch eine Sprungkante mit teilweise sehr geringer Sprunghöhe, die z.B. beim Vernetzen der Gesamtbaugruppe „tödlich“ ist.

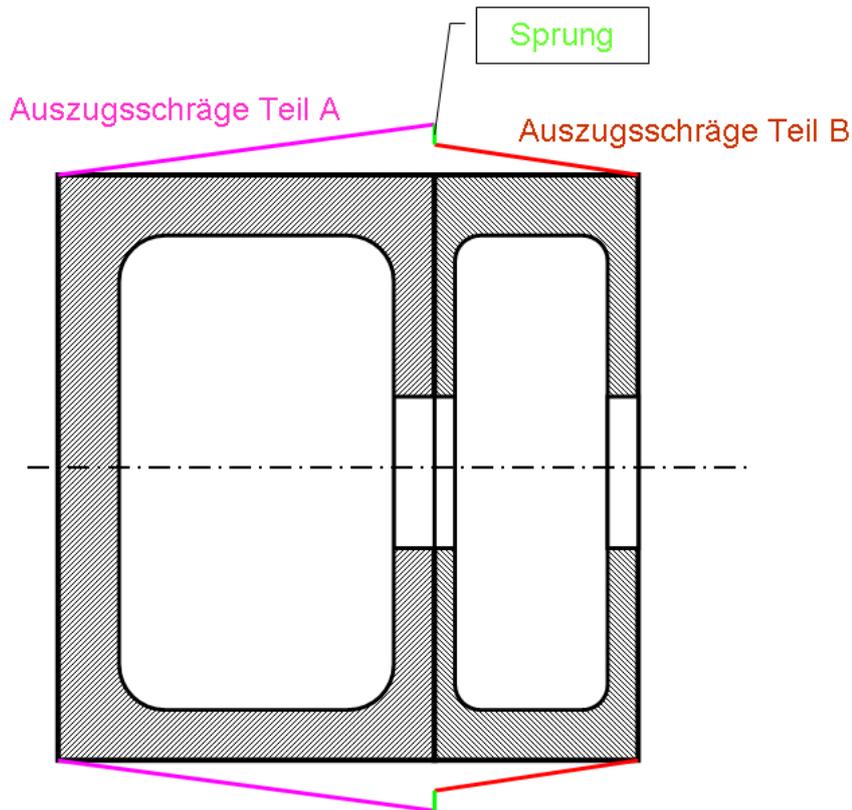


Bild 4: Entstehen eines Sprungs aufgrund von Auszugsschrägen

Wohl dem, der in solchen Fällen die Geometrische Form ohne Gußauszugsschrägen z.B. aufgrund eines geschickten Aufbaus des Modells mit Hilfe z.B. von Familientabellen (Konstruktionsvarianten) vorliegen hat, um unter Vernachlässigung desselben weiterführenden Simulationen durchführen zu können. Liegt das Modell allerdings als importierte STEP oder IGES Datei vor, hilft i.d.R. nur die komplette Neukonstruktion als Bauteil ohne Ausformschrägen.

## 2. Problem Datenaustausch

Die Problematik endet nicht mit dem Verlassen des Systems in dem ein Modell erstellt wurde. In vielen Fällen sind heute weiterführende Simulationen in Stand-Alone-Systemen notwendig, z. B. wenn ein Bauteil überlagerten, dynamischen Belastungen ausgesetzt ist oder ein komplexer, anisotroper Werkstoff verwendet wird. Die Aufgabe ein Produktmodell aus dem CAD-System in ein anderes CAx-Werkzeug zu überführen könnte im Idealfall mit Direktschnittstellen gelöst werden. Diese jedoch sind nur begrenzt verfügbar und oft nicht im Standardumfang der Simulationsprogramme enthalten. Daher haben sich Neutralformate wie STEP (STandard for the Exchange of Product model data) /4/ oder IGES (Initial Graphics Exchange Specification) /5/ in Universität Bayreuth, Lehrstuhl Konstruktionslehre und CAD [reinhard.hackenschmidt@uni-bayreuth.de](mailto:reinhard.hackenschmidt@uni-bayreuth.de), +49-921-55-7194

weiten Teilen der Industrie etabliert. Doch gerade die ungeplante Verwendung dieser Formate führt dazu, dass die Ungenauigkeiten aus dem Quellsystem nicht eliminiert sondern mitgenommen werden. Um dies zu verdeutlichen sollte man sich die Funktionsweise des Datenaustauschs mit Neutralformaten einmal vor Augen halten. Jedes 3D-CAD-Modell besteht im Wesentlichen aus drei Teilen (Bild 5):

- Einer Auflistung der enthaltenen Features, die meist dem Modellbaum entspricht sowie der Historie des Modells
- Der körperbasierten geometrischen Darstellung des Bauteils (Konstruktive Solid Geometry / CSG) die der Grafikkern für die Darstellung auf dem Bildschirm benötigt
- Den zusätzlichen Parametern, wie Gewicht, Teilenummer etc., und Informationen wie Autor und Version, welche alle auch im PDM-System abgelegt werden können.

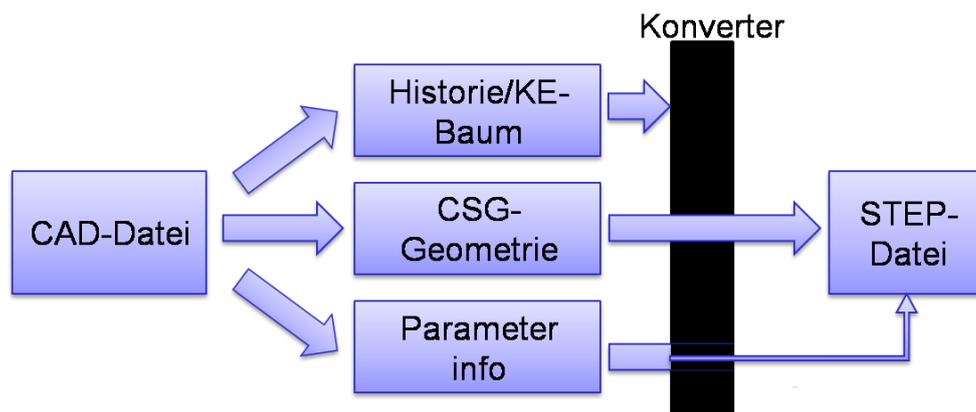


Bild 5: Funktionsweise des CAD Datenaustauschs mit Neutralformaten

Idealerweise würden beim Export aus einem System alle diese Daten in das neutrale Produktmodell integriert und nach einem Import auch wieder im Zielsystem zur Verfügung stehen. Es existieren Dateiformate die dies, rein von Ihrer Auslegung her, unterstützen würden und das sogar als gepflegter internationaler Standard. STEP z.B. unterstützt mit den Anwendungsprotokollen AP 203 (mechanische Konstruktion) und AP 214 (eigentlich für den Automotive Bereich entwickelt) alle drei relevanten Gruppen von Informationen. Leider beschränken sich die Umsetzungen in den CAX-Systemen meist auf die reine CSG-Repräsentation sowie einige wichtige Zusatzdaten wie Version und Autor. Dies ist nicht zuletzt dadurch zu erklären, dass meist konkrete Anforderungen von Seiten der Benutzer fehlen und letztendlich diese Konverter auch nicht das Kerngeschäft der Systemanbieter darstellen. Nichtsdestotrotz nehmen verschiedenste Systemanbieter an den regelmäßigen Testrunden des von ProSTEP /6/ mitgetragenen CAX-Implementor Forums /7/ teil, stimmen ihre Schnittstellen regelmäßig ab und erweitern diese um neue Funktionen.

Gerade mit dieser gestiegenen Qualität der Konverter kommen die oben angesprochenen Problematiken der Modellierung auch beim Datenaustausch zum Tragen. Beim Export wird die vom Grafikkern dargestellte Geometrie analysiert und in die der Schnittstelle zugrundeliegende Repräsentation umgeformt. Fehler die also in dieser Darstellung bereits vorliegen werden meist bei der Erstellung der Austauschdateien mitgenommen und führen im Zielsystem, dass aus diesen Daten wieder mit seinem Modellierungskern eine Repräsentation aufbaut, entweder zu direkten Fehlern, oder z. B. zu einer abgebrochenen Vernetzung.

Hier addieren sich also unter Umständen die Fehler der beiden Grafikkerns, falls nicht Methoden zur Fehlerkorrektur eingebaut wurden. Somit kann gesagt werden, dass besonders bei rudimentären CAX-Systemen und wenig getesteten Convertoren Vorsicht geboten ist. Eine Liste der testenden Systemanbieter ist auf der Seite des CAX-IF verfügbar. Naturgemäß gilt, dass die Fehlerwahrscheinlichkeit mit der Komplexität des auszutauschenden Produktmodells wächst. Hier

bietet sich die Möglichkeit durch die Verwendung der internen Modellprüfungen der CAD-Systeme frühzeitig auf Problemzonen hinzuweisen /8/. Dem gesamten Phänomen kann aber mit einer geschickten Modellbildung weitgehend entgegengewirkt werden.

### 3. Lösungsansätze 3D-Modellierung

In den meisten Betrieben existieren interne Richtlinien und Startmodelle, welche bei der Erstellung von Produktdaten zu verwenden sind. Diese enthalten meist Namenskonventionen oder Anweisungen wie spezielle Features der CAD-Systeme anzuwenden sind. Dabei wird in vielen Fällen auf allgemeine Vorschriften für den Modellaufbau, besonders für die Reihenfolge der Konstruktionselemente und die notwendige Genauigkeit der Modellierung verzichtet. Da moderne Systeme die Möglichkeit bieten eine exakte dreidimensionale Kopie des Produktes zu schaffen, wird diese auch konsequent genutzt. Wie bereits besprochen ist aber gerade der letzte Schliff oftmals für spätere Nacharbeiten verantwortlich. Daher ist es notwendig einen berechnungs- oder weiterverwendungsgerechten Modellaufbau zu forcieren.

Dies ist weder ein Widerspruch zu bestehenden Vorgehensweisen, noch ist dadurch ein erheblicher Mehraufwand erforderlich. Es geht vielmehr darum, durch eine konsequente Entkopplung von Features und die Einführung verwendungsbezogener Detaillierungsstufen ein Modell zu erzeugen welches situationsgerecht für weitere Simulationen zur Verfügung gestellt werden kann. Ein gutes Beispiel liefert hierbei die auf Initiative des GTDE e.V. /9/ angeregte Entwicklung der DIN 4003 /10/, welche speziell auf die 3D-Modellierung von Werkzeugen abzielt. Hier wird für diese Produkte ein einheitlicher Modellaufbau gefordert, welcher verschiedene Detaillierungsstufen vorsieht. Somit kann durch Ausblenden oder Unterdrücken ein auf die folgende Berechnung abgestimmtes Modell erzeugt werden, welches meist hilft unnötigen Mehraufwand zu vermeiden. Auch Familientabellen leisten hier gute Dienste.

Ein solches Vorgehen ist für die meisten Produktentwicklungen probat. Eine nachgelagerte FE-Berechnung eines Spritzgussbauteils aus einem Thermoplast kann auf bestimmte Fasen und Rundungen verzichten, welche nicht im Fluss der Kraftlinien liegen. Diese bei der Füll- und Erstarrungssimulation zu vernachlässigen kann zu groben Fehleinschätzungen führen. Somit wären hier mindestens zwei Modellierungsgenauigkeiten erforderlich. Hierfür ist also das Gespür des erfahrenen Konstrukteurs und eines guten Berechners gefragt.

### 4. Schlussfolgerungen

Die Idee einer berechnungsgerechten Erzeugung von 3D-CAD-Modellen ist weder eine hochinnovative Forschungsidee noch Hexenwerk. Vielmehr handelt es sich um die konsequente Verwirklichung der Möglichkeiten, die dem Konstrukteur und dem Berechner bei Einsatz moderner CAx- Werkzeuge zur Verfügung stehen. Durch die konsequente Verwendung von kurzen Checklisten (Tab. 2) zur Umsetzung dieser Potentiale können Nacharbeiten von vorn herein vermieden werden. Durch passende Modellierungsstrategien können auch Fehler beim Datenaustausch reduziert werden. Ein reger Austausch der Anwender kann helfen grundlegende Probleme zu identifizieren und allgemeingültige Lösungen zu finden.

<input type="checkbox"/>	Verwendung von globalen Bezügen, Entkopplung von Features
<input type="checkbox"/>	Regelmäßige Überprüfung mit Modellchecks
<input type="checkbox"/>	Definition von wesentlichen Detaillierungsstufen in Absprache vorab mit Berechnern
<input type="checkbox"/>	Ausblenden nicht zweckdienlicher Geometrie
<input type="checkbox"/>	Wahl eines geeigneten Austauschformats

Tab. 2: Checkliste für einen berechnungsgerechten Modellaufbau

Wenn mehr Initiativen entstehen, um einen einheitlichen Modellaufbau für technische Produkte festzulegen führt dies zu genaueren Anforderungen an die Systemhersteller, welche dann konkret die Forderungen umsetzen können. Also profitieren am Ende alle Beteiligten von diesem Vorgehen.

## Literatur

- /1a/ Alber, B.; Hackenschmidt, R.; Dolsak, B.; Rieg, F.: ICROS-The Selective Approach To High-Tech Polymer Product Design-Modelling And Experimental Verification. Proceedings of the Design 2006. Dubrovnik. 2006.
- /1b/ Goering, J.-U., Rieg, F.: Kopplung und prozessorientierte Verknüpfung der Methoden und Werkzeuge. In: Meerkamm, H.; Paezold, K. (Hrsg.): 1. Ergebnisbericht FORFLOW. Erlangen. O.V. 2007.
- /2/ VDI (Hrsg.): VDI 2209 3-D-Produktmodellierung Technische und organisatorische Voraussetzungen, Verfahren, Werkzeuge und Anwendungen, Wirtschaftlicher Einsatz in der Praxis. Berlin. Beuth Verlag. 2009.
- /3/ Gerkens, M.: Standardisierung von 3D-CAD-Modellen und Modellierungsmethoden. Bayreuth: Dissertation 2004.
- /4/ Anderl, R.; Trippner, D.: STEP Standard for the Exchange of Product Model Data. Stuttgart: Teubner Verlag, 2000.
- /5/ U.S. Product Data Association (Hrsg.): Initial Graphics Exchange Specification IGES 5.3. [http://www.uspro.org/documents/IGES5-3\\_forDownload.pdf](http://www.uspro.org/documents/IGES5-3_forDownload.pdf). Zugriff vom 22.09.2009
- /6/ PROSTEP: Homepage "ProSTEP iViP", 2009. <http://www.prostep.org/de/>, Zugriff vom 27.09.2009
- /7/ CAx-IF: Homepage "CAx-Implementor Forum", 2009. <http://www.cax-if.de>, Zugriff vom 04.09.2009.
- /8/ Verband der Automobilindustrie (Hrsg.): VDA-Empfehlung 4955/2 - Umfang und Qualität von CAD/CAM-Daten. [http://www.vda.de/de/service/bestellung/downloads/4955\\_de.pdf](http://www.vda.de/de/service/bestellung/downloads/4955_de.pdf); Zugriff vom 27.09.2009
- /9/ GTDE: Homepage "Graphical tool data exchange". <http://www.gtde.de>. Zugriff vom 20.10.2009.
- /10/ Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): E DIN 4003-1 Konzept für den Aufbau von 3D-Modellen auf Grundlage von Merkmalen nach DIN 4000 - Teil 1: Übersicht und Grundlagen. Berlin: Beuth Verlag, 2008.