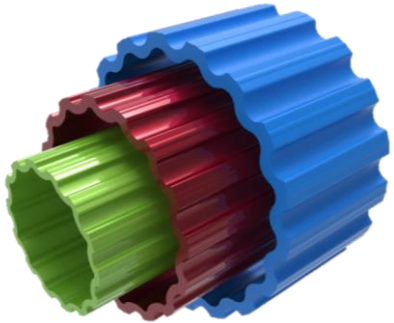
TU Clausthal

ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

Methode zur Gestaltung anwendungs-abhängiger Mitnehmerverbindungen

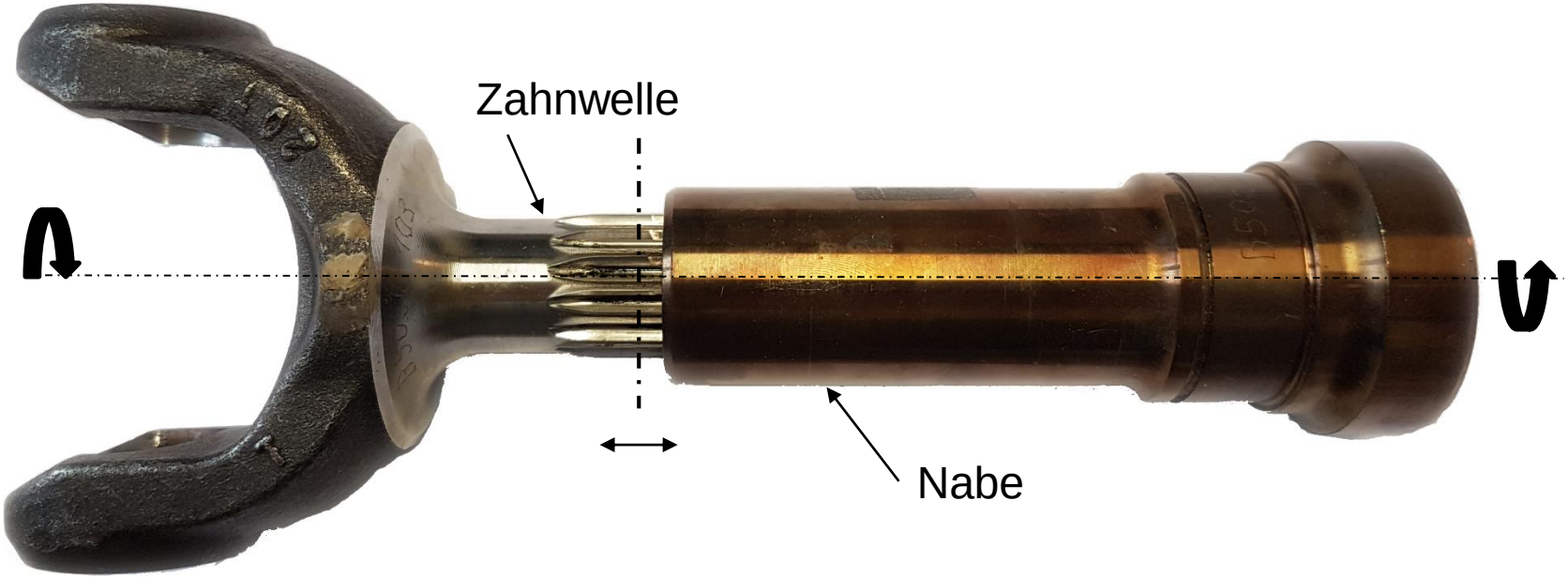
Leichtbau und Steigerung der Tragfähigkeit durch dünnwandige Profilwellen



Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal
Marius Jakob, M. Sc.

IMW TU Clausthal

Konventionelle Mitnehmerverbindung

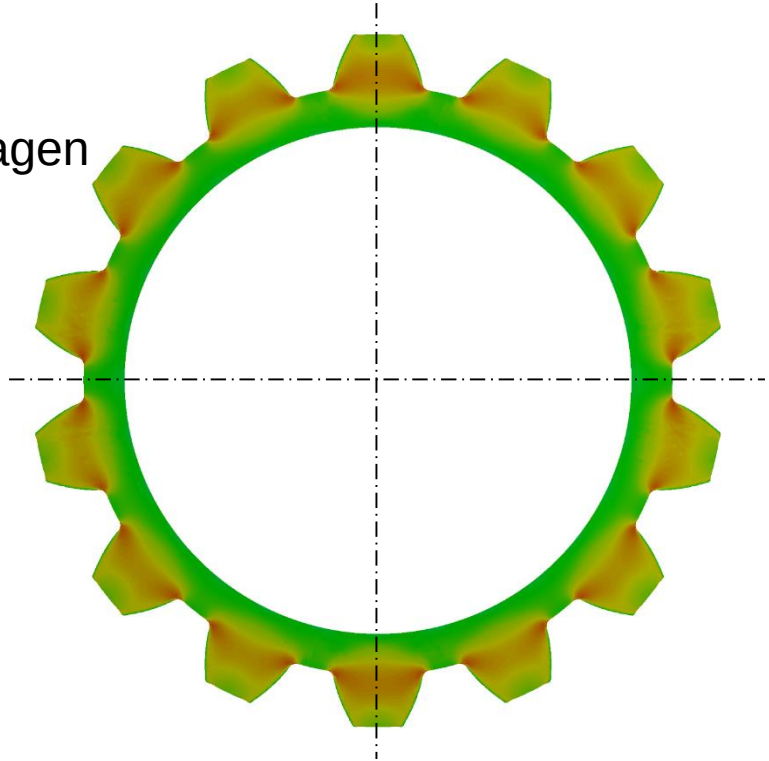


Teile einer Kreuzgelenkwelle

Anforderungen an Profilwellen

Drehmoment übertragen

Wirtschaftliche Herstellbarkeit



Sichere Auslegung

Leichtbau

Hohe Auslastung

Geringerer Materialeinsatz

Tordierte Zahnwelle



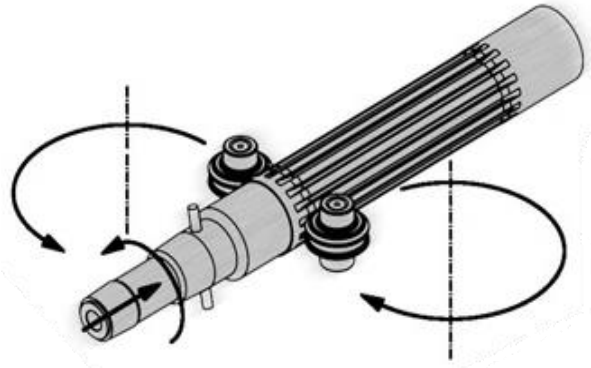
Herstellung von Profilwellen



Videoquellen: www.ernst-grob.com

Dünnwandige Profilwellen und ihre Herstellung

GROB Kaltwalzverfahren

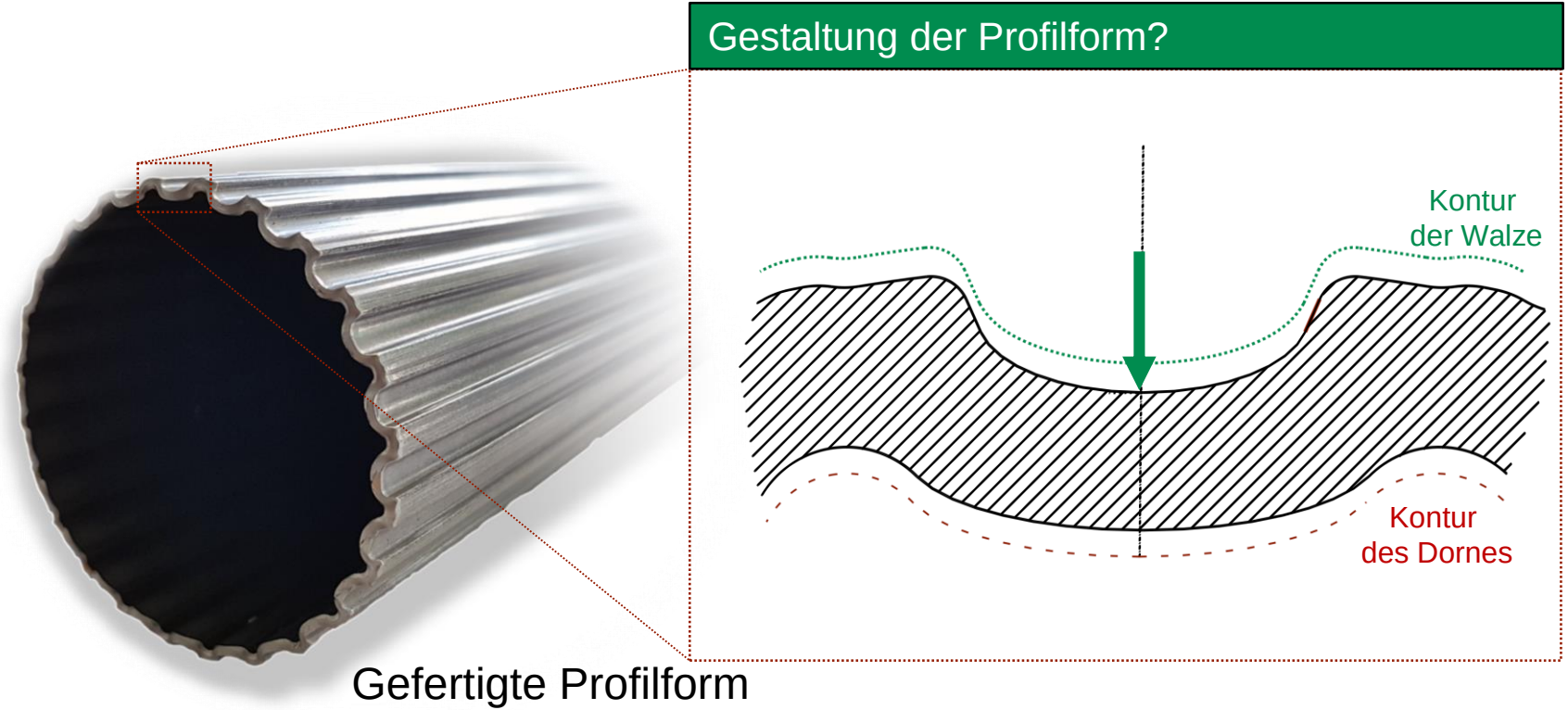


Beispiele profilierter Rohre

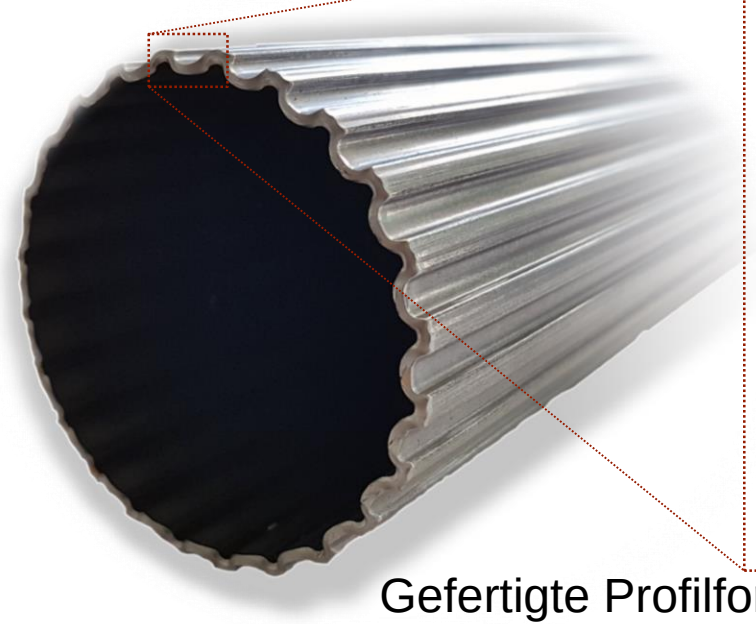


Bildquellen: www.ernst-grob.com

Anforderungen an den Mitnehmer



Anforderungen an den Mitnehmer

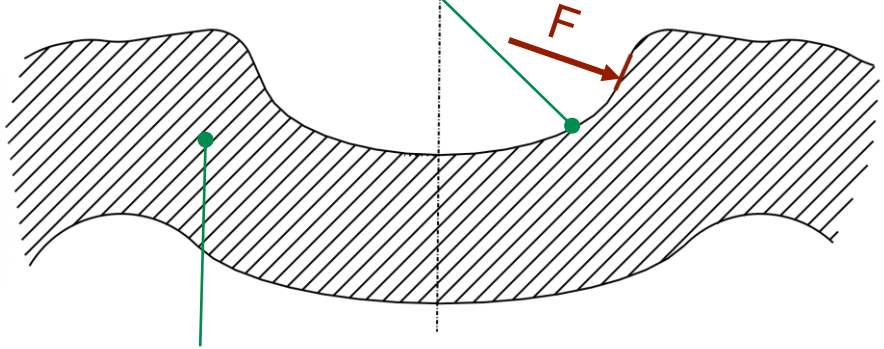


Gefertigte Profilform

Ziele?

Drehmoment M_R maximieren

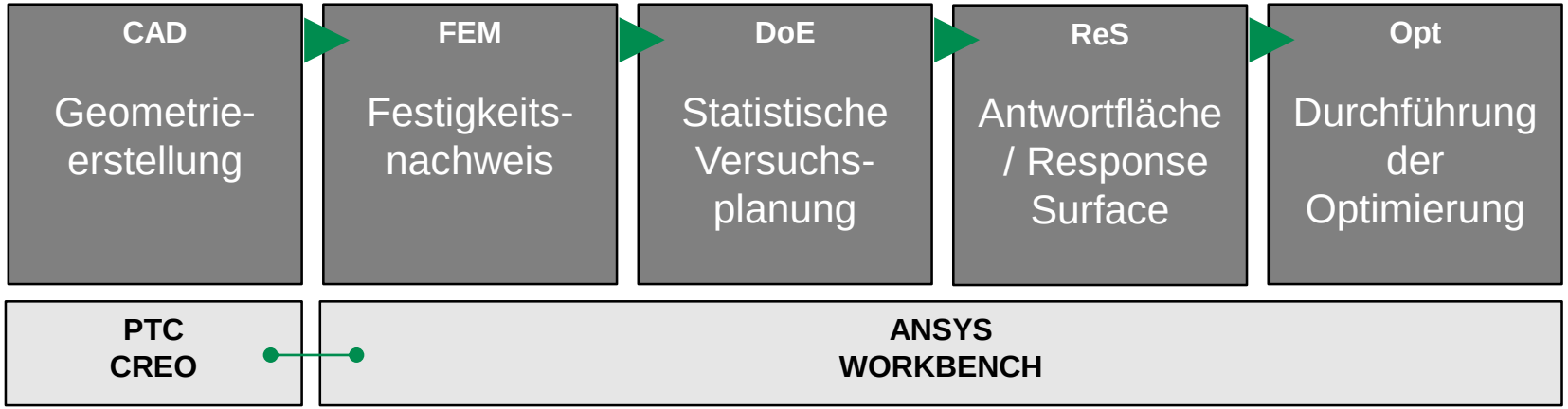
Auslastung $a_{FKM} \leq 100\ \%$



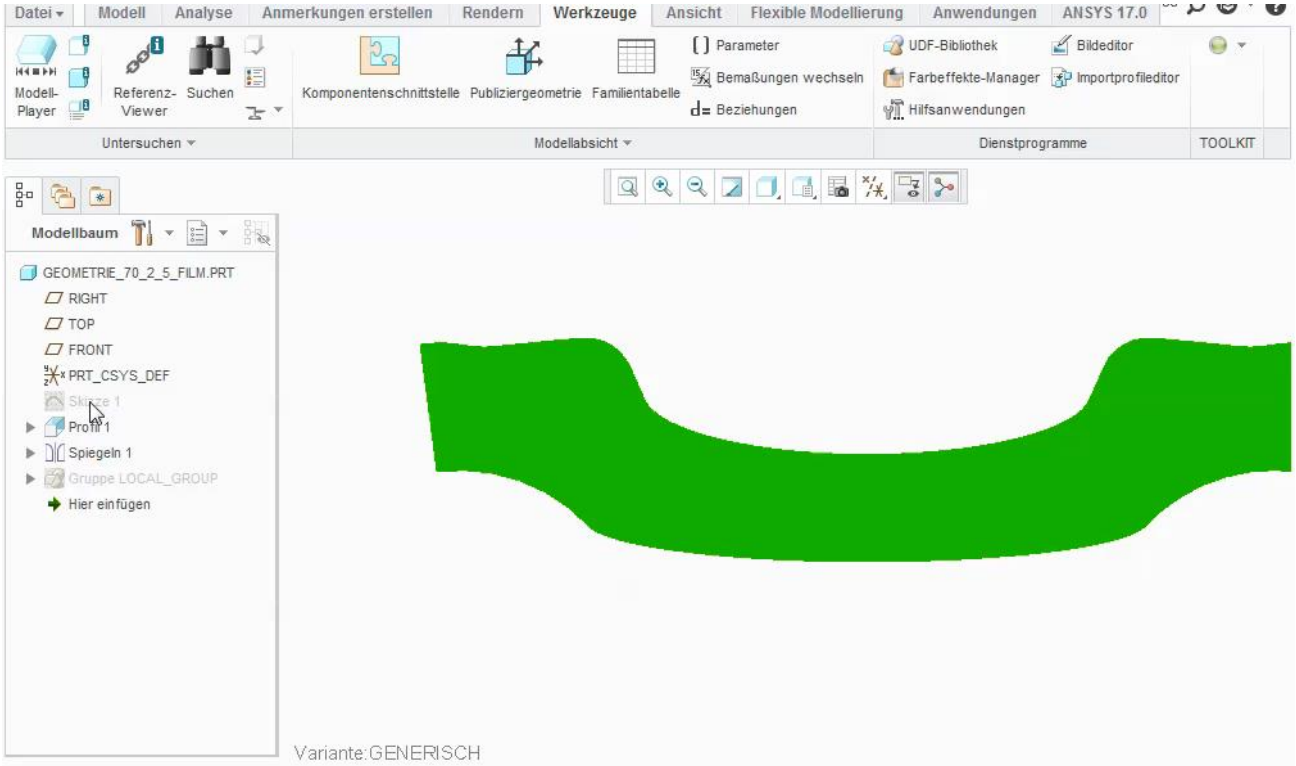
Fläche des Profils $A_P \leq$ Fläche des Ausgangsrohres A_R
Ziel: $\leq 27{,}74\ mm^2$

In fünf Schritten zur methodischen Auslegung …

- … von Bauteilgeometrien
- … mit mehren Eingangsgrößen
- … und mehren Zielgrößen.



1. Erstellung der Geometrie



2. Erstellung des FEM-Modells

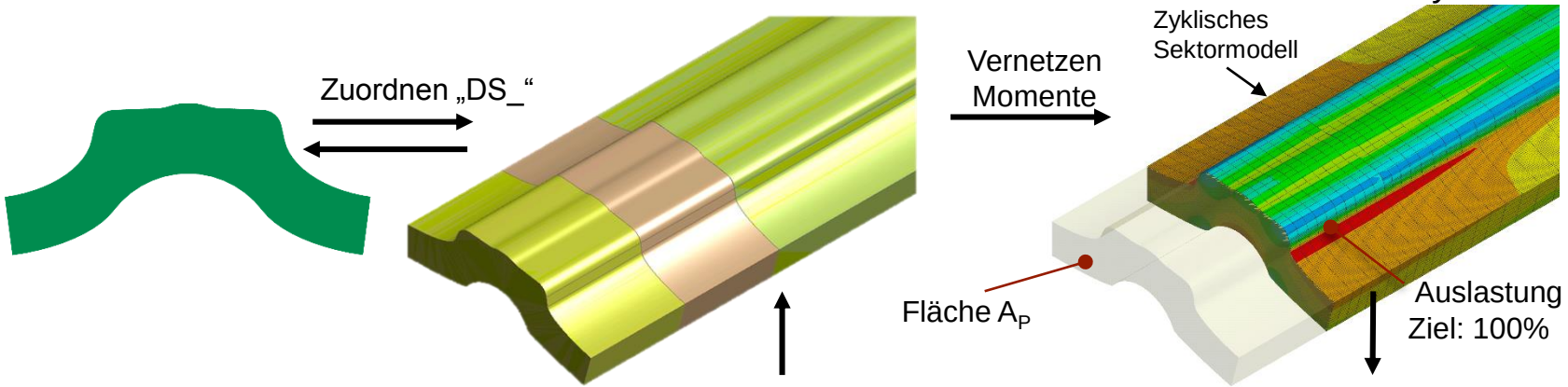
PTC CREO
Geometrie erstellen

Zuordnen „DS_“

ANSYS WORBENCH
DesignModeler

Vernetzen
Momente

Statisch-mechanische Analyse
Zyklisches Sektormodell



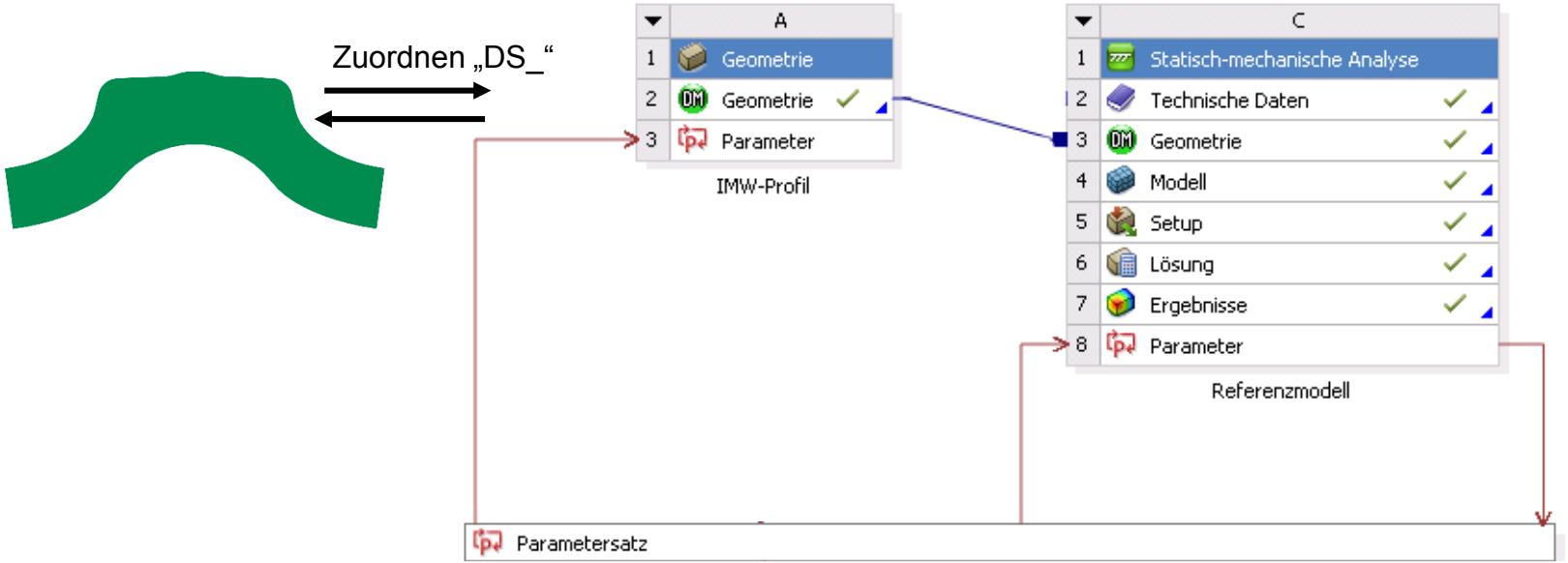
Parametersatz:

	Eingabeparameter			Ausgabeparameter		
Variante	$R_{W,K,0}$	t_R	M_R	$\sigma_{v.Mises}$	A_P	a_{FKM}
1	1 mm	1,9 mm	1000 Nm	213 MPa	27 mm²	91 %
2	2 mm	2,5 mm	2000 Nm	302 MPa	30 mm²	132%

2. Erstellung des FEM-Modells

CREO
Geometrie erstellen

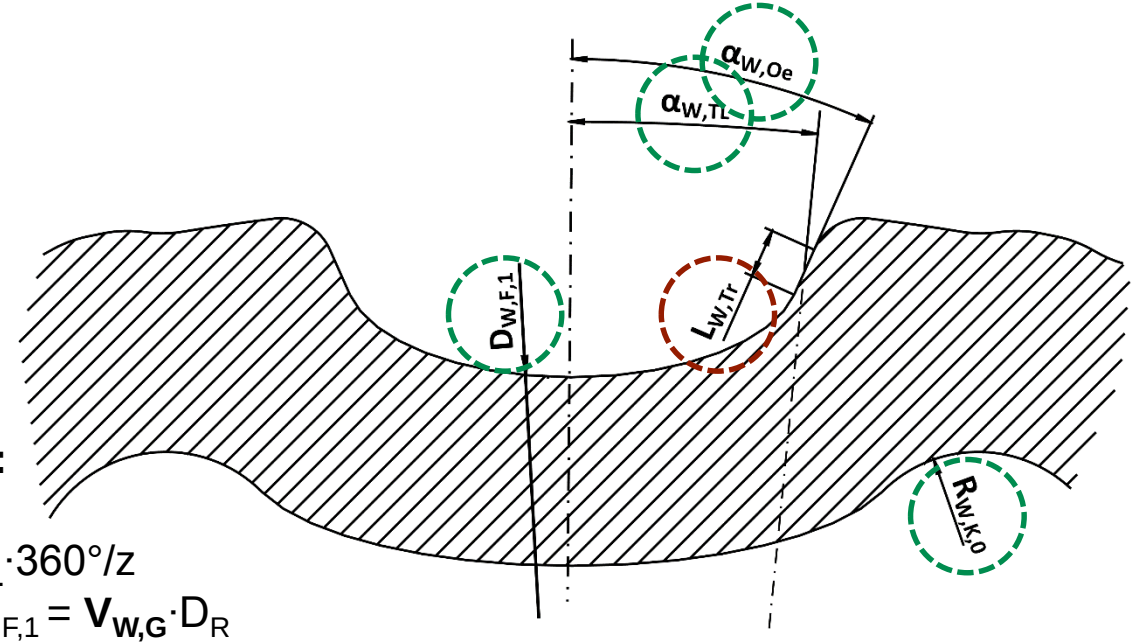
ANSYS WORBENCH
DesignModeler: Bearbeiten
Statisch-mechanische Analyse



3. Statistische Versuchsplanung (DoE)

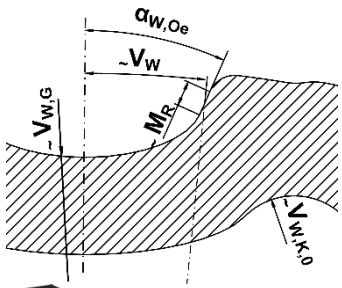
Vorgabe
der Rohrgrößen D_R, t_R
und Zähnezahl z

Reduktion der Parameteranzahl



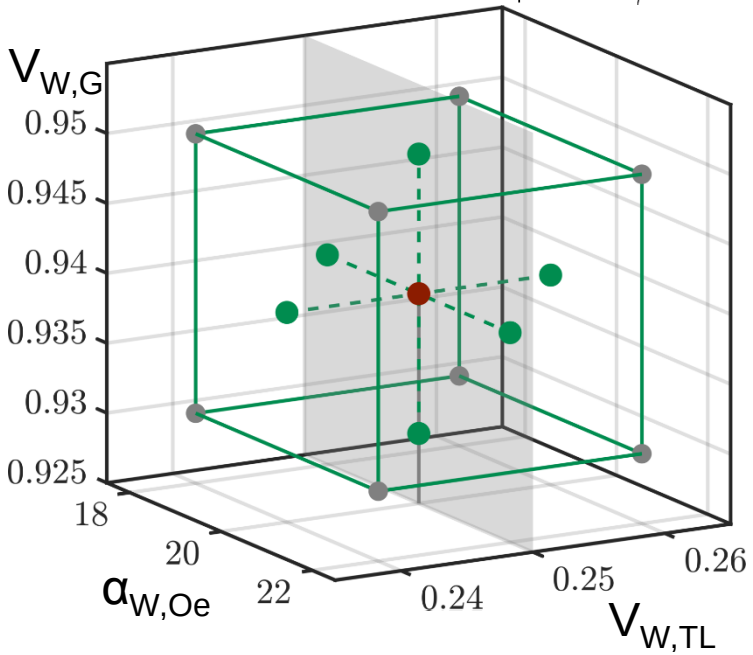
Veränderliche Parameter:
Öffnungswinkel $\boldsymbol{\alpha_{W,Oe}}$
Teilungswinkel $\alpha_{W,TL} = \mathbf{V_{W,TL}} \cdot 360°/z$
Fußgrunddurchmesser $D_{W,F,1} = \mathbf{V_{W,G}} \cdot D_R$
Kopfausrundungsradius $R_{W,K,0} = \mathbf{V_{W,K,0}} \cdot \ldots$
Flankenlänge $L_{W,Tr} = f(\mathbf{M_R}, D_R, p_{W,F,zul}, \ldots)$

3. Statistische Versuchsplanung (DoE)



Variation der Startwerte

Größe	-	Startwert	+
$\alpha_{W,Oe}$ [°]	18	20	22
$V_{W,G}$ [-]	0,93	0,94	0,95
$V_{W,TL}$ [-]	0,24	0,25	0,26
$V_{W,K,0}$ [-]	1	1,35	1,7
M_R [Nm]	2500	2750	3000



Central Composite Design, Face Centered

3. Statistische Versuchsplanung (DoE)

	Eingabe					Ausgabe	
i	$\alpha_{W,Oe}$[°]	$V_{W,TL}$[-]	$V_{W,G}$[-]	$V_{W,K,0}$[-]	M_R[Nm]	A_P[mm²]	a_{FKM}[%]
1	20	0,25	0,95	1,35	2750	*27,67*	*104,24*
2	20	0,25	0,94	1,00	2750	*28,31*	*102,59*
3	18	0,24	0,93	1,00	3000	*28,33*	*118,94*
4	22	0,24	0,93	1,00	2500	*28,52*	*98,94*
5	18	0,26	0,93	1,00	2500	*27,16*	*100,29*
6	22	0,26	0,93	1,00	3000	*27,32*	*120,11*
…	…	…	…	…	…	…	…
22	18	0,26	0,93	1,70	3000	*23,61*	*162,28*
23	22	0,26	0,93	1,70	2500	*23,78*	*132,07*
24	18	0,24	0,95	1,70	3000	*27,80*	*105,11*
25	22	0,24	0,95	1,70	2500	*27,86*	*88,19*
26	18	0,26	0,95	1,70	2500	*27,00*	*87,92*
27	22	0,26	0,95	1,70	3000	*27,04*	*105,70*

4. Antwortflächen (ReS)

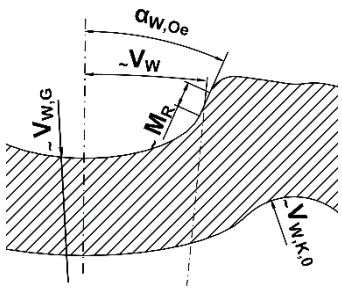
	Eingabe					Ausgabe	
i	$\alpha_{W,Oe}$[°]	$V_{W,TL}$[-]	$V_{W,G}$[-]	$V_{W,K,0}$[-]	M_R[Nm]	A_P[mm²]	a_{FKM}[%]
1	20	0,25	0,95	1,35	2750	*27,67*	*104,24*
2	20	0,25	0,94	1,00	2750	*28,31*	*102,59*
3	18	0,24	0,93	1,00	3000	*28,33*	*118,94*
4	22	0,24	0,93	1,00	2500	*28,52*	*98,94*
5	18	0,26	0,93	1,00	2500	*27,16*	*100,29*
6	22	0,26	0,93	1,00	3000	*27,32*	*120,11*
…	…	…	…	…	…	…	….
22	18	0,26	0,93	1,70	3000	*23,61*	*162,28*
23	22	0,26	0,93	1,70	2500	*23,78*	*132,07*
24	18	0,24	0,95	1,70	3000	*27,80*	*105,11*
25	22	0,24	0,95	1,70	2500	*27,86*	*88,19*
26	18	0,26	0,95	1,70	2500	*27,00*	*87,92*
27	22	0,26	0,95	1,70	3000	*27,04*	*105,70*

Mathematisches Ersatzmodell durch Regression

$$\begin{bmatrix} A_P \\ a_{FKM} \end{bmatrix} = \boldsymbol{A} \begin{bmatrix} \alpha_{W,Oe} \\ V_{W,TL} \\ V_{W,G} \\ V_{W,K,0} \\ M_R \end{bmatrix}$$

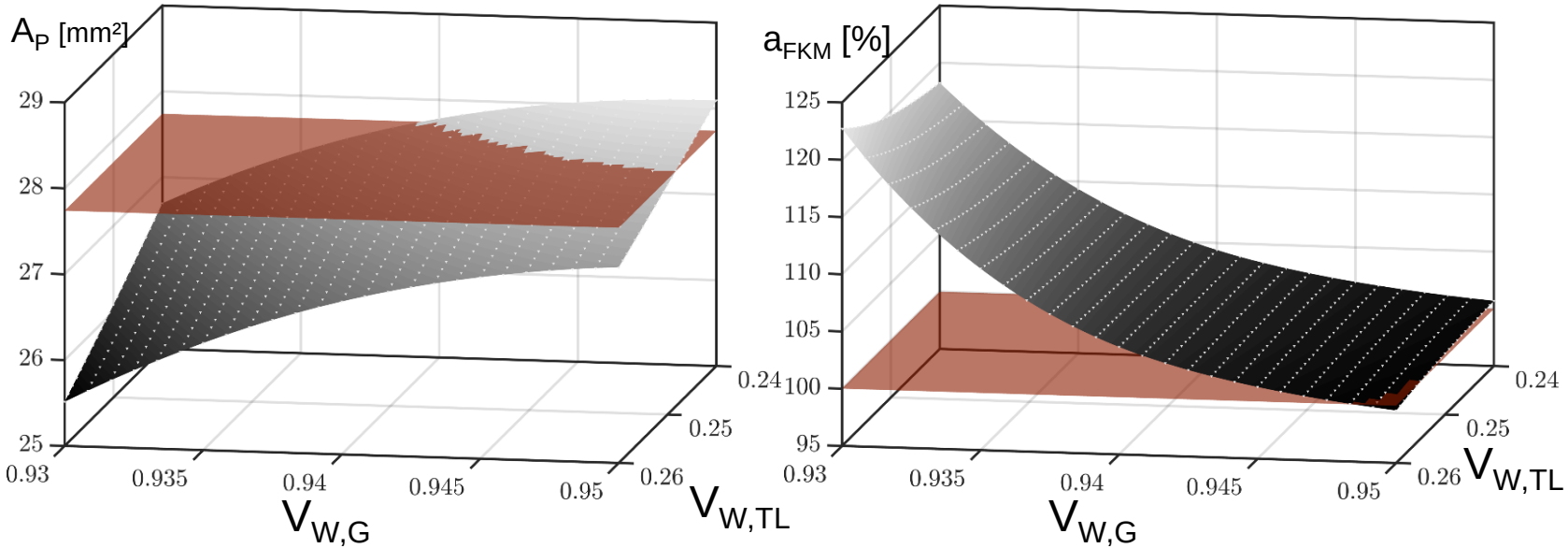
„Antwortflächen“
„Response Surface“

4. Antwortflächen (ReS)

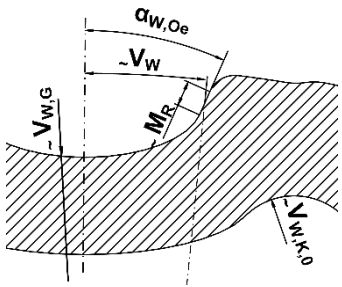


Mathematisches Ersatzmodell durch Regression

Grafische Analyse:

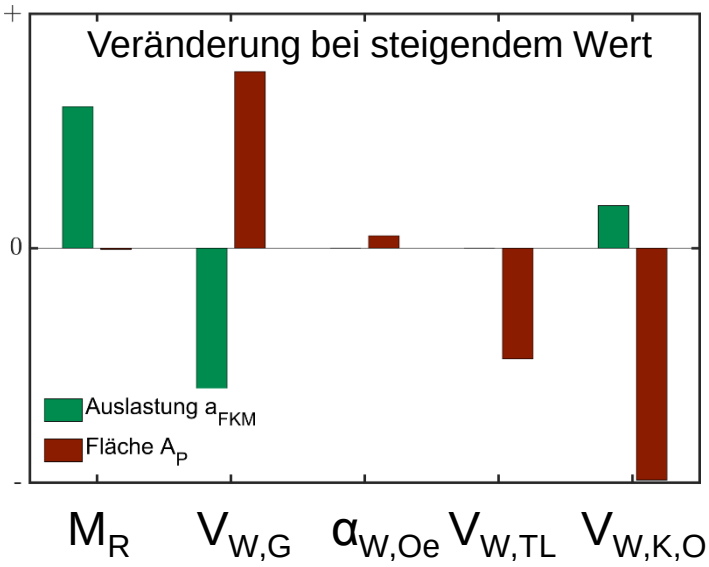


4. Antwortflächen (ReS)



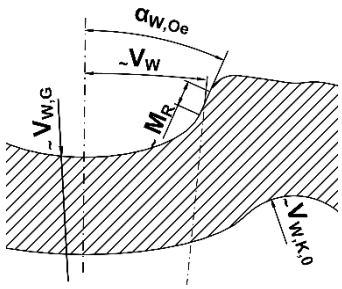
Mathematisches Ersatzmodell durch Regression

Grafische Analyse: Sensitivität am Startwert



- Steigende Momente führen zu steigender Auslastung
- Geringe Profiltiefen ($V_{W,G}$ ↑) erhöhen die Fläche, die Auslastung sinkt
- Öffnungswinkel hat (fast) keinen Einfluss
- Steigende $V_{W,TL}$ und $V_{W,K,0}$ reduzieren die Fläche
- Steigendes $V_{W,K,0}$ führt zu steigender Auslastung

5. Zielsuche / Optimierung (Opt)

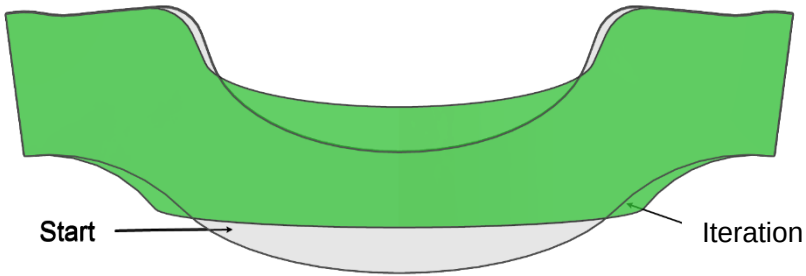


Mathematisches Ersatzmodell durch Regression

Optimierer:
Screening oder MOGA

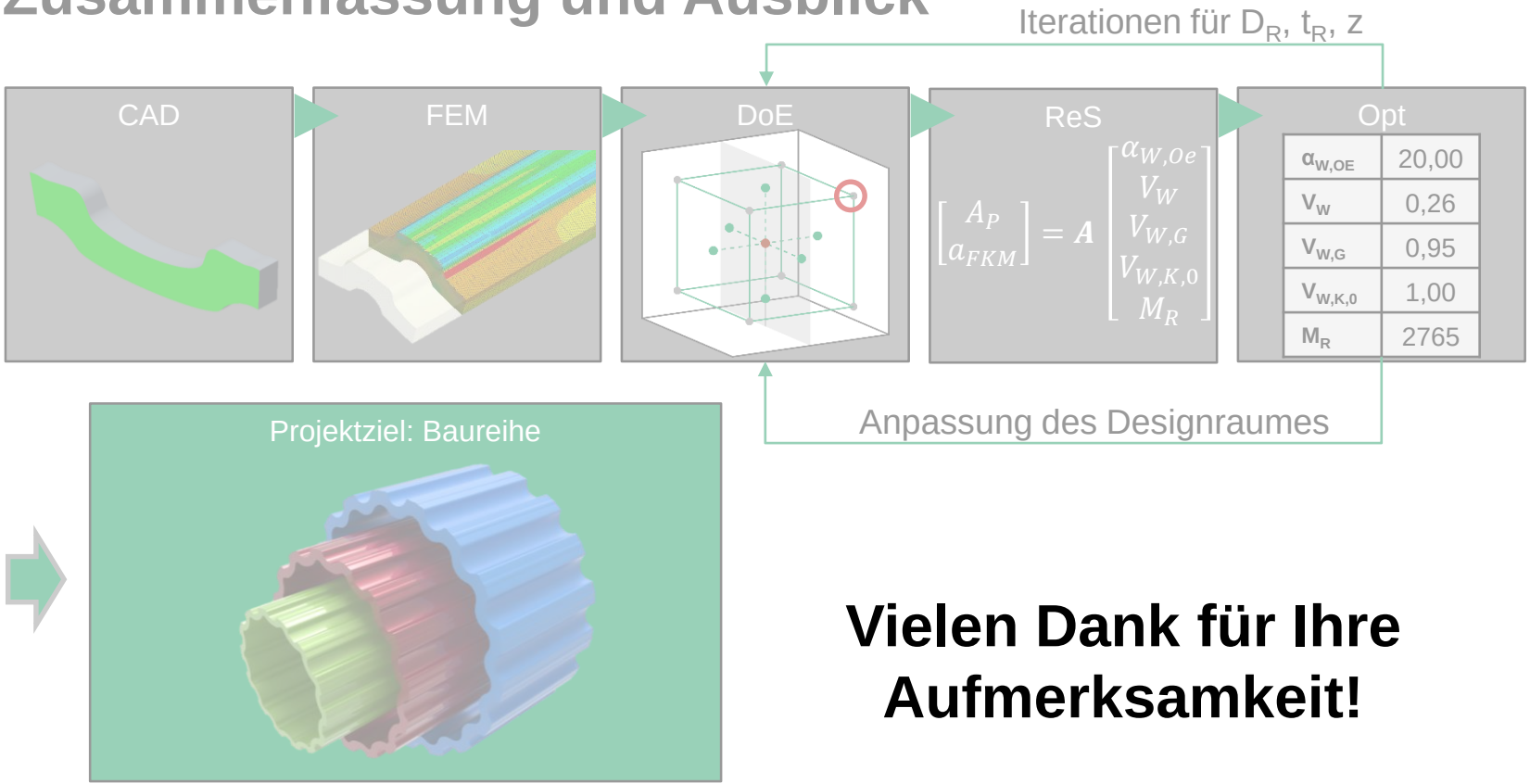
Optimierer:
NLPQL oder MISQP

Ziel: Maximiere das Drehmoment
Nebenbedingung: Fläche ≤ 27,74 mm²
Nebenbedingung: Auslastung ≤ 100 %



Größe	Screening	MOGA	NLPQL	MISQL
$\alpha_{W,Oe}$ [°]	20,59	21,75	20,00	20,00
$V_{W,TL}$ [-]	0,26	0,26	0,26	0,26
$V_{W,G}$ [-]	0,95	0,95	0,95	0,95
$V_{W,K,0}$ [-]	1,39	1,66	1,00	1,00
M_R [Nm]	2733	2732	**2765**	**2765**
a_{FKM} [%]	99,27	99,54	100	100
A_P [mm²]	27,33	27,05	27,74	27,74

Zusammenfassung und Ausblick



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!