

## Interaktive Machbarkeitsbewertung mit Hilfe der datengetriebenen Modellierung am Beispiel einer Umformsimulation

### Einleitung

Entwicklungsprozesse in der Automobilindustrie erfordern häufig eine schnelle und zuverlässige Bewertung der technischen Umsetzbarkeit oder anderer Eigenschaften von Designentwürfen. Diese Bewertung wird im Allgemeinen auf der Basis von Computersimulationen oder gar experimentellen Untersuchungen durchgeführt und ist daher ressourcenintensiv. Vor allem aber erfordert die Bewertung Zeit und ist daher nicht interaktiv im Rahmen einer Expertenbesprechung durchführbar, wie es idealerweise möglich sein sollte, um vorgeschlagene Designvariationen unmittelbar diskutieren zu können. Abhilfe schaffen hier neueste Verfahren der sog. datengetriebenen Modellierung, die von der divis GmbH unter der Bezeichnung ClearVu Analytics entwickelt und als Standardsoftware verfügbar gemacht worden sind. ClearVu Analytics wird aufgrund seiner Funktionalität von BMW als Standardsoftware für die datengetriebene Modellierung experimenteller oder simulationsbasierter Daten eingesetzt.

### Aufgabenstellung

Im Rahmen dieses Beitrags wird die Anwendung dieses Verfahrens auf eine repräsentative Aufgabenstellung der BMW AG aus der Umformtechnik dargestellt. Der relevante Designbereich umfasst die Türeintrittsöffnung im B-Säulenbereich des Seitenrahmens, wie in Abbildung 1 dargestellt.

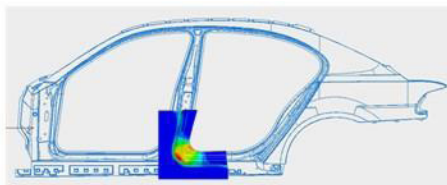


Abb. 1: Türeintrittsöffnung im B-Säulenbereich des Seitenrahmens.

Dieser Bereich ist hinsichtlich der Umformtechnik sehr anspruchsvoll, da es je nach Designauslegung (z.B. Einstiegswinkel, Einstiegsradius, Rahmentiefe) zu umformtechnischen Problemen, insbesondere zu hoher Materialausdünnung oder Reißen, kommen kann.

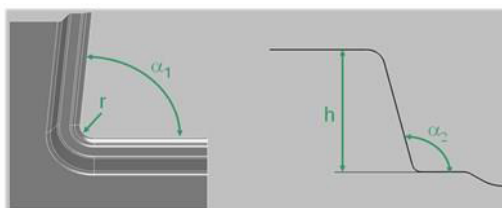


Abb. 2: Modellvereinfachung mit Designparameter der Türeintrittsöffnung. Links: Seitliche Aufsicht. Rechts: Querschnitt.

## BMW Group

### Das Unternehmen

- Einer der größten Automobilhersteller Deutschlands
- Hauptsitz in München
- Marken: BMW, Mini, Rolls-Royce
- Mehr als 110.000 MitarbeiterInnen (2021)
- Mehr als 110 Mrd. € Umsatz (2021)
- Mehr als 2.5 Millionen Fahrzeuge (2021)

### Anwendungsbereiche

- Entwicklung und Produktion
- Analyse von Simulations- und Prozessdaten
- Prognose von Simulationsergebnissen
- Bestimmung wesentlicher Einflussparameter
- Machbarkeitsbewertung
- Predictive Quality
- Predictive Maintenance
- Datengetriebene Optimierung von Produktionsprozessen

## Interaktive Machbarkeitsbewertung mit Hilfe der datengetriebenen Modellierung am Beispiel einer Umformsimulation

Zur Reduktion der Rechenzeiten des Seitenrahmens (ca. 10 h auf 16 CPUs) wird ein vereinfachtes parametrisiertes Modell verwendet wie in Abb. 1 ersichtlich. Dadurch reduziert sich die Rechenzeit auf ca. 15min pro Parameterkombination. Die relevanten Designparameter für die Türeintrittsöffnung sind in Abbildung 2 zusammengefasst. Dabei bezeichnet  $r$  den Einstiegsradius,  $\alpha_1$  den Einstiegswinkel,  $h$  die Ziehtiefe und  $\alpha_2$  die Zargenöffnung. Zusätzlich zu diesen vier Parametern werden zwei weitere Blechgeometrieparameter berücksichtigt (Beschnittparameter), so dass die Modellierungsaufgabe insgesamt 6 reellwertige Designparameter umfasst, die jeweils in vorgegebenen Wertebereichen variiert werden können.

### Lösungsmethode

Mit Hilfe von ClearVu Analytics wurde nun zunächst mittels eines »Design of Experiments«-Verfahrens (sog. Latin Hypercubes) ein Plan für die Durchführung von ca. 2.000 Simulationsexperimenten erstellt. Die Simulationsexperimente liefern jeweils Aussagen über die Entstehung von Ausdünnungen sowie Reißern bei der Umformung, und diese numerischen Werte wurden in drei Bewertungsklassen aufgeteilt:

- Grün steht für eindeutig umformtechnisch herstellbare Formen (keine Reißer, keine wesentliche Ausdünnung).
- Rot steht für eindeutig umformtechnisch nicht herstellbare Formen (Reißer bzw. zu hohe Ausdünnung).
- Gelb definiert einen Übergangsbereich.

Diese Bewertungsklassen existieren für beide Zielgrößen (Reißer/Ausdünnung), so dass insgesamt neun Zustände möglich sind.

Anhand der 2.000 Datenpunkte kann ClearVu Analytics automatisch mit Hilfe statistischer Verfahren ein generalisierendes Modell der Beziehung zwischen Reißern bzw. Ausdünnungen und den Geometrieparametern erstellen. Das Modellierungsverfahren wird dabei nicht vorgegeben, sondern automatisch durch die Software ermittelt, so dass der Benutzer keine weiteren Vorkenntnisse über die datengetriebene Modellierung mit Verfahren der Statistik oder des Data Mining benötigt. Durch ein Verfahren der sog. Cross-Validierung wird sichergestellt, dass das so erhaltene Modell auch für neue Kombinationen der Eingabeparameter in der Lage ist, mit hoher Präzision die umformtechnische Herstellbarkeit zu prognostizieren.

Im Gegensatz zu den Simulationsläufen, die pro Berechnung ca. 8-12h benötigen, sind die Prognosen des so gelernten Modells verzögerungsfrei berechenbar. Dadurch wird die umformtechnische Bewertung eines neuartigen Designs mit Hilfe der in Abbildung 3 dargestellten Benutzeroberfläche interaktiv möglich, d.h., innerhalb einer einzigen Konstruktionsbesprechung können eine Vielzahl von Designvariationen diskutiert und bewertet werden. Die damit einhergehenden zeitlichen Vorteile sind von wesentlicher Bedeutung für den Entwicklungsprozess.

## Interaktive Machbarkeitsbewertung mit Hilfe der datengetriebenen Modellierung am Beispiel einer Umformsimulation

### Vorgehensweise im Detail

Nachdem die Daten in ClearVu Analytics geladen worden sind, kann die automatische Modellierung in wenigen Arbeitsschritten aktiviert werden. Im Rahmen der automatischen Modellierung werden eine Vielzahl von Modellierungsverfahren, unter anderem lineare Modelle, Support Vector Machines, „random forests“, Fuzzy Modelle, Kriging-Verfahren, PLS- und RBF-Modelle auf die Daten angewendet und mit Hilfe einer automatischen Optimierung so angepasst, dass das bestmögliche Modell gefunden wird. Der Benutzer muss dafür nur wenige Schritte im Benutzerinterface von ClearVu Analytics durchlaufen – das System evaluiert die Modelle selbständig und schließt den Prozess mit einer eindeutigen Empfehlung ab, welches Modell für die gegebenen Daten am besten abgeschnitten hat. Dieses Modell kann dann für die Prognose der Umformbarkeit verwendet werden.

Ein entsprechendes interaktives Modellinterface, wie in Abbildung 3 dargestellt, erlaubt dann die Verwendung der Modelle mit Hilfe variierbarer Schieberegler, die die Einstellung der Geometrieparameter interaktiv möglich macht. Je nach Einstellung der Schieberegler wird grün, gelb oder rot als Indikator für das Auftreten von Reißern und Ausdünnungen vorhergesagt. Auf diese Weise erhält das Konstruktionsteam eine sofortige Bewertung der umformtechnischen Eigenschaften der Geometrie.

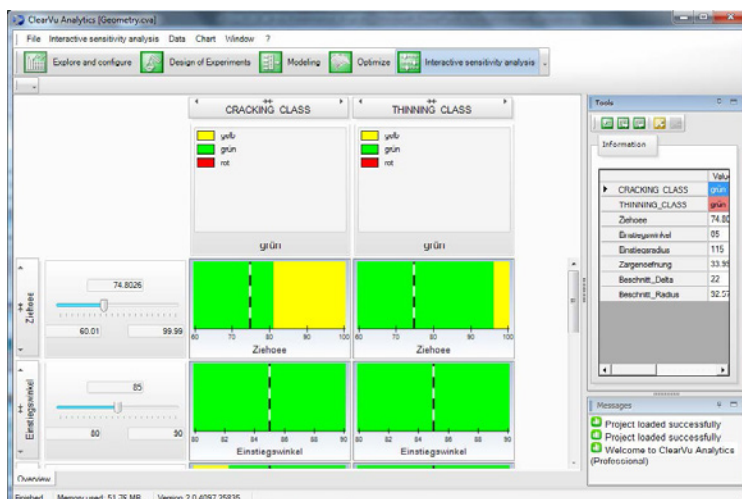


Abb. 3: Interaktives Modellinterface zur Prognose der Umformbarkeit des Türeinstiegs. Über die Schieberegler auf der linken Seite werden die Geometrieparameter (hier sichtbar: Ziehtiefe und Einstiegsinkel) variiert, in den Spalten »CRACKING\_CLASS« und »THINNING\_CLASS« wird das Auftreten von Reißern oder Ausdünnung vorhergesagt.

## Interaktive Machbarkeitsbewertung mit Hilfe der datengetriebenen Modellierung am Beispiel einer Umformsimulation

### Weitere Möglichkeiten

Häufigster Anwendungsfall dieser Art der datengetriebenen Modellierung ist nicht die Vorhersage einer diskreten Klassenzugehörigkeit, wie im vorangehenden Beispiel, sondern die Vorhersage einer oder mehrerer numerischer Ausgangsgrößen. Das Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten ist sehr breit und umfasst alle Bereiche, in denen aus prozessualen, experimentellen oder simulationsbasierten Daten schnelle tiefere Einblicke in die Zusammenhänge der Variablen untereinander oder mit den Ausgabegrößen gewonnen werden müssen und verlässliche Prognosen für neue Zustände gesucht sind.

Aufgrund der Leistungsfähigkeit des Ansatzes und der vielseitigen Einsetzbarkeit hat die BMW Group ClearVu Analytics als Standardverfahren für diese sogenannte Metamodellierung mittlerweile fest im Unternehmen etabliert und kooperiert mit der divis GmbH hinsichtlich der Entwicklung weiterer Releases. Ein entsprechender Kooperationsvertrag wurde im Juli 2011 von beiden Partnern unterschrieben.

### Testimonial

»Als führender Experte für die Anwendung von Evolutionsstrategien und Metamodellen auf komplexe industrielle Optimierungsprobleme hat Prof. Bäck für die BMW AG immer Ergebnisse von höchster Qualität erzielt. Wir schätzen diese langjährige Zusammenarbeit sehr und empfehlen jedem Industriepartner, für den die Lösung schwieriger Optimierungs-, Modellierungs- und Prognoseaufgaben wichtig ist, eine Zusammenarbeit mit Prof. Bäck«

Markus Ganser, Manager Standardisierung, BMW Group, Konstruktion und Innovation, München