

# Behavioral Modeling (verhaltensbasiert)

**in der Konstruktion von Zylinderköpfen**

SAXON SIMULATION MEETING (TU Chemnitz)

Dipl.-Ing. Wolfgang Berg

Chemnitz, 28.04.09

# IAV Firmenprofil

## Überblick



- Gründungsjahr: 1983
- Mitarbeiter 2008: 3850
- Branche / Produkte
  - Automotive-Engineering
  - Forschung
  - Vorentwicklung
  - Serienentwicklung
- Geschäftsfelder
  - Fahrzeug
  - Antriebsstrang
  - Automobilelektronik



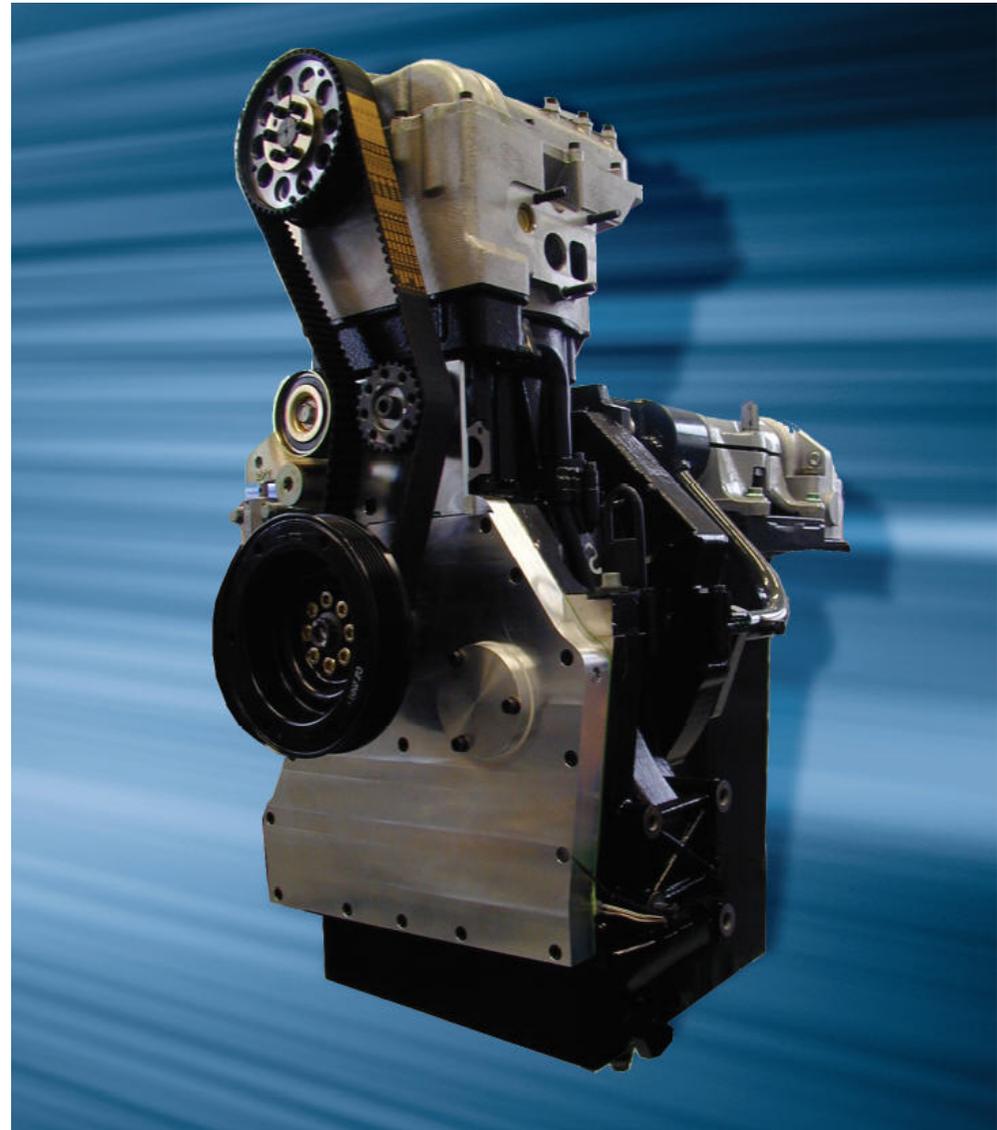


# Projekt Einzylindermotor für Brennverfahrensuntersuchungen



technische Daten:

- Hub  $\leq 100$  mm
- Bohrung  $\leq 95$  mm
  
- Hauptlager  $\varnothing 70 \times 22,5$
- Zünddruck  $\leq 220$  bar
- Drehzahl  $\leq 9000$  1/min
  
- vollständiger Massenausgleich der  
1. und 2. Ordnung



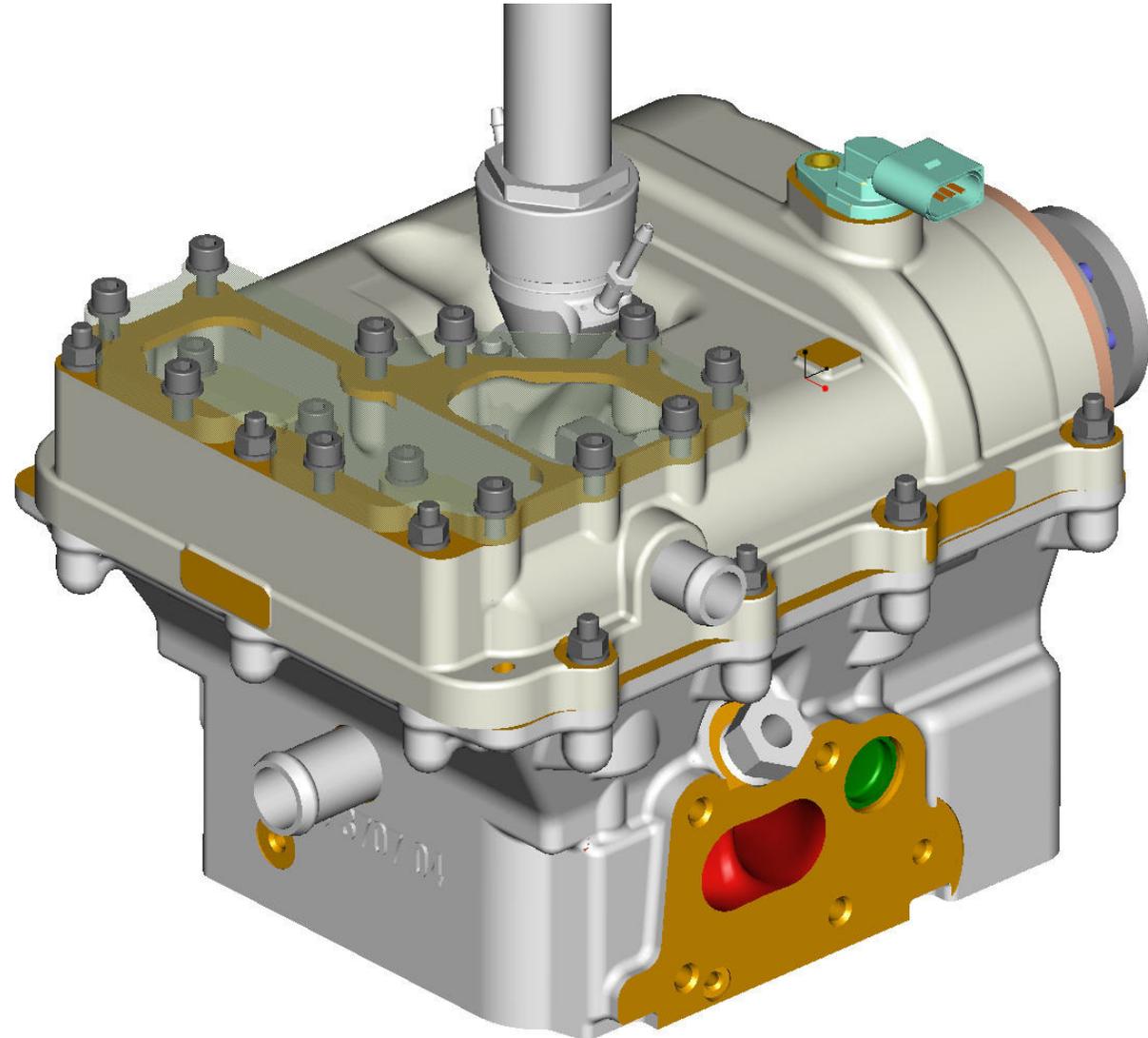
# Projekt Einzylindermotor

## ZSB Zylinderkopf



Kurzbeschreibung:

- Rapid Prototyping
- Druckindizierung
- 2 optische Sensoren
- drehbare Einspritzdüse
- Temperatursensoren an kritischen Stellen
  
- Kühlung im Bereich der Auslasssitze



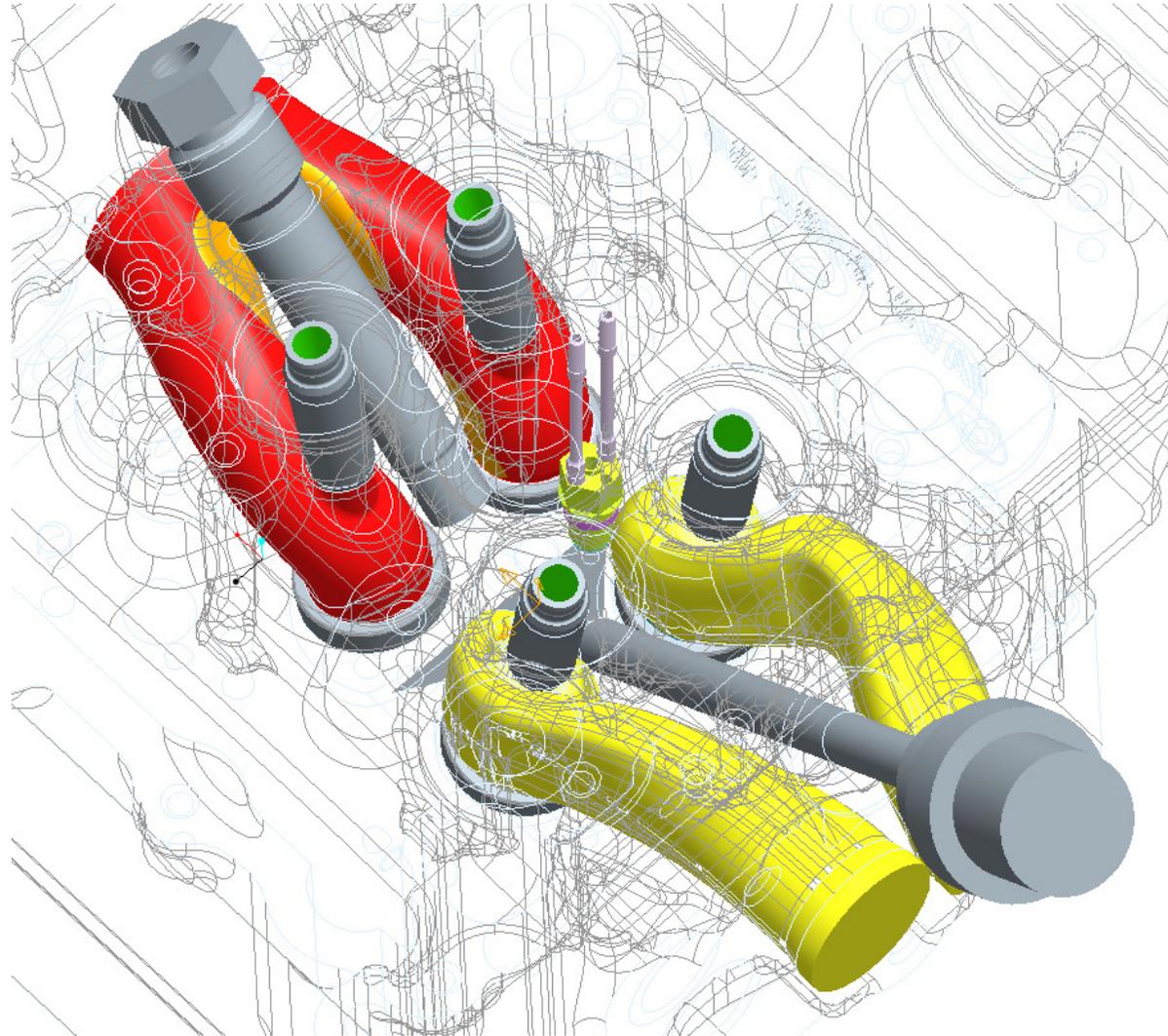
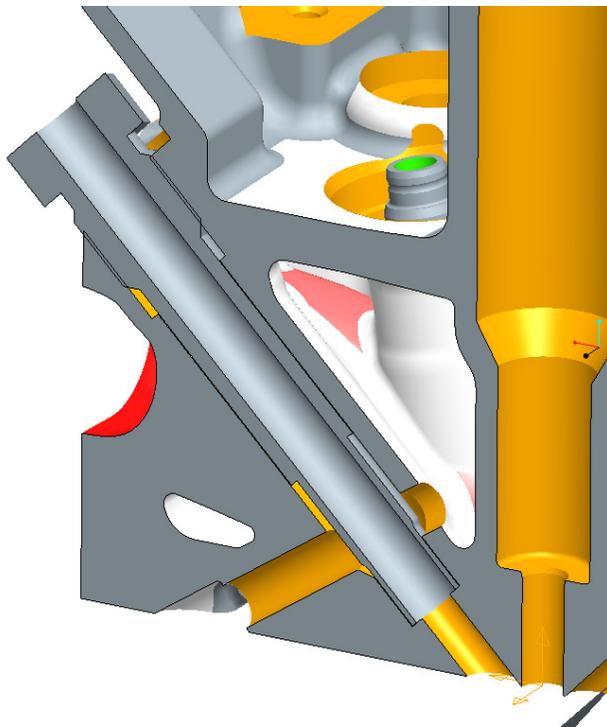
## 2 Brennraumzugänge für optische Sensoren neuer Auslasskanal notwendig



Laser auf der Einlassseite

Endoskop auf der Auslassseite

Hülse zwischen den  
Auslassventilen zur Absicherung  
der Kühlung

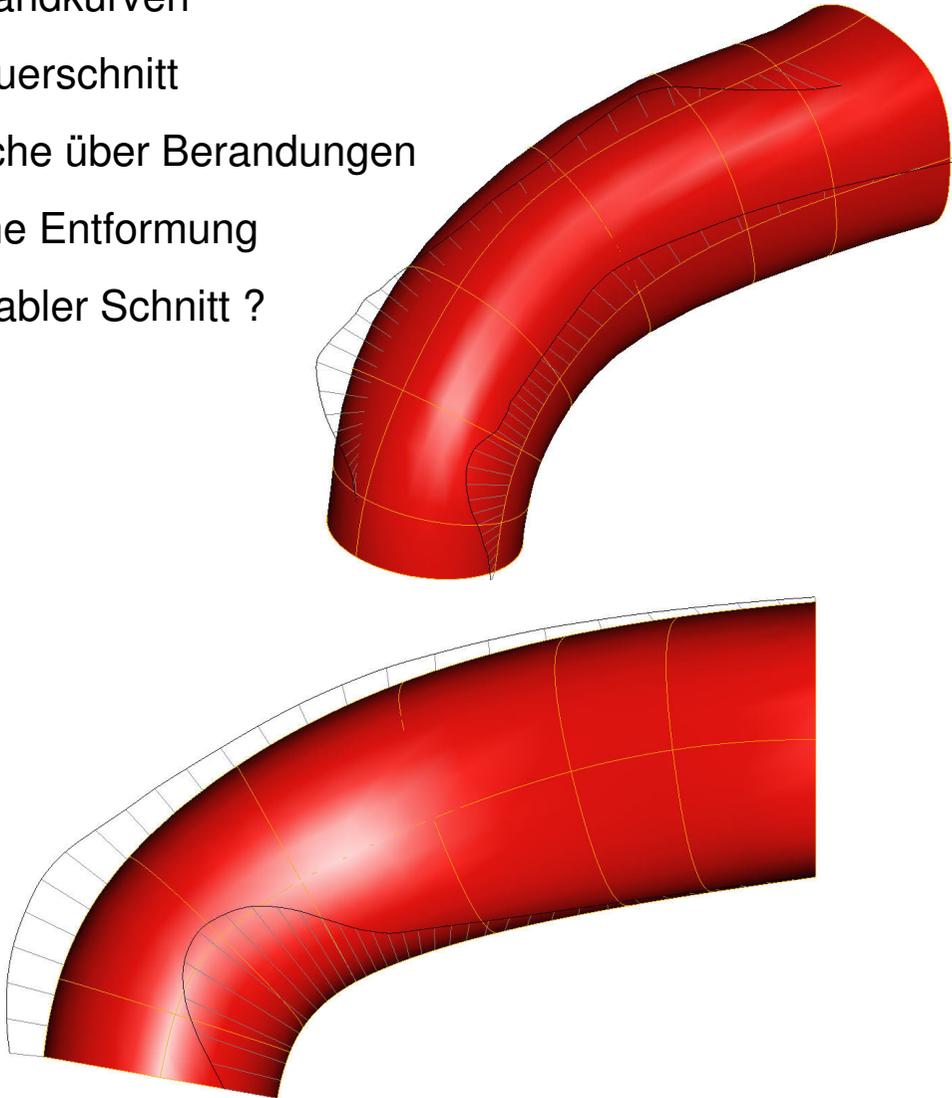


# Auslasskanal, Modellaufbau

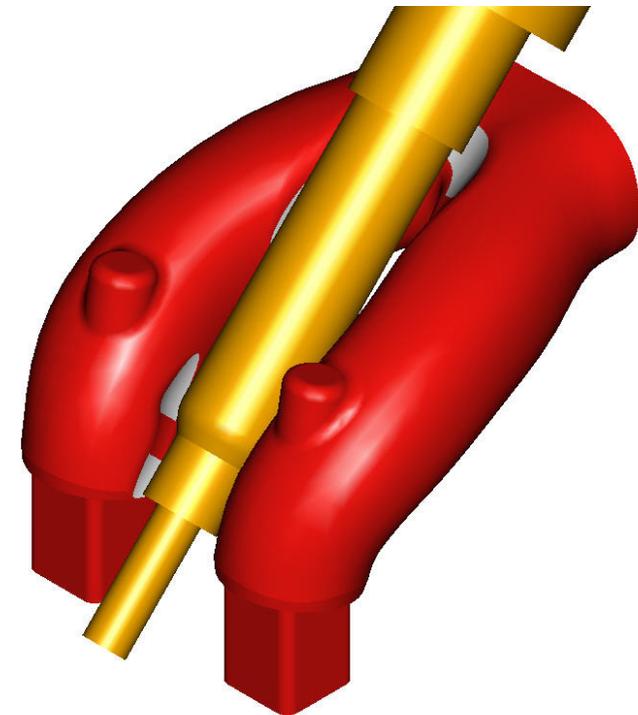
## Grundkontur und Hülsenfreigang



- 4 Randkurven
- 8 Querschnitt
- Fläche über Berandungen
- keine Entformung
- variabler Schnitt ?



- nachträglicher Freigang für die Hülse
- Querschnittsverringern an den Sitzringen und im Zwickelbereich
- Querschnitt sollte gleichmäßig aufgeweitet verlaufen



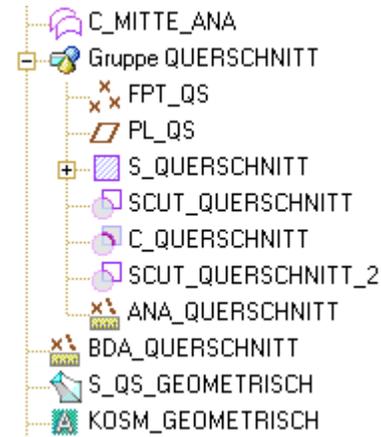
# Querschnittsanalyse über Feldpunkt und BDA

## konstruktionsbegleitend, direkt im Modell

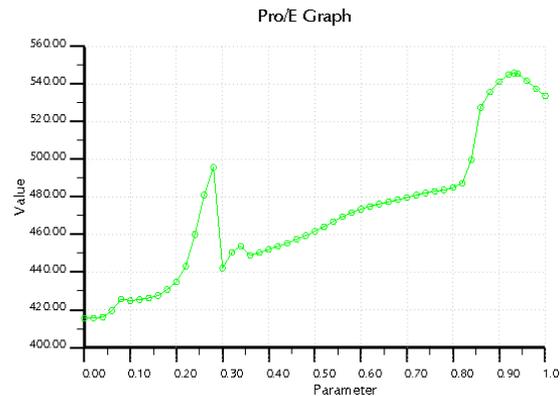
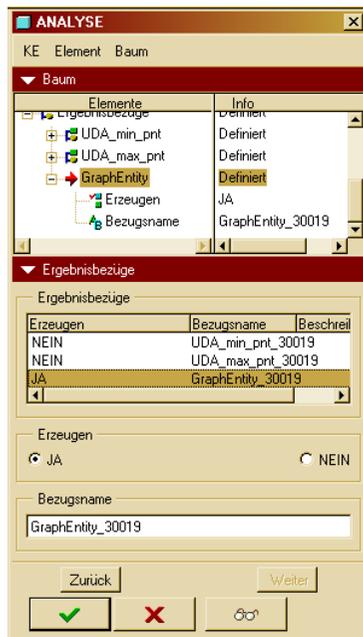


- Feldpunkt auf Leitkurve
- Querschnittsdefinition
- Querschnittsanalyse
- benutzerdefinierte Analyse (BDA)
- var. Schnitt auf Leitkurve mit Graph aus der BDA
- Ausgabe als Excel-Diagramm möglich

Gruppe



Gleiche Auswertung auch für den hydr. Vergleichs-Ø möglich.

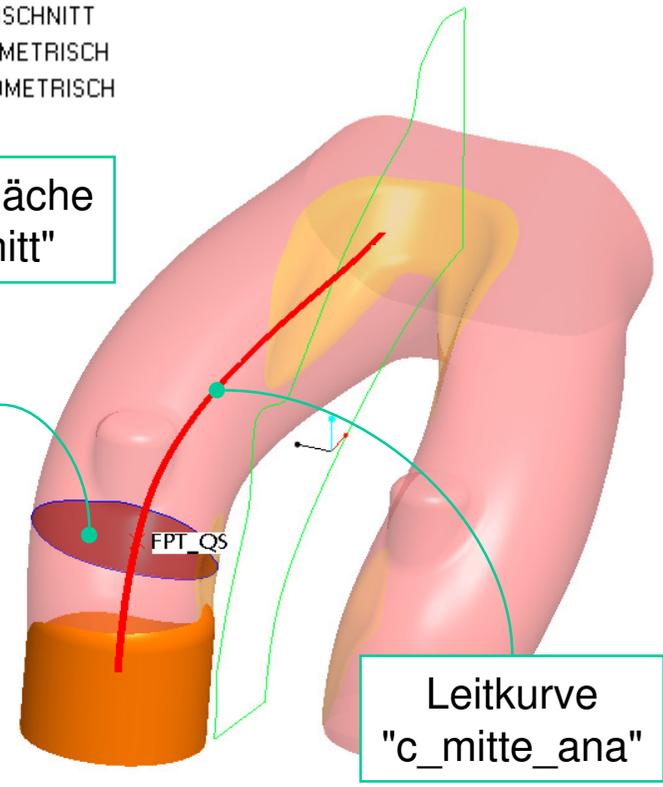


gemessene Fläche "s\_querschnitt"

Schnittbeziehungen "s\_qs\_geometrisch"

Beziehungen

$sd3 = (evalgraph(30019, trajpar) - graphdifferenz) / graphdivisor$

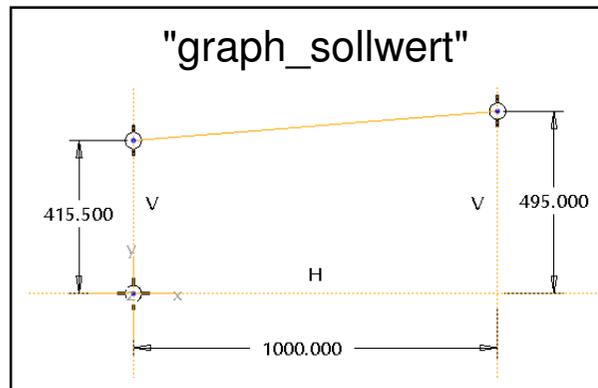


# Vergleich mit einer Vorgabe graphgesteuerter variabler Schnitt



Sollkontur über Graph und var. Schnitt  
auf der gleichen Leitkurve wie die  
Querschnittsanalyse

zur besseren Darstellung über  
Parameter gesteuert



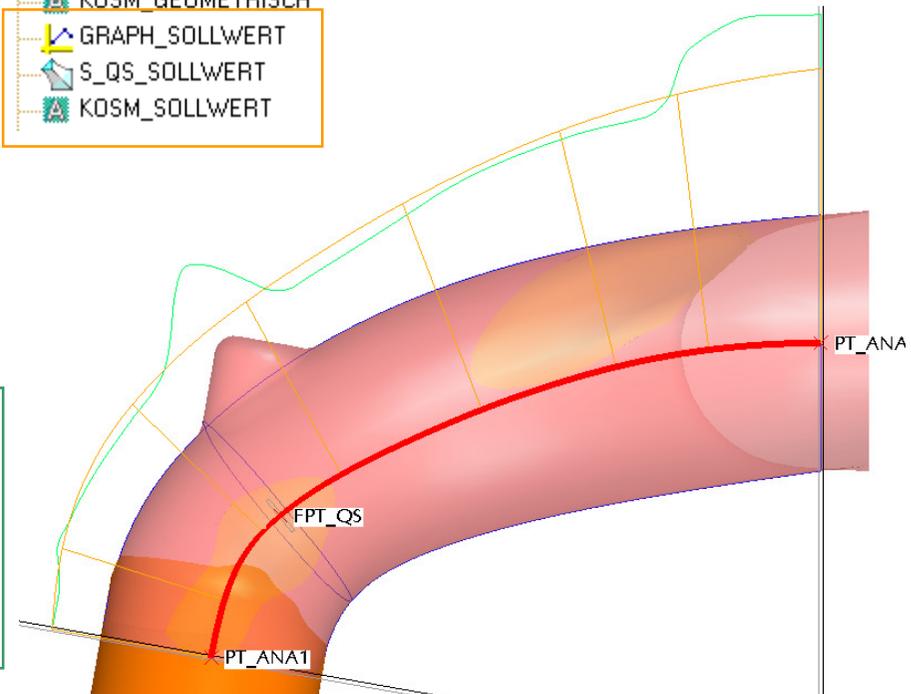
- C\_MITTE\_ANA
- Gruppe QUERSCHNITT
  - FPT\_QS
  - PL\_QS
  - S\_QUERSCHNITT
  - SCUT\_QUERSCHNITT
  - C\_QUERSCHNITT
  - SCUT\_QUERSCHNITT\_2
  - ANA\_QUERSCHNITT
  - BDA\_QUERSCHNITT
  - S\_QS\_GEOMETRISCH
  - KOSM\_GEOMETRISCH
  - GRAPH\_SOLLWERT
  - S\_QS\_SOLLWERT
  - KOSM\_SOLLWERT

gemessener Querschnitt  
Sollkurve

Schnittbeziehungen "s\_qs\_sollwert"

Beziehungen

$sd3 = (evalgraph("graph_sollwert", trajpar*d140) - graphdifferenz) / graphdivisor$



# Graphabgleich

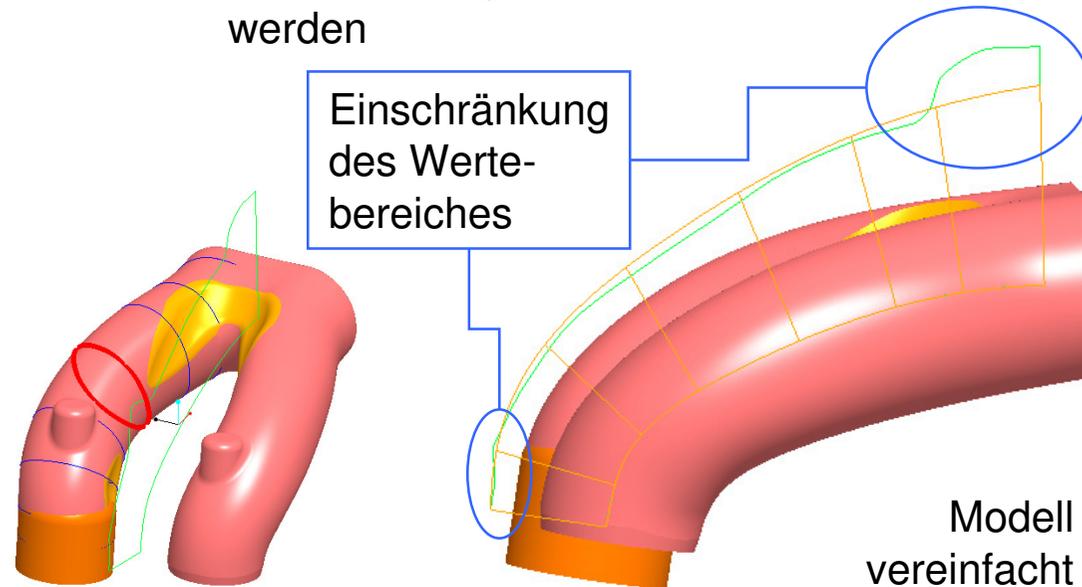
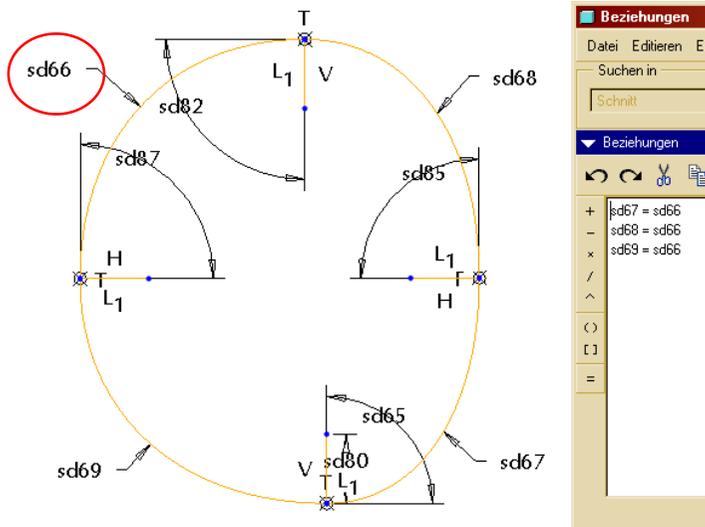
## grundlegendes Vorgehen - Randbedingungen



- Funktion "comparegraphs" erlaubt den Vergleich von 2 Graphen aus BDA's
- Erstellung einer Vorgabe notwendig, die über eine BDA ausgewertet wird
- Analyse-KE vom Typ "Beziehung" mit Abweichparameter
- Optimierung durch minimieren des Abweichparameters

- möglichst einfache und robuste Modelle
- Anzahl der Konstruktionsvariablen hat nur wenig Einfluss auf die Rechenzeit
- möglichst direkter Einfluss der Konstruktionsvariablen auf die Messgröße
- Messgröße nur auf einer Seite der Vorgabe
- ggf. sollten "Störkonturen" zur Vereinfachung aus der Geometrie entfernt werden

### rho-Wert als Konstruktionsvariable



# Graphabgleich

## Vorgabekanal - Analysen



- C\_KANALMITTE
- PT\_ANA
- C\_MITTE\_ANA
- Gruppe QUERSCHNITT
  - FPT\_QS
  - PL\_QS
  - S\_QUERSCHNITT
  - SCUT\_QUERSCHNITT
  - C\_QUERSCHNITT
  - SCUT\_QUERSCHNITT\_2
  - ANA\_QUERSCHNITT
- BDA\_QUERSCHNITT
- S\_QS\_GEOMETRISCH
- KOSM\_GEOMETRISCH

Kanal messen

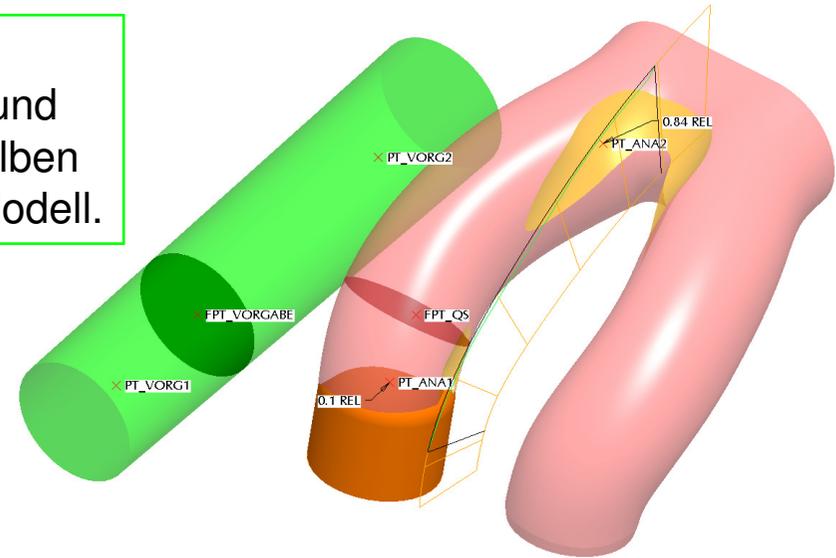
- GRAPH\_SOLLWERT
  - S\_US\_SOLLWERT
  - KOSM\_SOLLWERT
- C\_VORGABE
- PT\_VORGABE
- C\_VORGABE\_ANGENAHEHRT
- VAR\_VORGABE
- VERSATZ\_VORGABE\_1
- VERSATZ\_VORGABE\_2
- Gruppe VORGABE
  - FPT\_VORGABE
  - PL\_VORGABE
  - S\_FLACH\_VORGABE
  - TRIM\_VORGABE
  - ANA\_VORGABE
- BDA\_VORGABE
- S\_VORGABE
- KOSM\_VORGABE

Vorgabebereich

- ANA\_VERGLEICH

Graphabgleich

Erstellung eines Vorgabegraphen und Darstellung desselben zur Kontrolle im Modell.



**ANALYSE**

KE Element Baum

Baum

Elemente	Info
Analysis	Analysis
Name	Wird geändert
Typ	Beziehung
RegenAntrag	Immer
Definition	Definiert

Name

Name: ANA\_VERGLEICH

Typ

Messen       Modellanalyse  
 BDA             Beziehung  
 Excel-Analyse    Mechanica

RegenAntrag

Immer       Nur Konstruktions  
 Schreibgeschützt

Zurück Weiter

✓ ✗ ↺

Die Analyse "ana\_vergleich" gibt den Bereich zwischen den beiden Graphen (Vorgabe und Querschnitt) als Parameter "vergleich" aus (hier 7,435).

**Beziehungen**

Datei Editieren Einfügen Dienstprogramme Zeigen

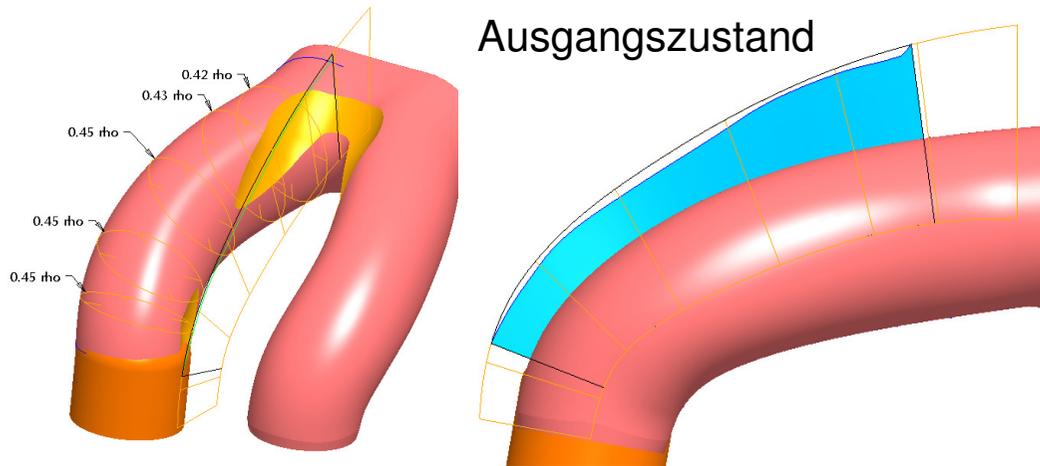
Suchen in

KE ID 35174 von Modell AUSLASSKANAL

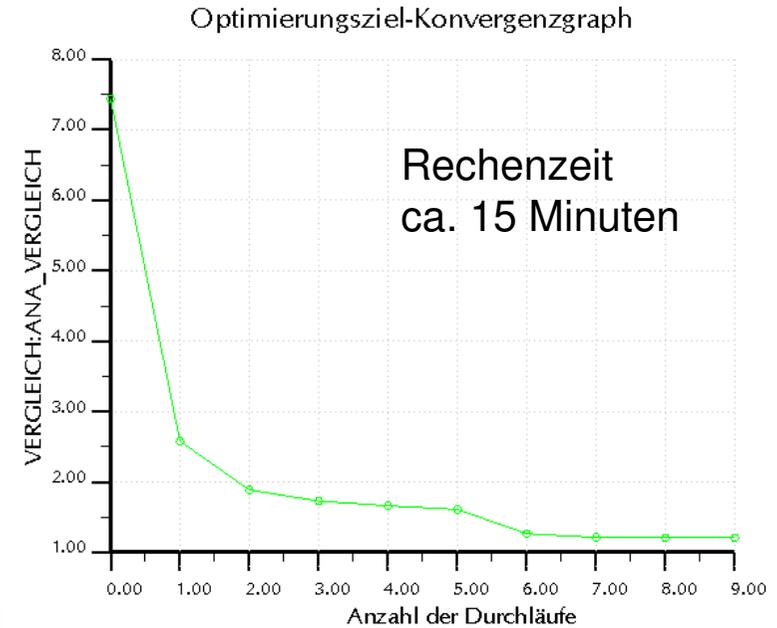
Beziehungen

vergleich = comparegraphs ("bda\_vorgabe", "bda\_querschnitt", "lwo")

# Graphabgleich Optimierung



Ausgangszustand



**Optimierung/Durchführbarkeit**

Datei Ausführen Optionen

Studientyp/-name  
[Optimierung]

Name QS\_ANPASSUNG

Ziel  
Minimieren VERGLEICH:ANA\_VERGLEICH

Konstruktionsbedingungen

Variable	Min	Max
d343:AUSLASSKANAL	0.400000	0.600000
d353:AUSLASSKANAL	0.400000	0.600000
d363:AUSLASSKANAL	0.400000	0.600000
d373:AUSLASSKANAL	0.400000	0.600000
d383:AUSLASSKANAL	0.400000	0.600000

Berechnen Widerrufen Schließen

**Voreinstellungen**

Graphen Ausführen Methode

Konvergenz

Konvergenz % 0.030000

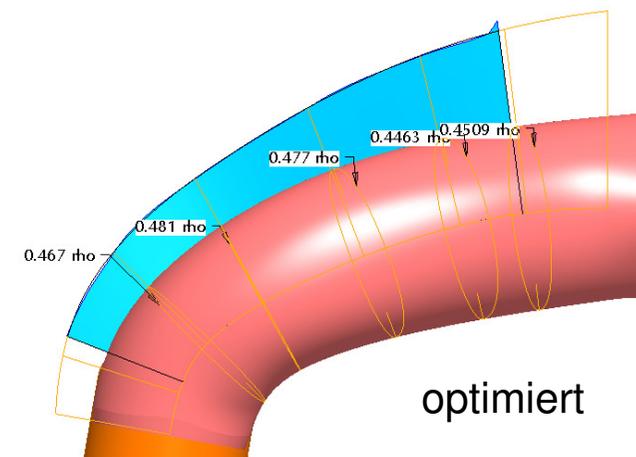
Max Durchläufe 50

Modell animieren

OK Schließen

Definition der Optimierung ohne zusätzliche Konstruktionsbedingungen. Die rho-Werte sind im Bereich zwischen 0,4 und 0,6 änderbar.

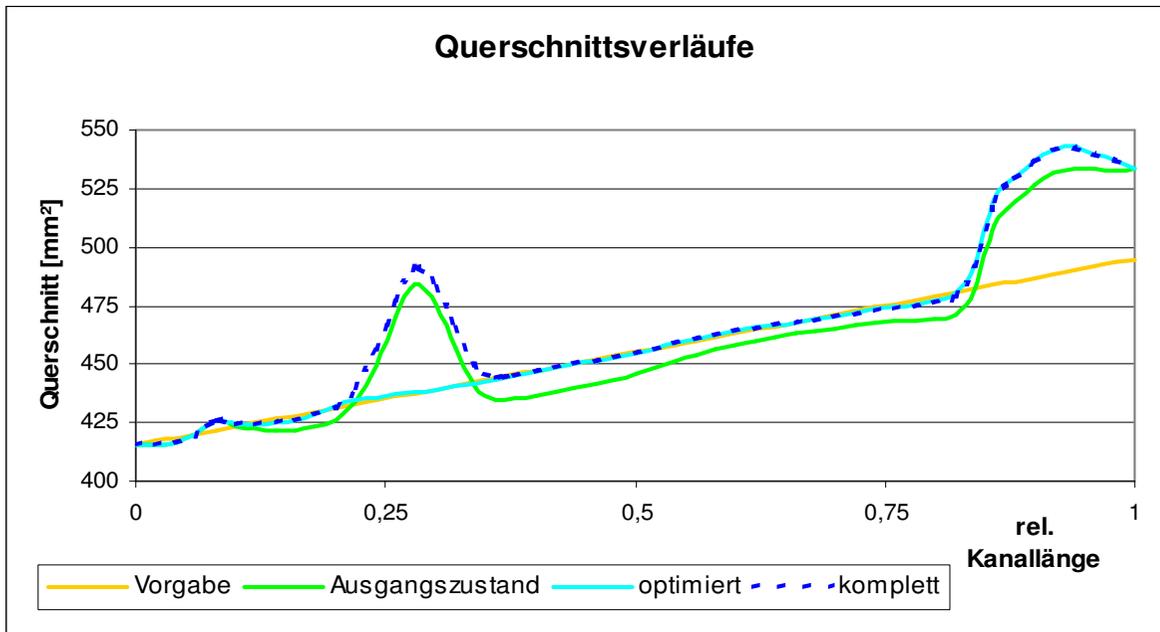
Ziel ist die Minimierung der Abweichung zwischen den Graphen.



optimiert

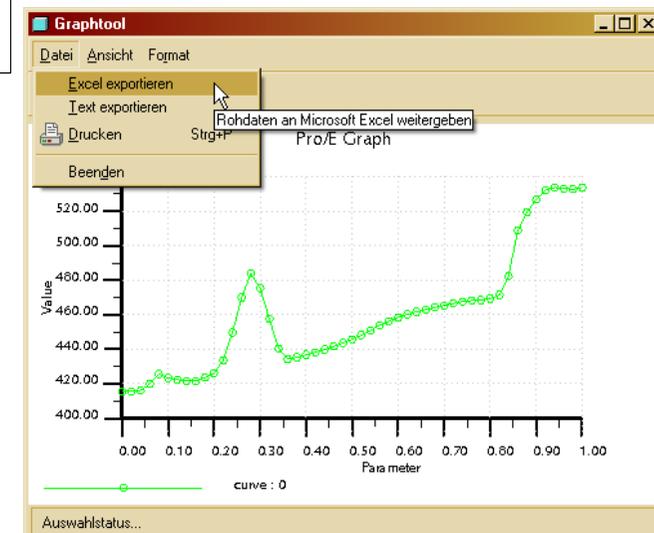
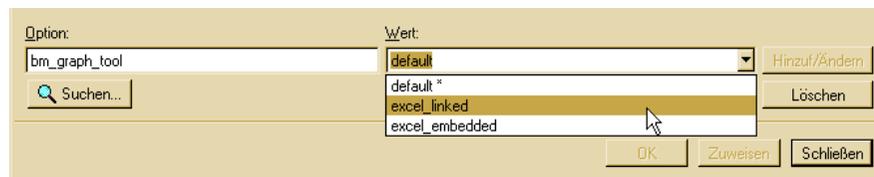
# Graphabgleich

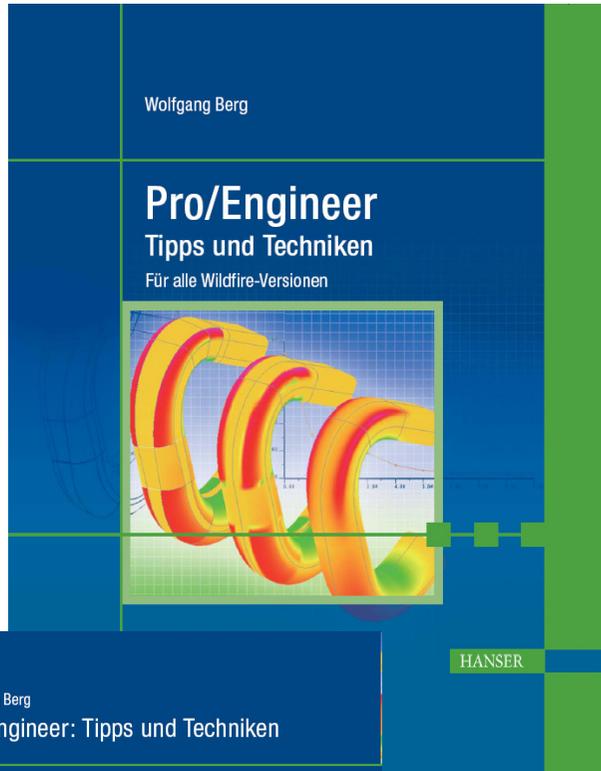
## Querschnittsvergleich über Exceldiagramm



Ausgabe der Querschnittsverläufe über:

1. Konfigoption `bm_graph_tool "excel_linked"` direkt
2. aus Graphtool "Datei" – "Excel exportieren"





<b>1 Allgemeiner Modellbau</b> .....	<b>9</b>
1.1 Modellentwurf .....	9
1.2 Keine unnötigen Geometrien .....	11
1.3 Einfach und robust .....	12
1.4 Eigene Vorgaben .....	14
1.5 Skizzierer .....	17
<b>2 Möglichkeiten externer Referenzierung</b> .....	<b>31</b>
2.1 Layout .....	36
2.2 Baugruppenbeziehungen .....	39
2.3 Familientabellen .....	40
2.4 Verschmelzen/Ausschneiden .....	41
2.5 Vererbung .....	
2.6 Kopiegeometrie .....	
<b>3 Detaillösungen</b> .....	
3.1 Gerade Auflage in gekrümmter Fläche .....	
3.2 Butzen mit variabler Entformung .....	
3.3 Gebogene und variable Feder .....	
3.4 Schräge Bohrung durch Teilung .....	
3.5 Nachbildung von Fräsebahnen .....	
<b>4 Saugrohrkonstruktion</b> .....	
4.1 Rechteckquerschnitt .....	
4.1.1 Geraden und Radien .....	
4.1.2 Geraden und Radien in Splines umgewandelt ....	
4.1.3 Kegelschnitte .....	84
4.1.4 Bemaßter Spline .....	85
4.1.5 Spline mit freien Punkten .....	86
4.1.6 Spline mit Kontrollpolygon .....	87
4.2 Leitkurvenkonstruktion .....	88
4.2.1 Leitkurvenkonstruktion über graphgesteuerten Versatz .....	88
4.2.2 Leitkurvenkonstruktion über Steuerkurvenbiegung .....	92
4.2.3 Vergleich von Leitkurvenvarianten .....	99
4.3 Kanalkonstruktion .....	107
4.3.1 Doppelte Steuerkurvenbiegung .....	107
4.3.2 Gezogener Verbund .....	113
4.3.3 Variabler Schnitt (Kegelschnitte) .....	119
4.3.4 Variabler Schnitt (Rechteck) .....	125
<b>5 Modellbau eines Zylinderkopfes im Top Down Design</b> .....	<b>133</b>
5.1 Grundbausteine .....	134
5.2 Struktur der Baugruppen .....	139
5.3 Externe Referenzen .....	143
5.4 Zeichnungsableitung .....	149
<b>6 Erweiterte Funktionalitäten</b> .....	<b>153</b>
6.1 Querschnittsanalyse über Feldpunkt und BDA .....	154
6.2 Querschnittsanalyse über Sensitivitätsstudie .....	164
6.3 Durchführbarkeit/Optimierung .....	169
6.4 Graphabgleich .....	177
6.5 Montagesimulation auf einer Ebene .....	186
6.6 Bewegungshülle .....	195

detaillierte Beschreibung von Querschnittsanalysen und Graphabgleich

6 Erweiterte Funktionalitäten ..... 153  
 6.1 Querschnittsanalyse über Feldpunkt und BDA ..... 154  
 6.2 Querschnittsanalyse über Sensitivitätsstudie ..... 164  
 6.3 Durchführbarkeit/Optimierung ..... 169  
 6.4 Graphabgleich ..... 177  
 6.5 Montagesimulation auf einer Ebene ..... 186  
 6.6 Bewegungshülle ..... 195

Wolfgang Berg  
**Pro/Engineer: Tipps und Techniken**

Dieses Praxishandbuch stellt für den gebildeten Anwender von Pro/Engineer eine wertvolle Hilfe dar. Es basiert auf Pro/Engineer Wildfire 2, ist jedoch für alle Wildfire-Versionen geeignet. Neben Ausführungen über den allgemeinen Modellbau und verschiedenen Detaillösungen werden Modellierungsmöglichkeiten für die Modellerstellung vorgestellt. Zur Erstellung großer Bauteile wird auf die Planung einer Konstruktionsbaugruppe eingegangen. Den Abschluss bildet ein Kapitel zu Modellanalysen, speziellen Bewegungsanalysen und Optimierungen.

Mit Pro/Engineer stehen dem Konstrukteur ohne Fülle von Funktionen zur Verfügung. Die Nutzung der parametrischen Aufbau der Modelle erfordert in den meisten Fällen eine gut strukturierte Vorgehensweise bei der Modellerstellung. Nur so ist es möglich, die Funktionsweise einer vollparametrischen Software zum eigenen Vorteil zu nutzen.

Das Buch ist wegen seiner teilweise sehr speziellen Lösungsmethoden für Einzelbau nur bedingt geeignet. Es wendet sich mit sehr interessanten Beispielen an den erfahrenen Anwender, aber auch an diejenigen, die sich über die Anwendungsmöglichkeiten informieren möchten.

Einige der im Buch behandelten Beispiele sind unter <http://www.hanser.de> abrufbar.

Dieses Buch Wolfgang Berg ist Mitarbeiter der RWI GmbH in Dinslaken und seit mehr als 10 Jahren mit der Konstruktion von Motorbaugruppen befasst.

# Vielen Dank

Dipl.-Ing. Wolfgang Berg

IAV GmbH

Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr

Kauffahrtei 25, 09120 Chemnitz

Telefon: +49 371 2373-4263

[wolfgang.berg@iav.de](mailto:wolfgang.berg@iav.de)