

# Effiziente Produkt- und Prozessentwicklung durch wissensbasierte Simulation (FORPRO<sup>2</sup>)

## Teilvorhaben: Erzeugung korrigierter, realitätsnaher Geometrien für die Simulation mit 3D-Oberflächenerfassung

**Projekt:** Effiziente Produkt- und Prozessentwicklung durch wissensbasierte Simulation (FORPRO<sup>2</sup>)

**Laufzeit:** 01.10.2013 bis 18.02.2017

**Gesamtprojektkosten:** 1.999.000,00 €

**Förderung Teilvorhaben:** 142.814,24 €

**Projektleiter:**

Prof. Dr.-Ing. Michael Koch

Fakultät Maschinenbau & Versorgungstechnik

Technische Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

Bei der Entwicklung und Konstruktion von Industrieprodukten kommt den Simulationsverfahren eine wichtige Rolle zu. Denn die Simulation von Produkteigenschaften und Fertigungsprozessen bietet – korrekt eingesetzt – aufgrund des frühzeitigen Erkenntnisgewinns und wegen der Nutzung rein virtueller Prototypen ein erhebliches Potential für die Effizienz der Entwicklung. Um bei der Simulation von Bauteilen in der späteren Einbaulage verlässliche und möglichst realitätsnahe Ergebnisse zu erhalten, wird durch die Berücksichtigung verschiedenster Nichtlinearitäten (nichtlineares Werkstoffverhalten, Kontaktsituationen, zeitinvariante Randbedingungen, große Deformationen usw.) häufig ein enormer Aufwand betrieben. Bei diesen Bemühungen bleibt aber zumeist die Tatsache unberücksichtigt, dass bei allen bekannten Fertigungsprozessen keine absolut exakte Herstellung möglich ist und somit Abweichungen des Bauteils gegenüber der idealen Ausgangskonstruktion aus dem CAD-System auftreten. Gerade Umform- (Blechbauteile) und Urformverfahren (Gussteile) im Maschinenbau zeigen größere prozessbedingte Unterschiede zwischen idealem Modell und realem Bauteil.

Das Verbundvorhaben widmet sich der Effizienzsteigerung der virtuellen Produkt- und Prozessentwicklung durch die Schaffung eines auf Expertenwissen basierenden Simulations-Frameworks zur Eigenschaftsoptimierung und Qualitätsverbesserung von neuen Produkten. Im Teilvorhaben hat die Technische Hochschule Nürnberg die Erzeugung korrigierter, realitätsnaher Geometrien für die Simulation mit 3D-Oberflächenerfassung untersucht.

## Ziele

Die Zielsetzung des Forschungsverbundes FORPRO<sup>2</sup> und das zu erwartende Ergebnis war die Bereitstellung des situativ benötigten Simulationswissens in Abhängigkeit von bestimmenden Faktoren, wie der Phase im Entwicklungsprozess, den eingesetzten Fertigungsprozessen und den individuellen Randbedingungen des Unternehmens. Der unternehmerische Nutzen ergibt sich aus verkürzten Entwicklungszyklen durch gesteigerte Transparenz der Auswirkungen von Designfestlegungen auf Produkt- und Prozesseigenschaften, verbesserter Qualitäts- und Eigenschaftsbewertung von Produkten sowie dem situativen Aufzeigen von Handlungsoptionen zur Produkt- und Prozessoptimierung.

## Projektverlauf

Zu Beginn wurde der zentrale Ansatz des Teilprojekts bearbeitet, welcher der Frage nachgeht, bis zu welchen fertigungsbedingten Verformungen des Bauteils die Simulationen ihre Gültigkeit behalten, welche während des Produktentwicklungsprozesses am idealen (nominalen) CAD-Modell durchgeführt wurden. Hierfür galt es, einen Prozess zur Validierung der Simulation zu definieren. Der für die Bewertung der Simulationsmodelle entwickelte Prozess zeigt dem Produktentwickler einen methodischen Ansatz auf, wie die idealen CAD-Daten mit dem tatsächlichen Modell verglichen und evaluiert werden können. Die Akquisition des erforderlichen Wissens erfolgt dabei zum einen direkt über die Eingabe eines entsprechenden Experten aus Fertigung, Berechnung oder Entwicklung in Form von Textbeschreibung oder Bildern. Oder zum anderen indirekt über den Rückfluss aus den gewonnenen Erkenntnissen in der Anwendung des Prozesses in Form der jeweiligen Modelle und Ergebnisdarstellungen. Basis der Evaluation der Abweichungen ist ein Geometrievergleich zwischen dem idealen CAD-Modell (SOLL-Zustand) und ein abweichungsbehaftetes Realmodell (IST-Zustand). Für die Geometrieerzeugung des IST-Zustandes wird die Methodik der 3D-Oberflächenerfassung angewandt und die Eignungen der Scandaten evaluiert. Thematisch lässt sich diese Digitalisierung in den Prozess des Reverse Engineering (RE) eingliedern. Die dabei erzeugten Daten sind die Ausgangslage auch für die weiteren Anwendungen in der Modellaufbereitung.

In einem nächsten Schritt wurde die Erzeugung von Realgeometriedaten untersucht, welche aus vorliegenden (werkzeugfallenden) Prototypen erzeugt werden. Zur Aufbereitung der Geometriemodelle für die Simulation kommen verschiedene Methoden in Frage. Das sogenannte „Reverse Engineering“, kurz RE, (Umkehrung des Entwicklungs- bzw. Produktionsprozesses vom Produkt hin zur Konstruktionszeichnung/zum Quellcode) zeigt dabei den aktuellen Stand der Technik, welcher vielfach Anwendung findet. Die Verwendung der Modelle für Simulationen ist allerdings eher unüblich, da zum einen beim RE die Fertigungsabweichungen eben häufig wieder entfernt werden, um das Ursprungsmodell zu erhalten und zum anderen ist die Aufbereitung (vor allem die Segmentierung der Daten für eine Flächenrückführung) enorm aufwendig. Hierfür sind häufig 80 % und mehr der gesamten Zeitaufwendung nötig. Gegenüber dem RE-Prozess (siehe Abbildung 1), bei dem vollständig ohne digitalen Datenbestand ein Modell aufgebaut wird, besteht die Möglichkeit bei vorhandener parametrischer

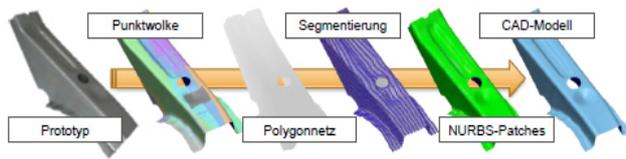


Abb.1: RE-Prozess am Beispiel des FORPRO<sup>2</sup>-Demonstrators

CAD-Geometrie diese so anzupassen, dass die realen Abmessungen darin enthalten sind. Dazu müssen die Parameter so definiert respektive zugewiesen sein, dass die tatsächlichen Formen auch abgebildet werden können. Dies bietet sich vor allem bei geometrisch einfachen Deformationen an, wie Rückfederung beim Rohrbiegen. Komplexere Abweichungen, wie den Faltenwurf aus Tiefziehprozessen, lassen sich nur sehr zeitintensiv parametrisch erzeugen, geschweige denn im Voraus bei der Erstellung des CAD-Modells in irgendeiner Form berücksichtigen. Darum lag hier der Fokus auf veränderte Standardgeometrien (Zylinder, Ebenen, etc.). Ein Ansatz zur vollständigen Nachbildung der deformierten Geometrien mit gleichzeitig minimalem Datenaufwand bestand darin, nur die stark verformten simulationsrelevanten Geometriepartien im Modell an die Realität anzupassen. Hierzu wird das ideale CAD-Modell mit dem 3D-Scan des (Prototypen-)Bauteils verglichen und die relevanten Abweichungen ermittelt. Diese Bereiche werden im CAD-Modell entfernt und durch sogenannte Flächenpatches (partielle Flächenrückführung des 3D-Scans) mit stetigen Übergängen ersetzt. Diese lokalen Scan-Inserts ergänzen das Originalmodell an kritischen Stellen. Dabei entsteht ein Hybridmodell. Für die häufig vorkommende Simulation durch eine Finite-Elemente-Analyse (FE) ist zudem die Methode der FE-Netzanpassung entwickelt worden. Hierbei wird auf bereits vorhandene FE-Daten zurückgegriffen. Besonders vorteilhaft mit diesem Prozess ist, dass für die Simulation mit Realgeometrie der sehr zeitintensive Arbeitsschritt des Preprocessings entfällt, da diese Informationen aus der bereits durchgeführten Berechnung für das Realmodell genutzt werden.

Für die Evaluation der Fertigungsabweichungen, ob diese schließlich einen kritischen Zustand bezüglich der Simulationsergebnisse aufweisen, wird der Nutzer durch das entwickelte Ebenen-Modell geleitet. Hierbei wird dem Produktentwickler das situativ benötigte Wissen in Form von Regeln, Bildern und Modellen bereitgestellt und er kann die Kriterien der Reihe nach bewerten, um so eine reproduzierbare Aussage treffen zu können, ob eine Modellanpassung für die Simulation zu empfehlen ist. Dabei erhält er unter anderem zunächst Informationen über das Modell an sich, die Geometrie mit Vergleichen, Genauigkeiten der verwendeten Scannersysteme und eventuelle Problemstellen aus Vorgängerversionen. In der zweiten Ebene erfolgt eine Beschreibung der Funktion des Teiles mit der entsprechenden Einbaulage, wobei definiert wird, inwieweit die Abweichungen die Funktion beeinträchtigen. Die Ebenen drei bis fünf fragen schließlich die Belastungen im Bauteil ab: Liegen die geometrischen Abweichungen in bereits belasteten Bereichen (bspw. aus ähnlichen Bauteilen, vorangegangenen Simulationen oder Erfahrungswerte)? Welche Art von Abweichungserscheinung tritt auf und ist diese Abweichungen in der Orientierung eine Schwächung der Struktur? Tritt in der Abarbeitung der Fragen der Fall auf, dass eine Aufbereitung des Simulationsmodells empfehlenswert ist, erhält man schließlich auf der letzten Ebene die Methoden bereitgestellt, mit welchen das Modell, je nach aktuellem Stand, für diesen Zweck angepasst werden kann.

Des Weiteren wurden empirische Vergleichssimulationen

durchgeführt, welche Aufschluss darüber geben, inwieweit auftretende Fertigungsabweichungen zu einer Spannungsveränderung (sowohl Erhöhung als auch Erniedrigung) oder einem Steifigkeitsverlust führen können (siehe Abbildung 2). Durch die Verteilung der Punkte in den II. und IV. Quadranten lässt sich zunächst die qualitative Aussage ableiten, dass negative Abweichungswerte (Vertiefung, Abweichung ins Bauteilinnere) eine Spannungserhöhung zur Folge haben. Liegt in diesen Bereichen bei einem Bauteil bereits ein gehobenes

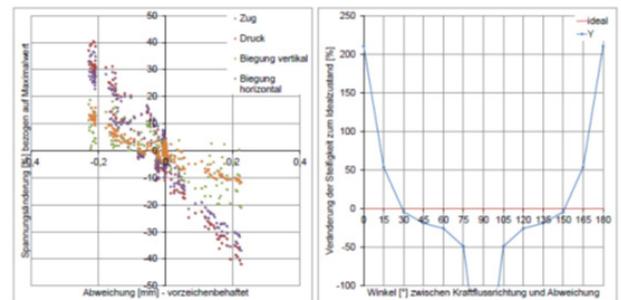


Abb.2: Empirische Versuchsauswertung von Simulationen mit definierten Abweichungszuständen

Spannungsniveau vor (Aussage beispielsweise unterstützt durch die Analyse des Kraftflusses), so kann also davon ausgegangen werden, dass es hierbei zu einem kritischen Spannungswert kommt. Der kritische Spannungswert kann dann zu einem frühen, unerwünschten Versagen des Bauteils führen. Dieses wird durch eine Simulation mit idealem CAD-Modell unter Umständen nicht ausgegeben.

## Ergebnisse

Die im Teilvorhaben erarbeiteten Algorithmen basieren primär auf Scandaten von Prototypen. Bereits zu Beginn des Vorhabens wurde postuliert, dass diese Prototypen durch eine Prozesssimulation ersetzt werden müssten. Die Algorithmen funktionieren mit diesen Daten ebenso – dies wurde im Projekt nachgewiesen. Ebenso wurde aber festgestellt, dass die Qualität der erreichten Prozesssimulationen bei weitem noch nicht die Qualität von realen Prototypen hat. Lediglich bei Simulationen mit MoldFlow® (Kunststoffverarbeitung) konnten im Detail belastbare Ergebnisse erzeugt werden, die adäquat zu denen eines realen Prototypen waren. Daher wird in dem Bereich der größte Forschungsbedarf gesehen, Fertigungsprozesssimulationen für unterschiedliche Fertigungsverfahren robuster und ergebnispräziser zu gestalten. So sollen reale Prototypen häufiger ersetzt werden können.

Im Rahmen des Teilvorhabens wurde zusätzlich ein Leitfaden für Praktiker erstellt. Mit dem Leitfaden wollen die Autoren interessierten Unternehmen ermöglichen, die Durchführung von Simulationen in Entwicklung, Konstruktion und Fertigung effizienter zu gestalten, basierend auf dem entwickelten Simulations-Framework. Dieses Framework ermöglicht dem Produktentwickler, wissens- und kontextbasiert die richtigen Werkzeuge im Bereich der Produkt- und Prozesssimulation zum optimalen Zeitpunkt und auf korrekte Weise einzusetzen. Dabei liegt der Fokus auf der verbesserten Integration von Wissen in den Simulationsprozess, um zu qualitativ hochwertigen Simulationsergebnissen zu gelangen. Der Leitfaden bietet eine Anleitung zur praktischen Umsetzung in Unternehmen. Er soll daher nicht nur eine einmalige Lektüre, sondern ein bedarfsbezogenes Nachschlagewerk während der kontinuierlichen Anwendung sein. Dafür sind neben den wissenschaftlichen Grundlagen sowohl ein stringenter Anlei-

tungsteil als auch Details zu allen erwähnten Methoden und Werkzeugen Bestandteil des Leitfadens.

## Fördergeber



## Projektpartner aus der Wissenschaft



## Projektpartner aus der Industrie

Duwe-3d AG  
MEKRA Lang GmbH & Co. KG  
Loesch Verpackungstechnik GmbH  
ComputerKomplett ASCAD GmbH  
DEKRA Automobil GmbH (Niederlassung Nürnberg)  
RFPlast GmbH  
MTC GmbH

---

Projektleiter  
Prof. Dr.-Ing. Michael Koch  
Telefon: 0911/ 5880-1795  
E-Mail: michael.koch@th-nuernberg.de

Fakultät Maschinenbau & Versorgungstechnik  
Technische Hochschule Nürnberg  
Georg Simon Ohm

[www.th-nuernberg.de](http://www.th-nuernberg.de)