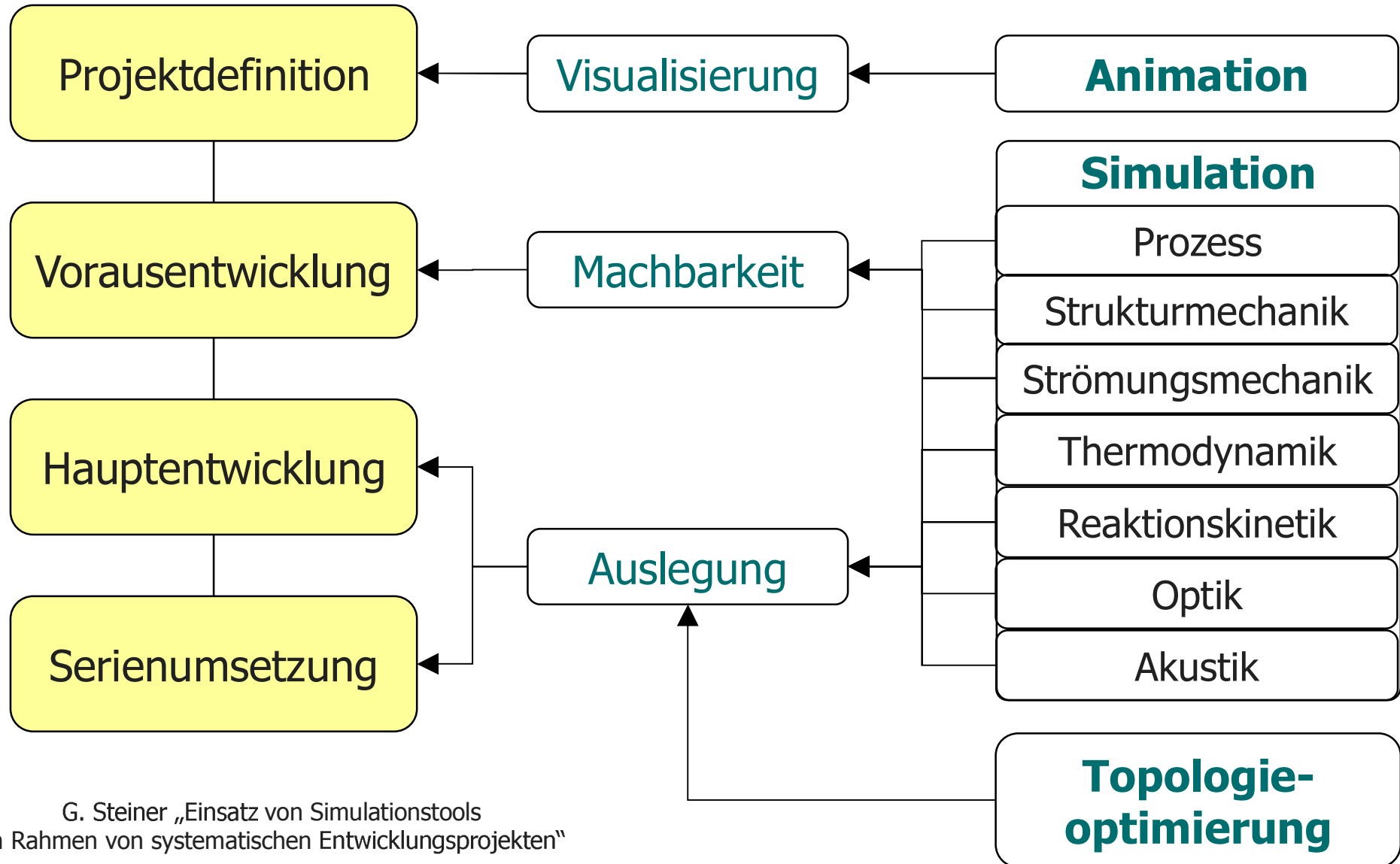


Einsatz der Simulation in der systematischen Bauteilentwicklung

Ass.Prof. Dr. Gerald R. Berger

Simulationen im Rahmen des Entwicklungsprozesses



G. Steiner „Einsatz von Simulationstools
im Rahmen von systematischen Entwicklungsprojekten“

Simulationen im Zuge der Produktentstehung

Einsatzbeispiele

- **Visualisierung**
 - Produktanimation
 - Verfahrensanimation
- **Herstellprozesses**
 - Rheologische Berechnung
 - Umformberechnung anderer Verfahren, z.B. Walzen, Schweißen
- **Strukturmechanik**
 - Festigkeitsberechnung
 - Belastung bei Temperaturwechsel
- **Strömungsmechanik**
 - Strömung von Flüssigkeiten und Gasen
 - Druckverlustberechnung
- **Thermodynamische**
 - Klimasimulation
 - Wärmeübertragung
- **Akustik**
 - Raumakustik
 - Eigenfrequenzanalyse
 - Schallausbreitung (Lärm)
- **Optik**
 - Lichtausbreitung
 - Bündelung
 - Reflexion, Lichtstreuung
- **Topologieoptimierung**
 - Iterative Bauteiloptimierung für optimale Belastungs- und Bauraumsituation

G. Steiner „Einsatz von Simulationstools
im Rahmen von systematischen Entwicklungsprojekten“

Advanced PartSim

Neue Simulationmethoden
zur **strukturierten**
Entwicklung hochkomplexer
Kunststoff-Bauteile

www.advancedpartsim.com

Projektgruppe:



cluster niederösterreich

Das Programm Cluster Niederösterreich wird mit EU-Mitteln aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und Mitteln des Landes Niederösterreich kofinanziert.



FFG



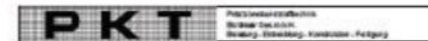
Projektpartner:



Glatzer GmbH
Formen- und Werkzeugbau
A-2401 Fischamend www.glatzer.at



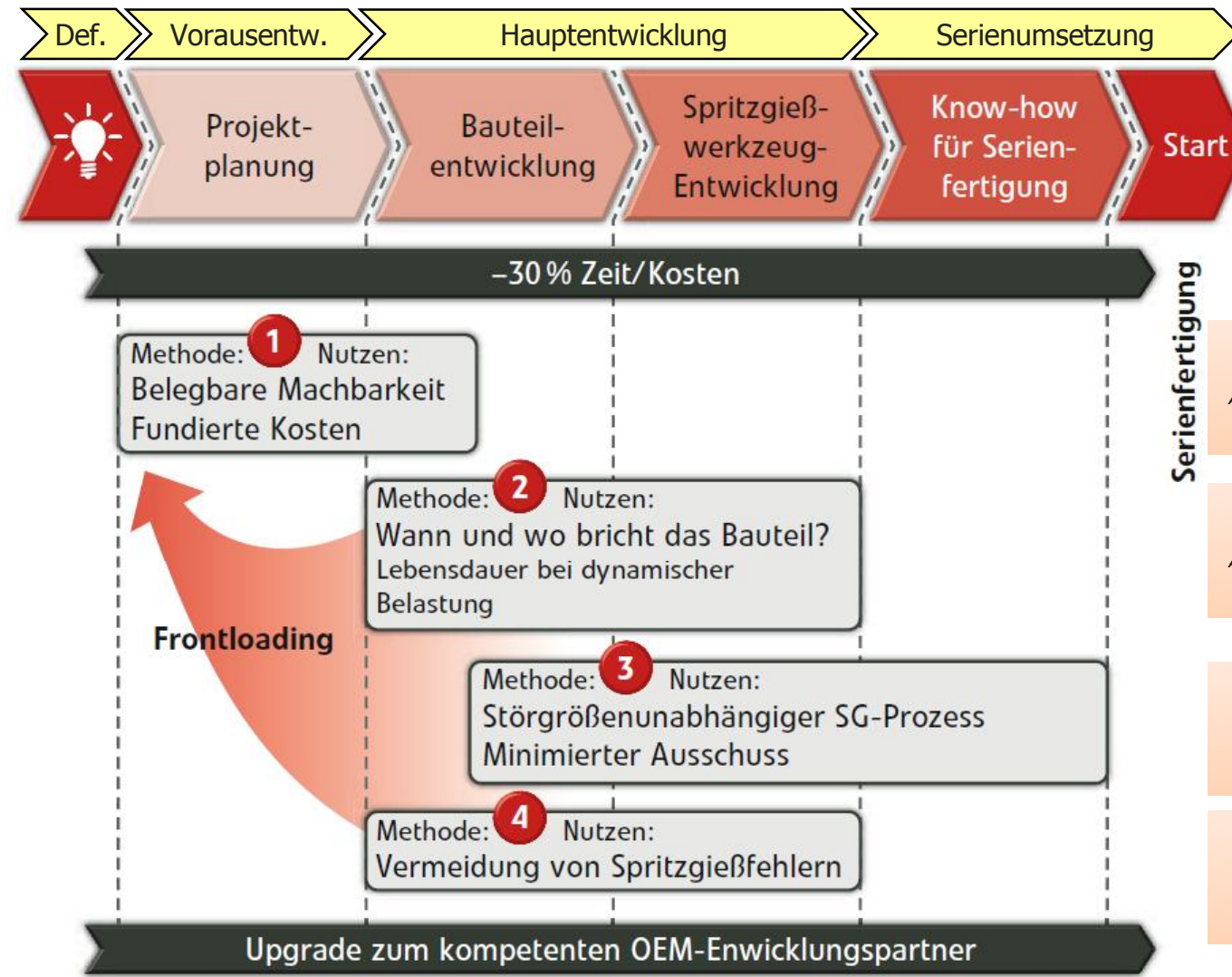
Driven by performance



Weller + Grieshaber GmbH



Stage-Gate Prozess und Methoden für systematische Bauteilentwicklung



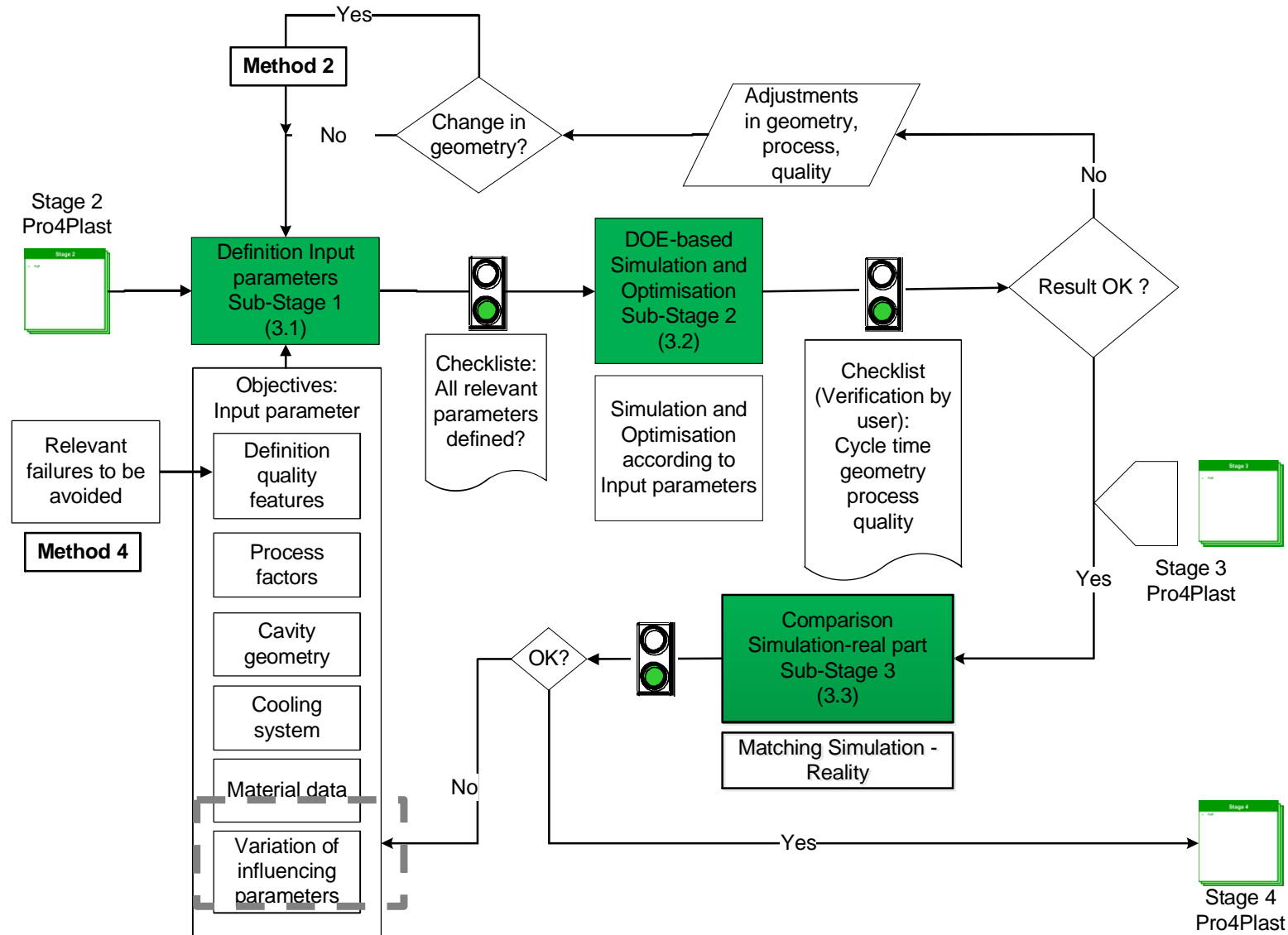
W. Friesenbichler
„Kosten reduzieren durch systematische Entwicklungsprozesse“
Kunststoffe 07/2013

Chr. Hopmann, T. Gröger, I. Erler
„Machbarkeitsanalyse zur Risikoabschätzung“
Kunststoffe 08/2013

Chr. Guster, W. Friesenbichler, T. Gröger
„Simulation der Lebensdauer faserverstärkter Spritzgussteile“
Kunststoffe 09/2013

Chr. Hopmann, B. Grümer, G.R. Berger
„Virtuelle Musterung für robuste Prozesse“
Kunststoffe 10/2013

Chr. Hopmann, P. F. Filz, B. Grümer
„Virtuelle Vorhersage von Bauteilfehlern“
Kunststoffe 11/2013



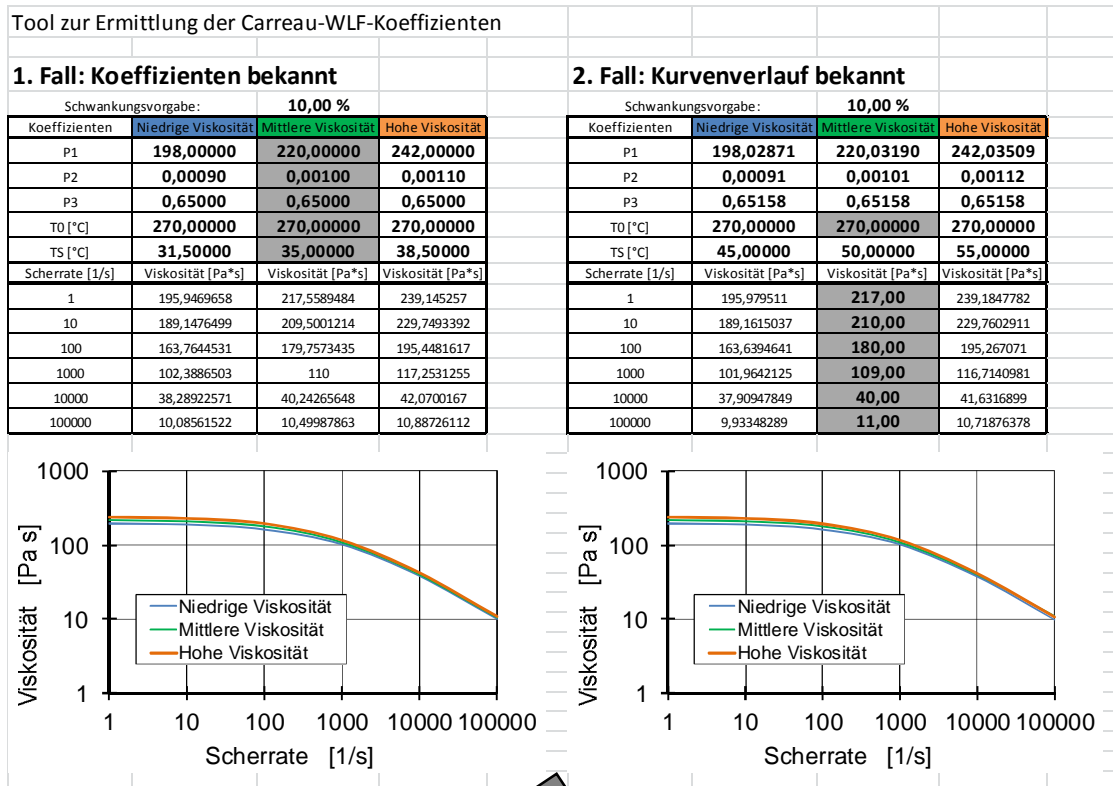
Datei	Start	Einfügen	Seitenlayout	Formeln	Daten	Überprüfen	Ansicht	Entwicklertools	Add-Ins	Neue Registerkarte
C24										
	A	B	C	D	E	F				
1	Obligation Book - Method 3: Robuster Prozess									
2	Nr.	Definition	Erläuterungen	Support	Hyperlink / Info					
3	3.1	Sub-Stage 1: Input-Parameter								
4	3.1.1	Kavitätsgeometrie	CAD-File, möglichst im STL-Format	ppt-Folien	Support Kavität_Temperierkanal					
5	3.1.2	Kühlkanaldesign	CAD-File, möglichst im STL-Format	ppt-Folien	Support Kavität_Temperierkanal					
6	3.1.3	Materialdaten	Alle für die Simulation erforderlichen Daten, wie z.B. Viskositäts- und pVT-Kurven	ppt-Folien	Support_Materialdaten					
7	3.1.4	Spritzgießparameter	T _M , T _W , v _E , p _N , t _N , t _K . Bestimmung und Vorschlag der Schwankungsbreite	ppt-Folien, xls-Sheet	Support Prozessparameter (inkl. Checkliste)					
8	3.1.5	Störgrößen	Chargenschwankungen, Verschleiß, Umgebungstemperatur etc.	ppt-Folien, xls-Sheet	Support Störgrößen (inkl. Checkliste)					
9	3.1.6	Qualitätsmerkmale	Abmaße, Gewicht, Bauteilfehler, Wirtschaftlichkeit etc.	ppt-Folien	Support Qualitätsmerkmale_M4_M2					
10	3.1.7	Vermeidung Bauteilfehler	Methode 4	siehe M4	Support Qualitätsmerkmale_M4_M2					
11	3.1.8	Vorgegebene Verformung, Lebensdauer	Methode 2	siehe M2	Support Qualitätsmerkmale_M4_M2					
12	3.2	Sub-Stage 2: Simulation und Optimierung								
13	3.2.1	Versuchsplan	Erstellung auf Basis der Spritzgießparameter und der Störgrößen	ppt-Folien	Support DoE_Simulation					
14	3.2.2	Simulation	Simulation aller im Versuchsplan enthaltenen Versuchspunkte	ppt-Folien	Support DoE_Simulation					
15	3.2.3	Optimierung	Ermittlung der optimalen Parameter für den robusten Prozess	ppt-Folien	Support Optimierung					
16	3.2.4	Ergebnisbewertung und Interpretation	Wurden die Qualitätsvorgaben eingehalten? Wirtschaftlichkeit? Erneute Iteration nötig? (M2)	-	in progress...					
17	3.3	Sub-Stage 3: Vergleich Simulation Realität								
18	3.3.1	Kavitätsgeometrie	Können die vorgegebenen Toleranzfelder erreicht werden?	-	in progress...					
19	3.3.2	Prozess	Stabilität --> "Einschwingzeit"	-	in progress...					
20	3.3.3	Vergleich der Ergebnisse	Vergleich der einzelnen Versuchspunkte, oder Vergleich beliebiger realer Punkte mit den optimierten Einstellparametern	-	in progress...					

Checkliste Prozessparameter (keine Eintragungen in den dunkelgrau unterlegten Feldern vornehmen!)			Zusätzliche Infos
Allgemeines			
Bauteilgeometrie			Zur Auswahl des stl-Files und zur Herstellung des Bezugs auf das reguläre Einstellprotokoll
Werkzeugbezeichnung / -nummer			
Bezug auf Einrichtprotokoll vom			
Dateiname Einstellparameter			
Material			
Polymerart			Zur Materialauswahl bzw. ggf. zur Erstellung einer neuen Materialkarte erforderlich
Handelsname			
Füllstoff und Füllstoffgeometrie			
Füllstoffanteil			
Farbe			
Sonstige Additive			
Einspritzvolumenstrom			Schwankungsbreite: +/- 10.00 %
Ausgangswert / "0-Stufe"	- Stufe	+ Stufe	Herstellerangaben verwenden wenn vorhanden, ansonsten an den Angaben zu artverwandten Materialien orientieren. Vorschlag für die Variation: +/- 10 % (jedoch manuell veränderbar!)
0.00 cm³/s	0.00 cm³/s	0.00 cm³/s	
Umschalten auf druckgesteuertes Füllen			
99.00 %			Nach Möglichkeit nicht variieren
Schmelzetemperatur			Schwankungsbreite: +/- 10.00 %
Ausgangswert / "0-Stufe"	- Stufe	+ Stufe	Herstellerangaben verwenden wenn vorhanden, ansonsten an den Angaben zu artverwandten Materialien orientieren. Vorschlag für die Variation: +/- 10 % (jedoch manuell veränderbar!)
0 °C	0 °C	0 °C	
Werkzeugtemperatur			Schwankungsbreite: +/- 20.00 %
Ausgangswert / "0-Stufe"	- Stufe	+ Stufe	Herstellerangaben verwenden wenn vorhanden, ansonsten Mittelwert zwischen Entformungs- und Raumtemperatur. Vorschlag für die Variation: +/- 20 % (jedoch manuell veränderbar!)
0 °C	0 °C	0 °C	
Entformungstemperatur			
0 °C			Herstellerangaben verwenden wenn vorhanden, ansonsten 50 % der Fließgrenztemperatur oder Schmelzetemperatur - 150 °C. Nach Möglichkeit nicht variieren
Nachdruckhöhe			Schwankungsbreite: +/- 50.00 %
Ausgangswert / "0-Stufe"	- Stufe	+ Stufe	Herstellerangaben verwenden wenn vorhanden, ansonsten 2/3 des maximalen Einspritzdrucks. Vorschlag für die Variation: +/- 50 % (jedoch manuell veränderbar!)
0 bar	0 bar	0 bar	
Nachdruckzeit			Schwankungsbreite: +/- 25.00 %
Ausgangswert / "0-Stufe"	- Stufe	+ Stufe	Siehe Bestimmung der Siegelzeit im Support Prozessparameter oder Kap. 8 Cadmould Manuel. Vorschlag für die Variation: +/- 25 % (jedoch manuell veränderbar!)
0.00 s	0.00 s	0.00 s	
Kühlzeit			Schwankungsbreite: +/- 25.00 %
Ausgangswert / "0-Stufe"	- Stufe	+ Stufe	Siehe Bestimmung der Kühlzeit im Support Prozessparameter oder Cadmould-Hilfe ab S. 130. Vorschlag für die Variation: +/- 25 % (jedoch manuell veränderbar!)
0.00 s	0.00 s	0.00 s	

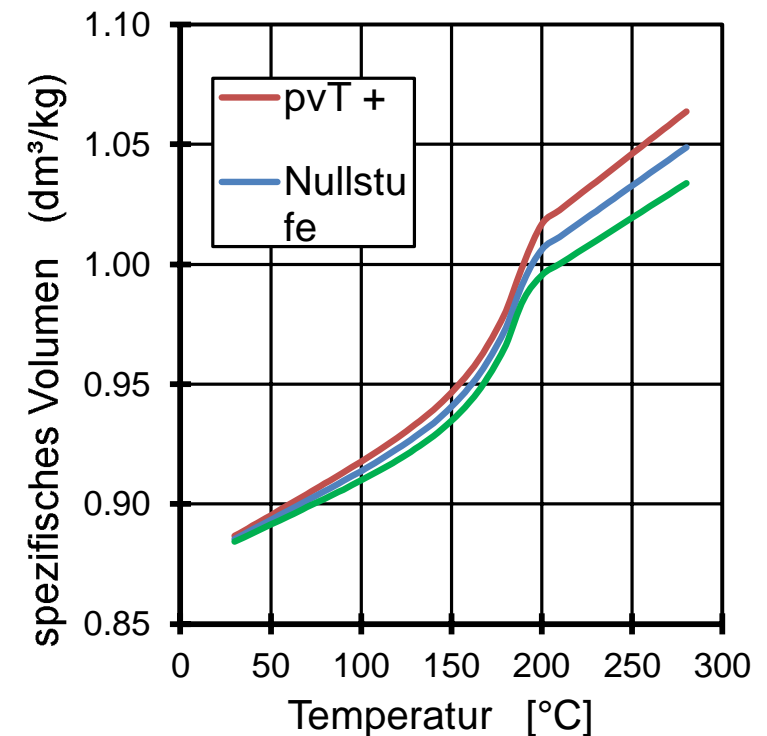
Checkliste Störgrößen Chargenschwankungen

Checkliste Störgrößen			Übertragung in Cadmould
Allgemeines			
Bauteilgeometrie			Zur Auswahl des stl-Files und zur Herstellung des Bezugs auf das reguläre Einstellprotokoll
Werkzeugbezeichnung / -nummer			
Bezug auf Einrichtprotokoll vom			
Dateiname Einstellparameter			
Material			
Polymerart			Zur Materialauswahl bzw. ggf. zur Erstellung einer neuen Materialkarte erforderlich
Handelsname			
Füllstoff und Füllstoffgeometrie			
Füllstoffanteil			
Farbe			
Sonstige Additive			
Chargenschwankungen			(siehe Detailerklärung)
Liegen Eingangsmessungen vor?	Ja	Nein	Vorhandene Fließkurven werden mit dem zur Verfügung stehenden Tool approximiert. Die Koeffizienten P_1 , P_2 , P_3 und T_S werden anschließend übertragen.
Fließkurven			
Schwankung min-max [%]			MVR-Werte werden direkt in die entsprechenden Stellen der Materialkarte eingetragen
MVR/MFR-Werte			
Schwankung min-max [%]			Siehe oben, je nach dem welche Werte angegeben sind
Herstellangaben			
Schwankungsbreite [%]			Die Variation der Viskositätsschwankung wird über das Anlegen neuer Materialkarten, mit entsprechend der Schwankungsbreite veränderten Werten indirekt vorgenommen.
<i>Multipoint-Daten (Fließkurven) sind Singlepoint-Daten (MVR/MFR-Werte) stets vorzuziehen. Falls keine Informationen zu Chargenschwankungen vorhanden sind, wird als Sicherheit eine Schwankungsbreite von 10 % angenommen.</i>			

Viskosität



pvT

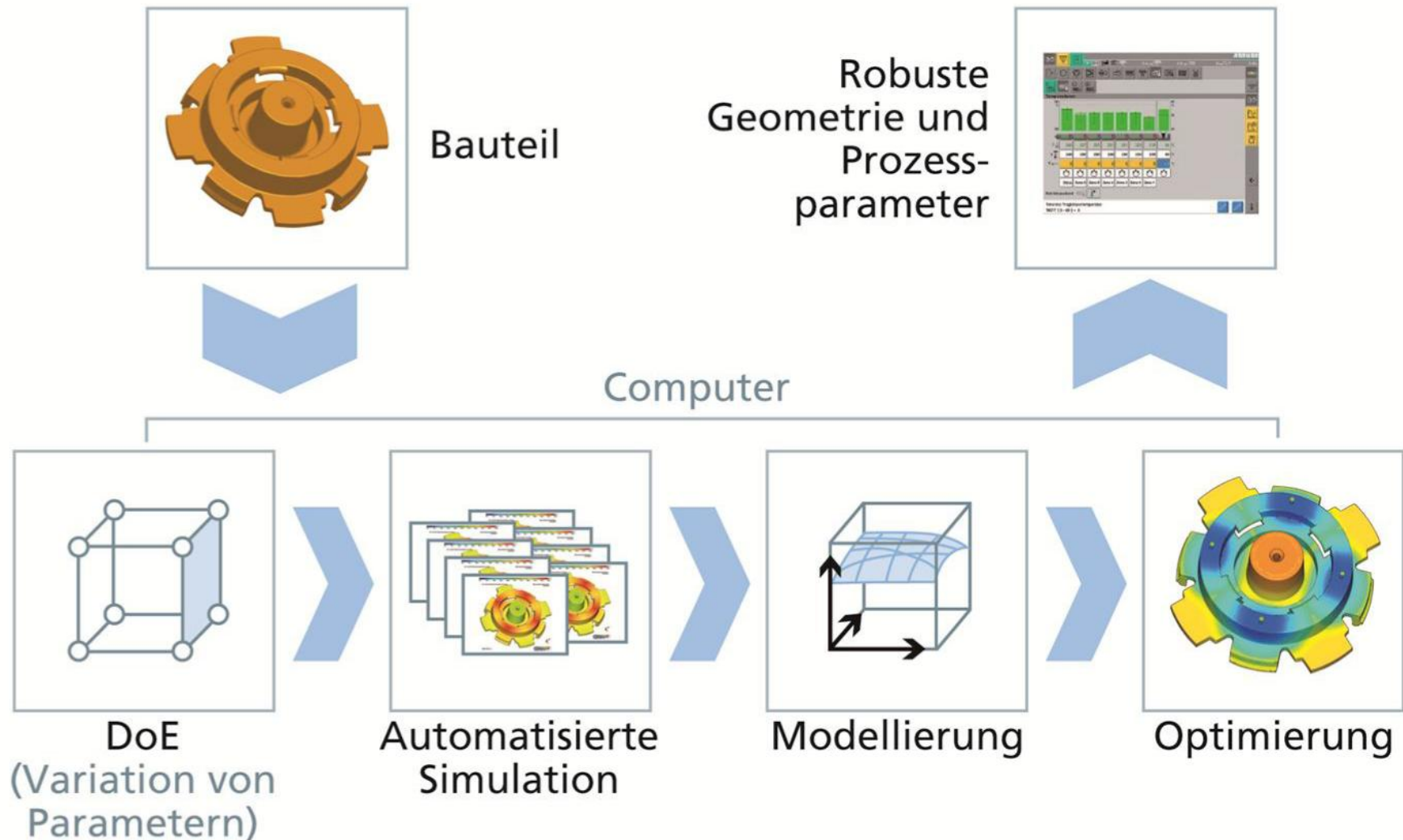


Neue Materialkarten

Checkliste Störgrößen Verschleiß und Maschinenschwankungen

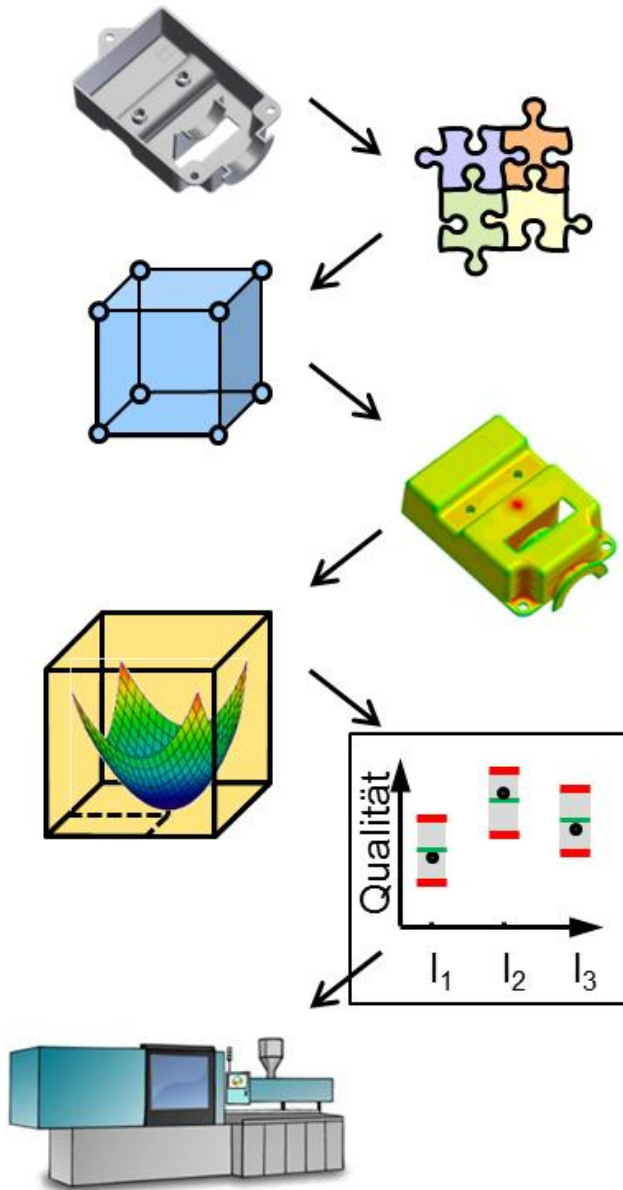
Umgebungstemperatur		
Temperatur an der Maschine min-max [°C]		Eingabe in das entsprechende Feld
Verschleiß		
Liegt Verschleiß vor?	Ja Nein	Verschleiß im Bereich der Kavität wird über Wanddickenvariationen abgebildet
Kavität		
Beschreibung der Stelle		
Abweichung zum Nennmaß [%]		
Falls keine Informationen zum Kavitätsverschleiß vorhanden sind, wird als Sicherheit eine Erhöhung aller Zeichnungsmaße um 1 % angenommen.		
Angusskanal		Variation der Angusskanalgeometrie, falls die Geometrie bekannt ist. Ansonsten wird der Verschleiß über die Variation der Einspritzgeschwindigkeit abgebildet (ist jedoch in aller Regel bereits in der üblichen Variationsbreite, die für die Bestimmung der optimalen Einstellparameter angesetzt wird, eingeschlossen)
Abweichung zum Ausgangsquerschnitt [%]		
Falls keine Informationen zum Verschleiß des Angusskanals vorhanden sind, wird als Sicherheit eine Erhöhung des Angussquerschnitts um 1 % angenommen.		
Maschinenschwankungen		
Füllzeit min-max [%]		Wird jeweils direkt über die Eingabe an den entsprechenden Stellen vorgenommen (sind jedoch in aller Regel bereits in der üblichen Variationsbreite, die für die Bestimmung der optimalen Einstellparameter angesetzt wird, eingeschlossen)
Nachdruckhöhe min-max [%]		
Schmelztemperatur min-max [%]		
Werkzeugtemperatur min-max [%]		

Methodik zur virtuellen Bauteil- und Prozessoptimierung



Chr. Hopmann, B. Grüner, G.R. Berger „Virtuelle Musterung für robuste Prozesse“ Kunststoffe 10/2013

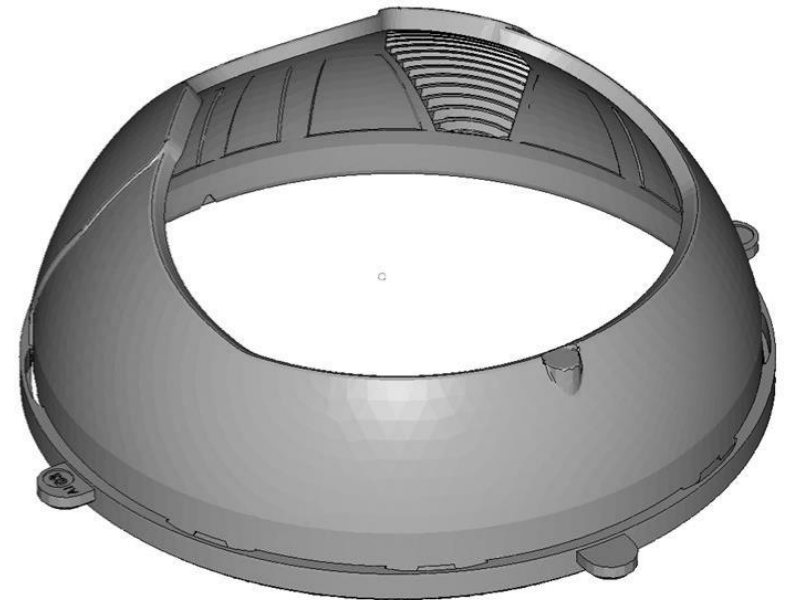
Ablauf Virtuelle Prozessoptimierung



- Modellierung des Werkzeuges
 - Vernetzen des Bauteils
 - Modellierung des Angussystems
 - Modellierung des Temperiersystems
- Material(daten) auswählen
- Simulation eines Versuchsplans
- Auswertung der Ergebnisse (z.B. virtuelle Schiebelehre)
- Modellbildung & Optimierung
- Verifikationssimulation
- Ggf. Geometrie-, Materialänderung
- Ergebnisübertragung in die Realität

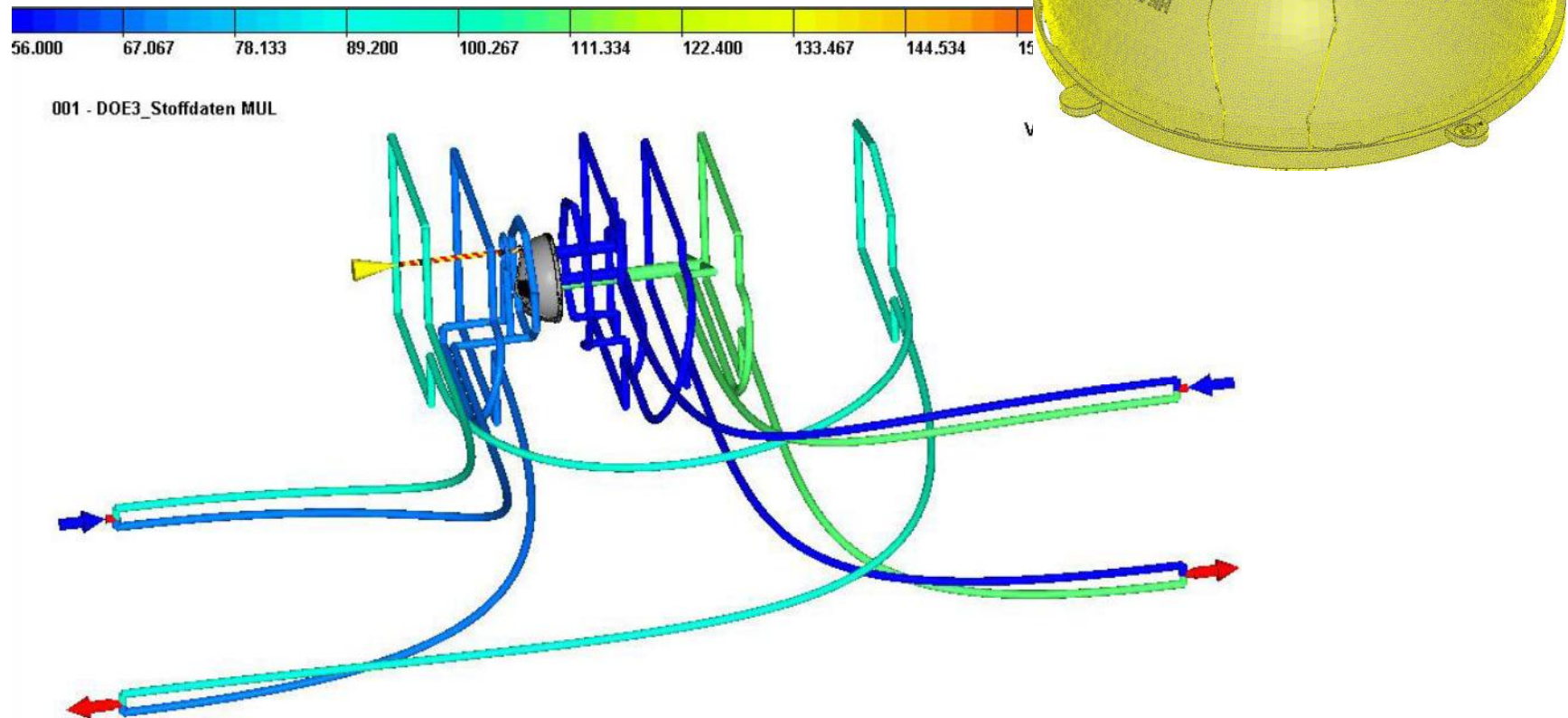
Pilotstudie zur virtuellen Prozessoptimierung

- Antriebsschale für Außenspiegel
- Magna Auteca AG, Weiz
- PET GF35 Arnite AV2 370 XT (DSM)
- Existierendes 1-fach Prototypenwerkzeug
- Existierender Serienprozess
- **Merkmale für die Optimierung:**
 - Durchmesser
 - Bauteilgewicht
 - Zykluszeit



Werkzeug-Modellierung

- Vernetzen des Bauteils
- Modellierung des Angussystems
- Modellierung des Temperiersystems

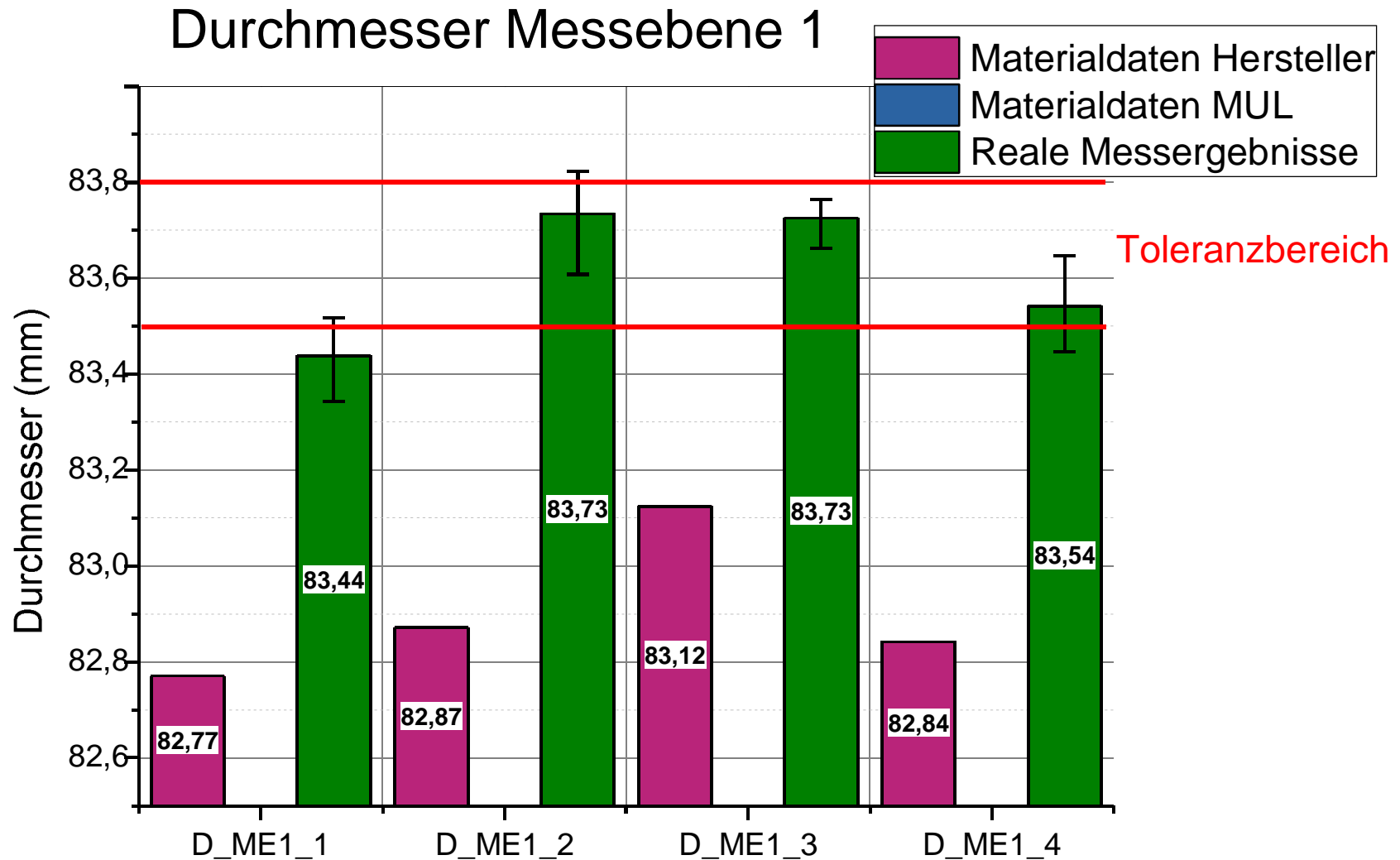


H.J. Luger „Reale und virtuelle Prozessoptimierung einer Spiegelantriebskomponente.
Masterarbeit, Montanuniversität Leoben, 2013

Erforderliche Materialdaten für die Spritzgießsimulation

Materialdaten	Parameter	erforderlich für die Berechnung von		
		Füllung	Nachdruck	S&V
rheologische Daten	Carreau-WLF	ja	ja	ja
thermische Daten	Wärmeleitfähigkeit der Schmelze	ja	ja	ja
	Dichte der Schmelze	ja	ja	ja
	Wärmekapazität der Schmelze	ja	ja	ja
	Fließgrenztemperatur	ja	ja	ja
	Entformungstemperatur	ja	ja	ja
	Massetemperatur	ja	ja	ja
	Werkzeugwandtemperatur	ja	ja	ja
pvT-Daten	7-Koeffizienten-(IKV)-Ansatz	nein	ja	ja
mechanische Daten	E-Modulverlauf	nein	nein	ja
	Querkontraktionszahl	nein	nein	ja
	lin. Wärmeausdehnungskoeffizient	nein	nein	ja

Einfluss der Materialdaten auf die Simulationsergebnisse

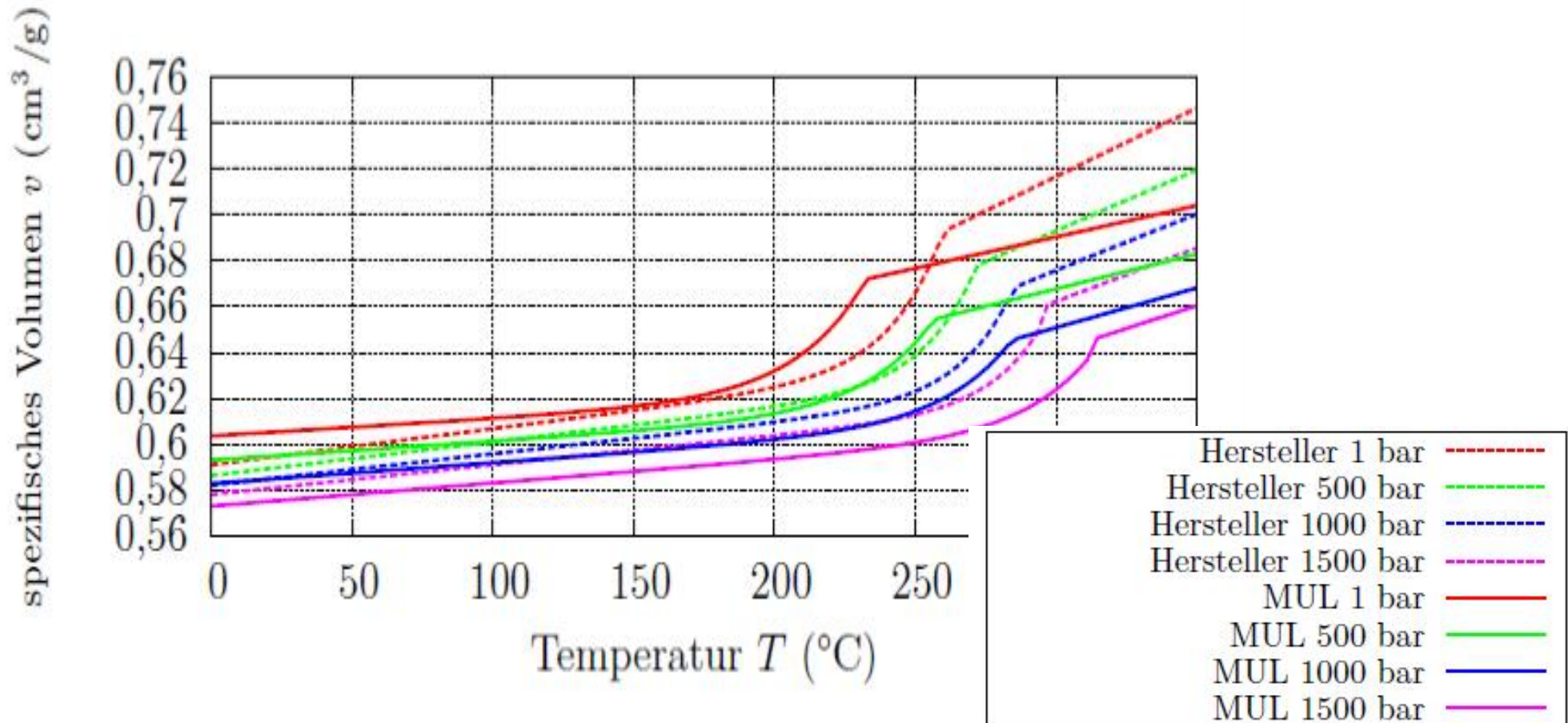


H.J. Luger „Reale und virtuelle Prozessoptimierung einer Spiegelantriebskomponente.
Masterarbeit, Montanuniversität Leoben, 2013

Materialdaten für die Spritzgießsimulation

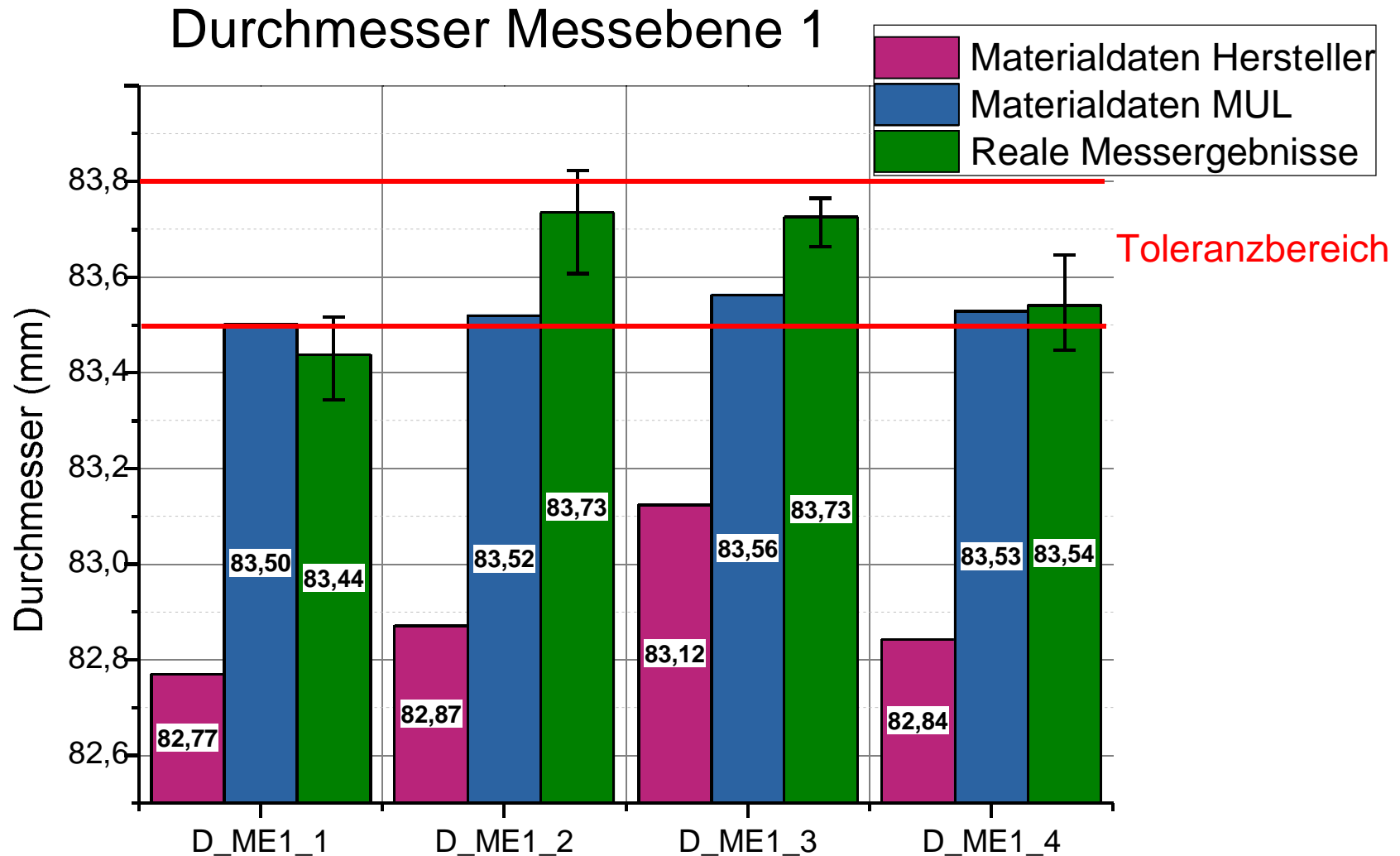
pvT-Daten

- Messung Hersteller — Messung MUL Leoben



H.J. Luger „Reale und virtuelle Prozessoptimierung einer Spiegelantriebskomponente.
Masterarbeit, Montanuniversität Leoben, 2013

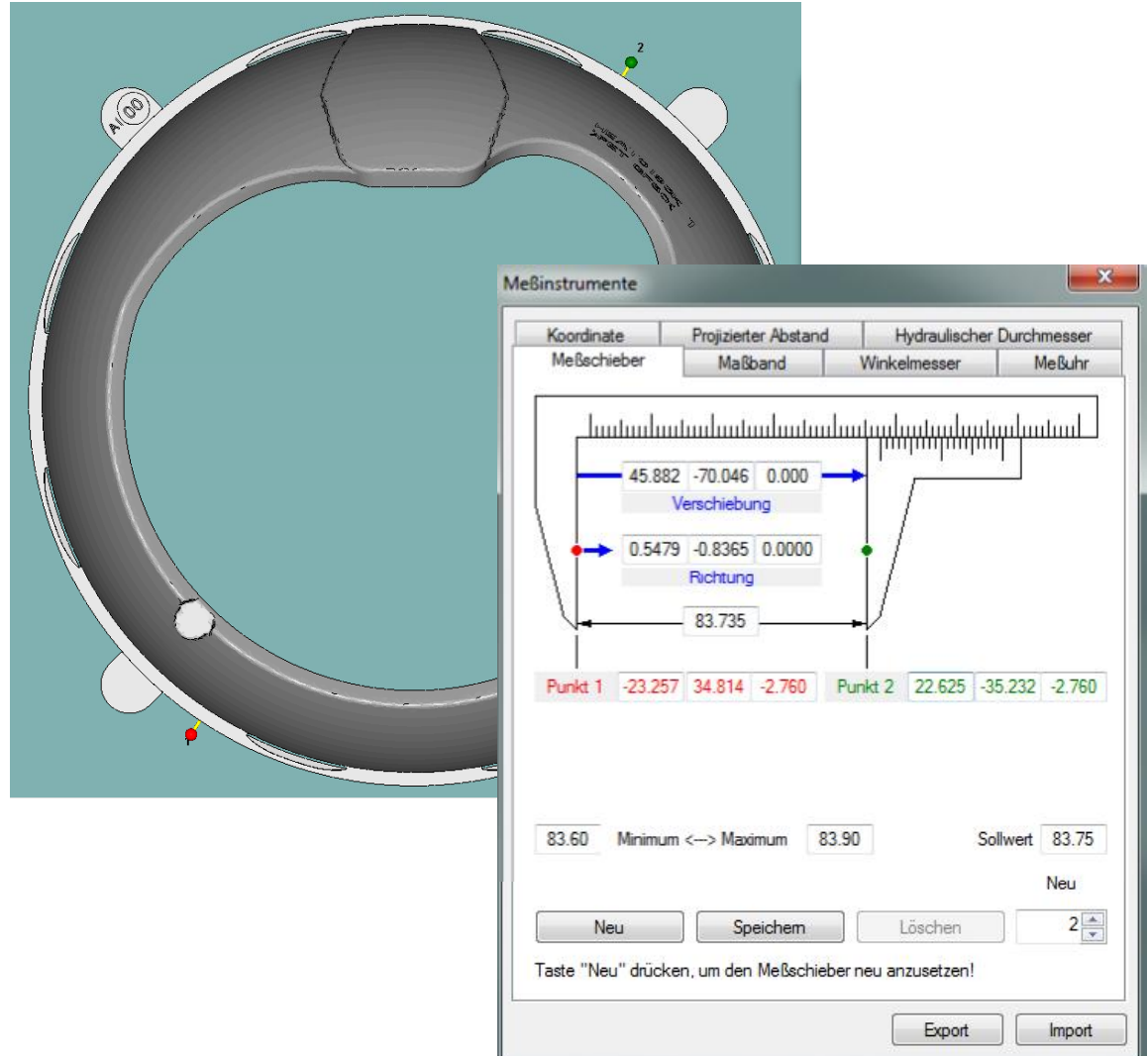
Einfluss der Materialdaten auf die Simulationsergebnisse



H.J. Luger „Reale und virtuelle Prozessoptimierung einer Spiegelantriebskomponente.
Masterarbeit, Montanuniversität Leoben, 2013

Definition der Qualitätsparameter in Cadmould: Prüfmittel „virtuelle Schiebelehre“

- 2 Messpositionen
- Messung in der Trennebene
- Sollwert und Toleranz für $D_{SPC1,2} = 83,75 \pm 0,15 \text{ mm}$



Versuchsplanung

▪ Einflussgrößen

- Vorlauftemperatur T_W
- Zonen- und Heißkanaltemperaturen T_M
- Einspritzgeschwindigkeit v_E
- Nachdruck p_N
- Nachdruckzeit t_N
- Restkühlzeit t_{Rk}

▪ Versuchsplandesign

D-optimal

▪ Faktorenstufen

2 + 1 Zentralpunkt

▪ Software: CadMould® 3D-F 6.0, Cadmould Varimos® 4.06

Definition Versuchsplan in Cadmould 3D-F

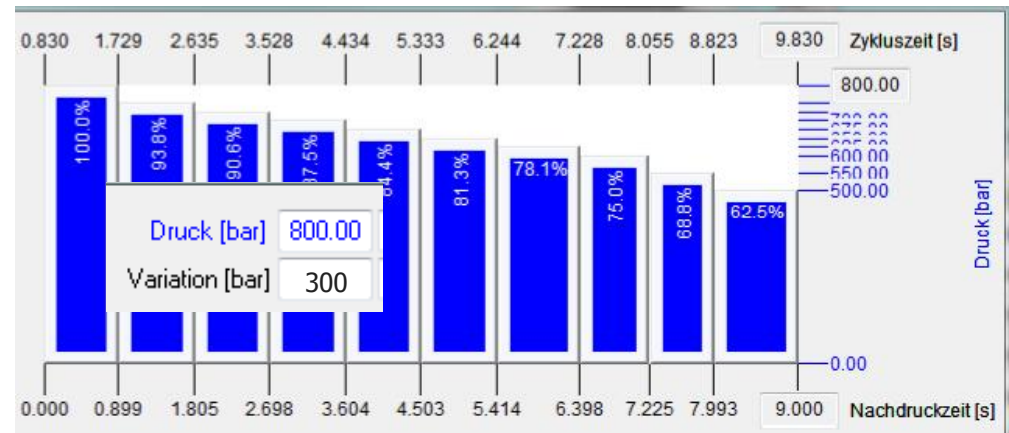
Prozessparameter

Füllzeit [s]	0.830	0.200	
Druckgesteuertes Füllen [%]	99.0		
Schmelztemperatur [°C]	307.0	8.0	
Einheitliche Heißkanaltemperatur [°C]	307.5	7.5	
Einheitliche Wandtemperatur [°C]	140	10	
Entformungstemperatur [°C]	220.0		
<input checked="" type="checkbox"/> Nachdruck	Nachdruckzeit [s]	9.000 3	
<input checked="" type="checkbox"/> S + V	Kühlzeit [s]	16 1	
<input type="checkbox"/> Spritzprägen	Eingabe	Variation	
Standard	Laden	Optionen	Variieren
OK		Abbrechen	

Volumenstrom [cm³/s] 30.400
Variation [cm³/s] 9.024

Volumenstrom

Nachdruckprofil



CADMOULD®
3D-F SIMULATION

D-optimales Versuchsplandesign

Einstellung	T_W	T_M	v_e	p_N	t_N	t_{RK}
1	0	0	0	0	0	0
2	—	—	—	—	—	—
3	—	—	+	+	+	+
4	—	+	+	+	—	—
5	—	+	—	—	+	+
6	+	+	—	+	+	—
7	+	+	+	—	—	+
8	+	—	+	—	+	—
9	+	—	—	+	—	+

*Berger, G. et al: Application of D-Optimal Design of Experiments
on process optimization of an automotive part. Austrian
Slovenian Polymer Meeting, 2013*

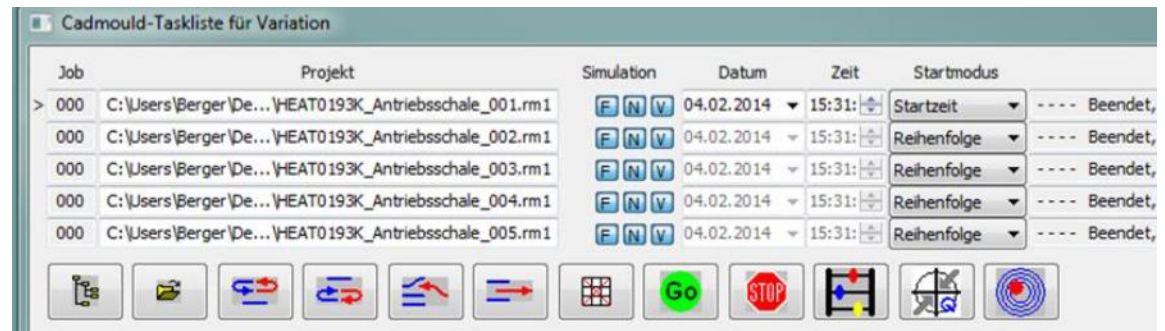
Automatisierte Simulation

Automatisierte Erstellung der Simulationsdateien

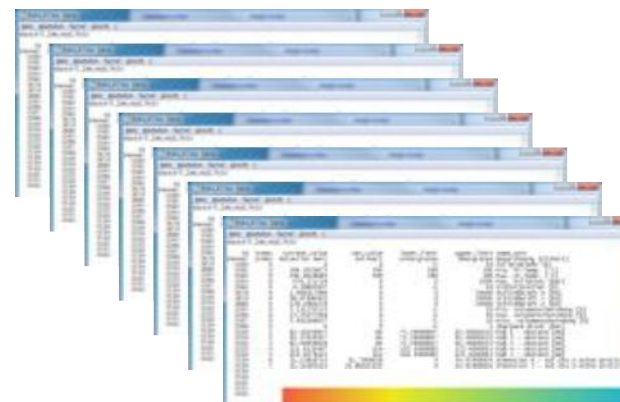
Name

HEAT0193K_Antriebsschale_001.rm1
HEAT0193K_Antriebsschale_002.rm1
HEAT0193K_Antriebsschale_003.rm1
HEAT0193K_Antriebsschale_004.rm1
HEAT0193K_Antriebsschale_005.rm1
HEAT0193K_Antriebsschale_006.rm1
HEAT0193K_Antriebsschale_007.rm1
HEAT0193K_Antriebsschale_008.rm1
HEAT0193K_Antriebsschale_009.rm1

Automatische Simulation



Automatische Abspeicherung der Simulationsergebnisse



VARIMOS
OPTIMISATION

Name

DOE1
DOE2_001
DOE2_002
DOE2_003
DOE2_004
DOE2_005
DOE2_006
DOE2_007
DOE2_008
DOE2_009

Mathematische Prozessmodelle für jedes Qualitätsmerkmal (zur Vorhersage der Bauteilqualität)

$$Y_j = A_j \cdot X_1 + B_j \cdot X_2 + C_j \cdot X_3 + D_j \cdot X_4 + E_j \cdot X_5 + F_j \cdot X_6 + G_j \cdot X_7 + \dots + e_j$$

Y_j

Zielgröße (Qualitätsmerkmal)

X_i

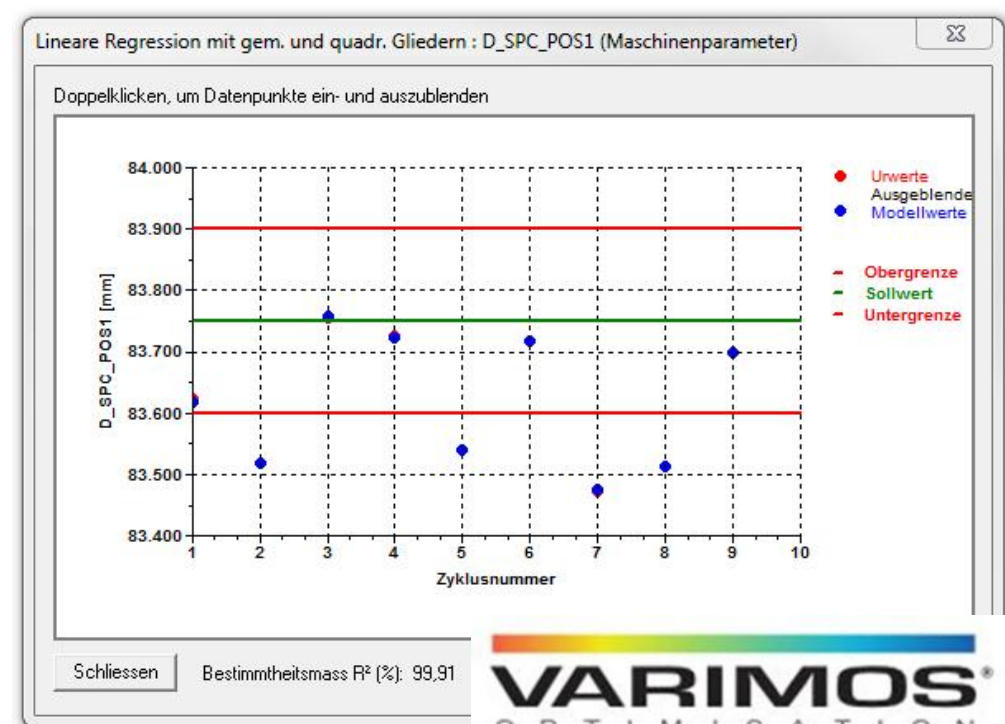
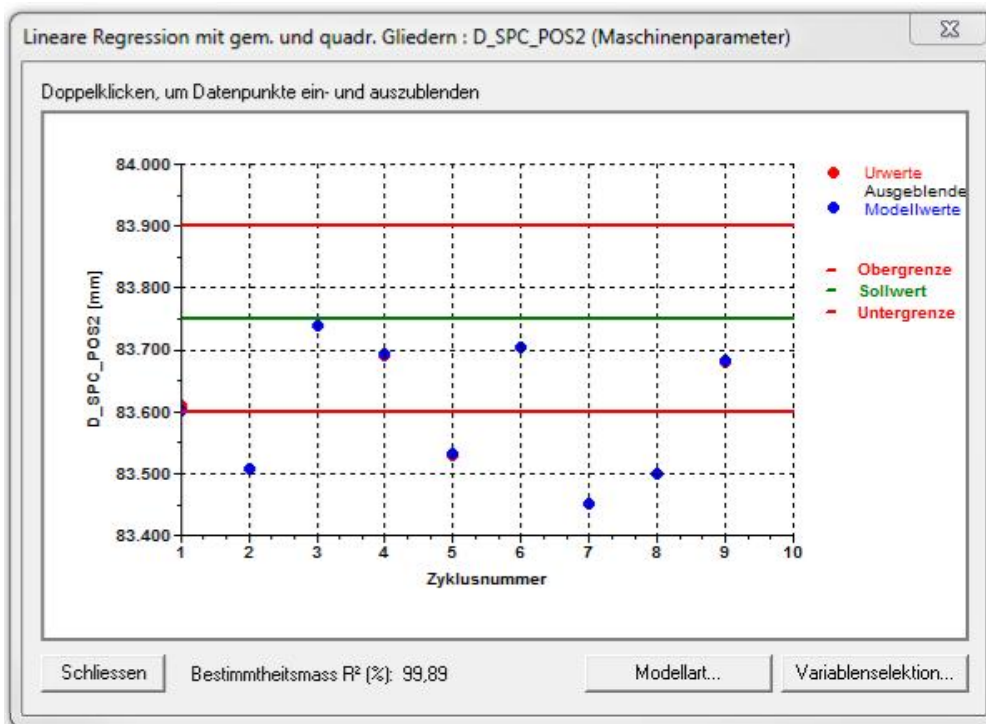
(Signifikante) Einflussgrößen

$A_j - G_j$

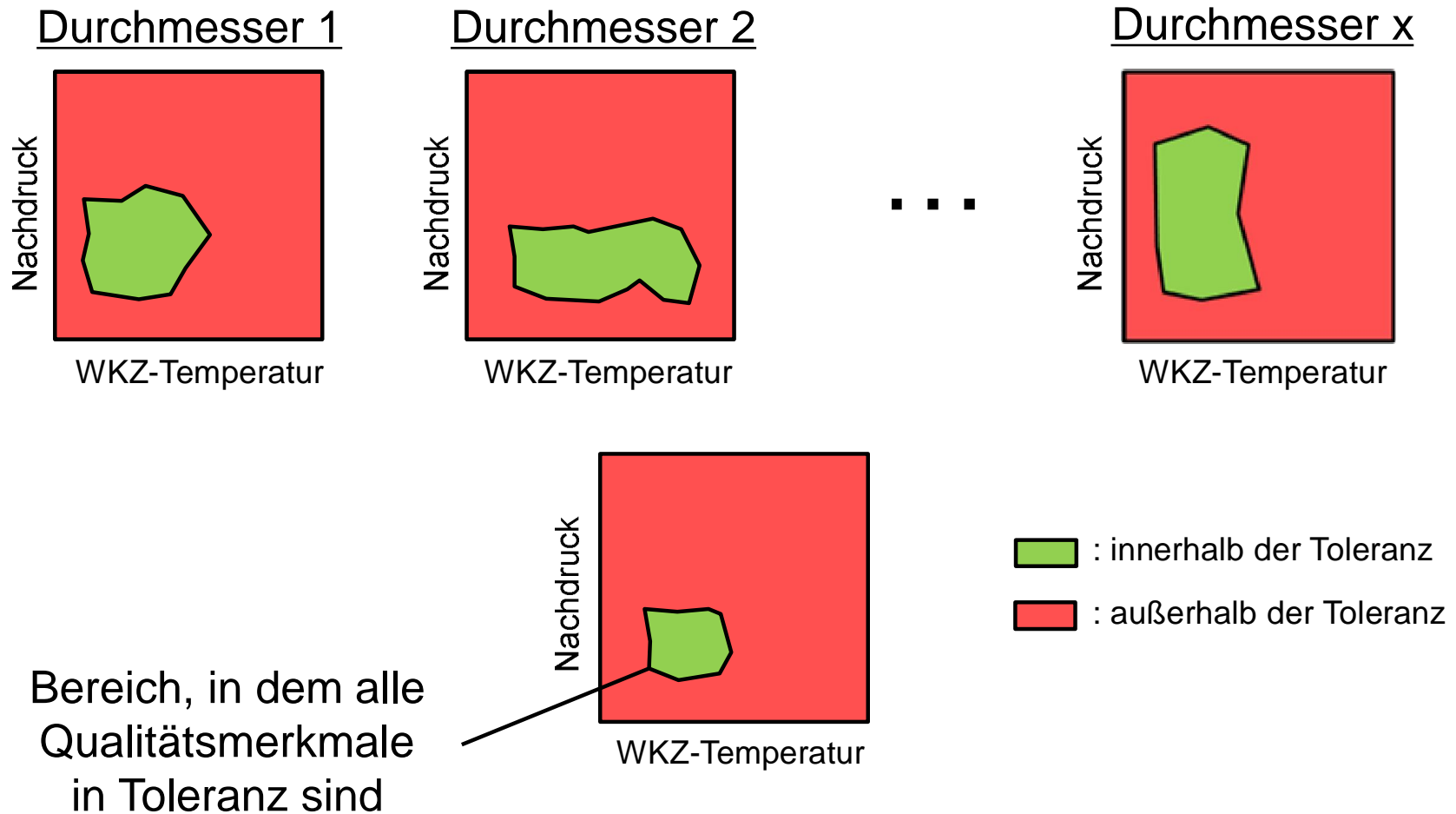
Modellparameter (Wirksamkeit)

e_j

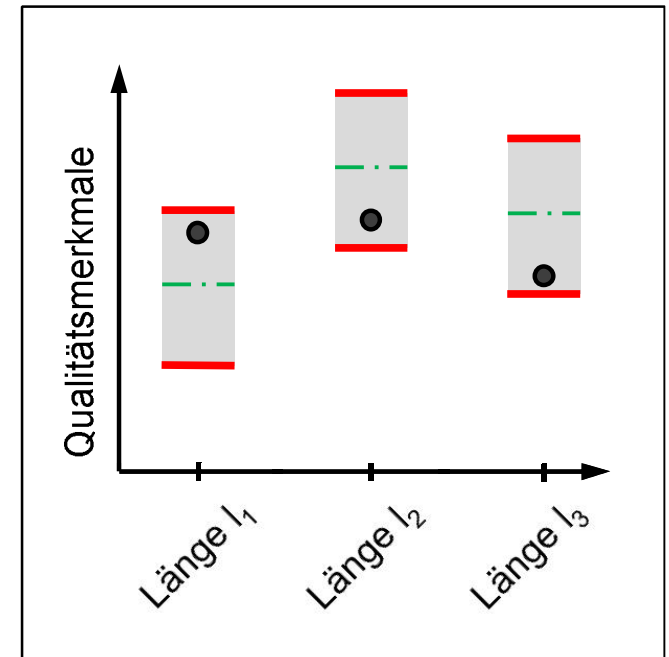
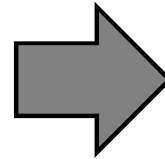
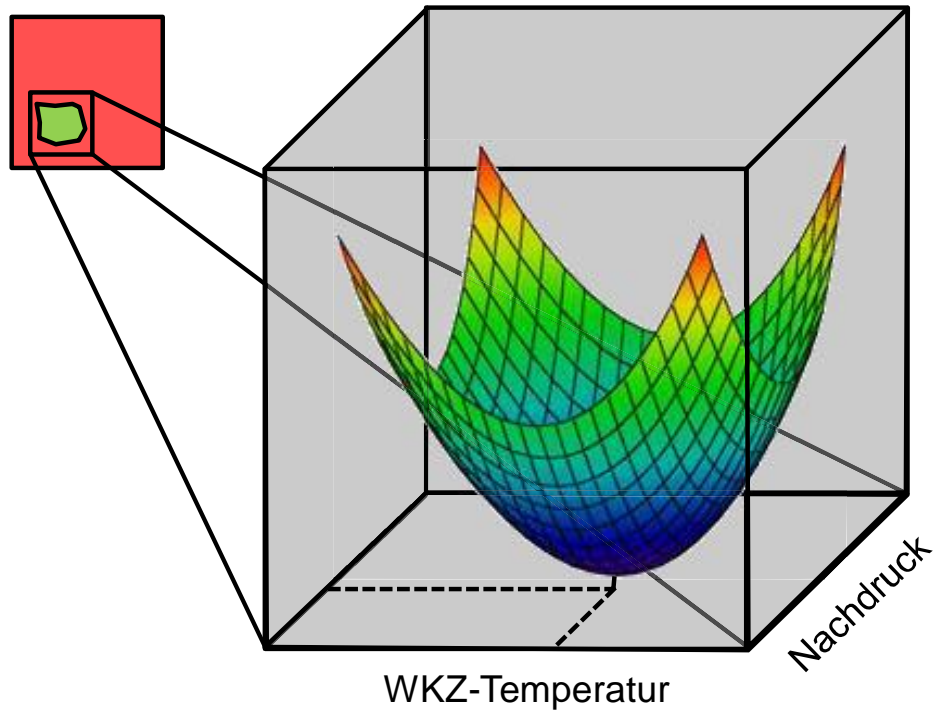
Modellfehler



Mehrdimensionale mathematische Optimierung

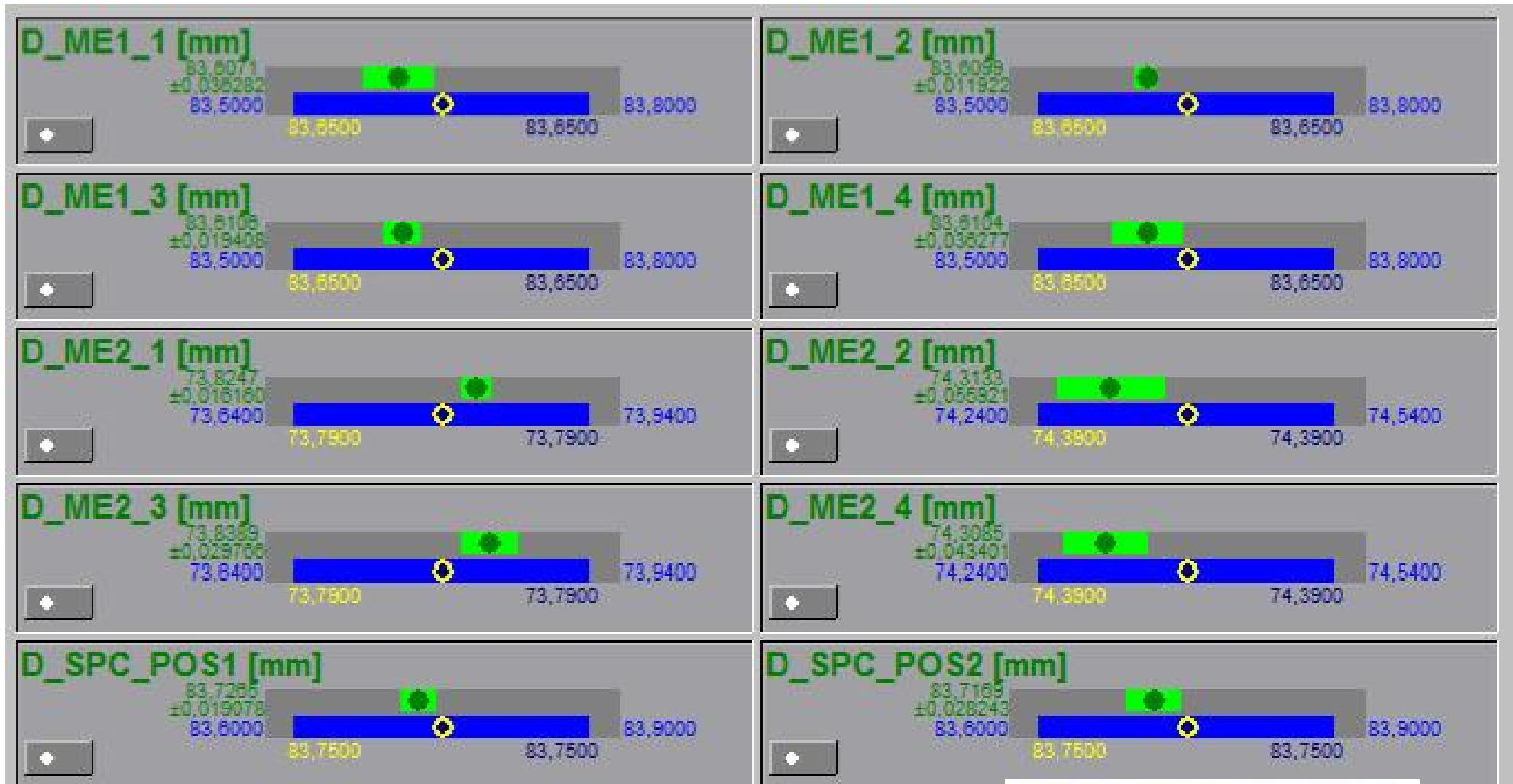


Zentrierung der Qualitäten



Optimale Lage möglichst aller Qualitätsmerkmale im Toleranzband
→ Basis für Robusten Prozess.

Vorhersage Qualitätsparameter im Optimum (Beispiel)



Vergleich virtuelles Prozessoptimum mit Serieneinstellung

Prozesseinstellung	Einheit	Optimum Simulation	Serieneinstellung
T_W	°C	131	130
T_M	°C	300	300
p_{St}	bar	-	80
v_E	cm ³ s ⁻¹	27	30,4
p_N	bar	800	800
t_N	s	6,0	6,0
t_{Rk}	s	5,0	7,0

Vorteile von virtuell

- Reduktion von teuren realen Abmusterungsschleifen.
- Kostenaufwand geringer, daher mehr Einflussparameter variierbar:
 - Prozessparameter
 - Geometrische Eigenschaften (Anbindung, Wanddicken, Rippen ...)
- Virtuelle Messroutinen werden 1x definiert und automatisiert ausgewertet.
- Gleichzeitige Optimierung von über 100 Maßen, Zykluszeit, Schließkraft, ... möglich.
- Vorhalten der Werkzeuggeometrie und Definition von guten Starteinstellungen für reale Optimierung.

Quelle: Simcon kunststofftechnische Software GmbH

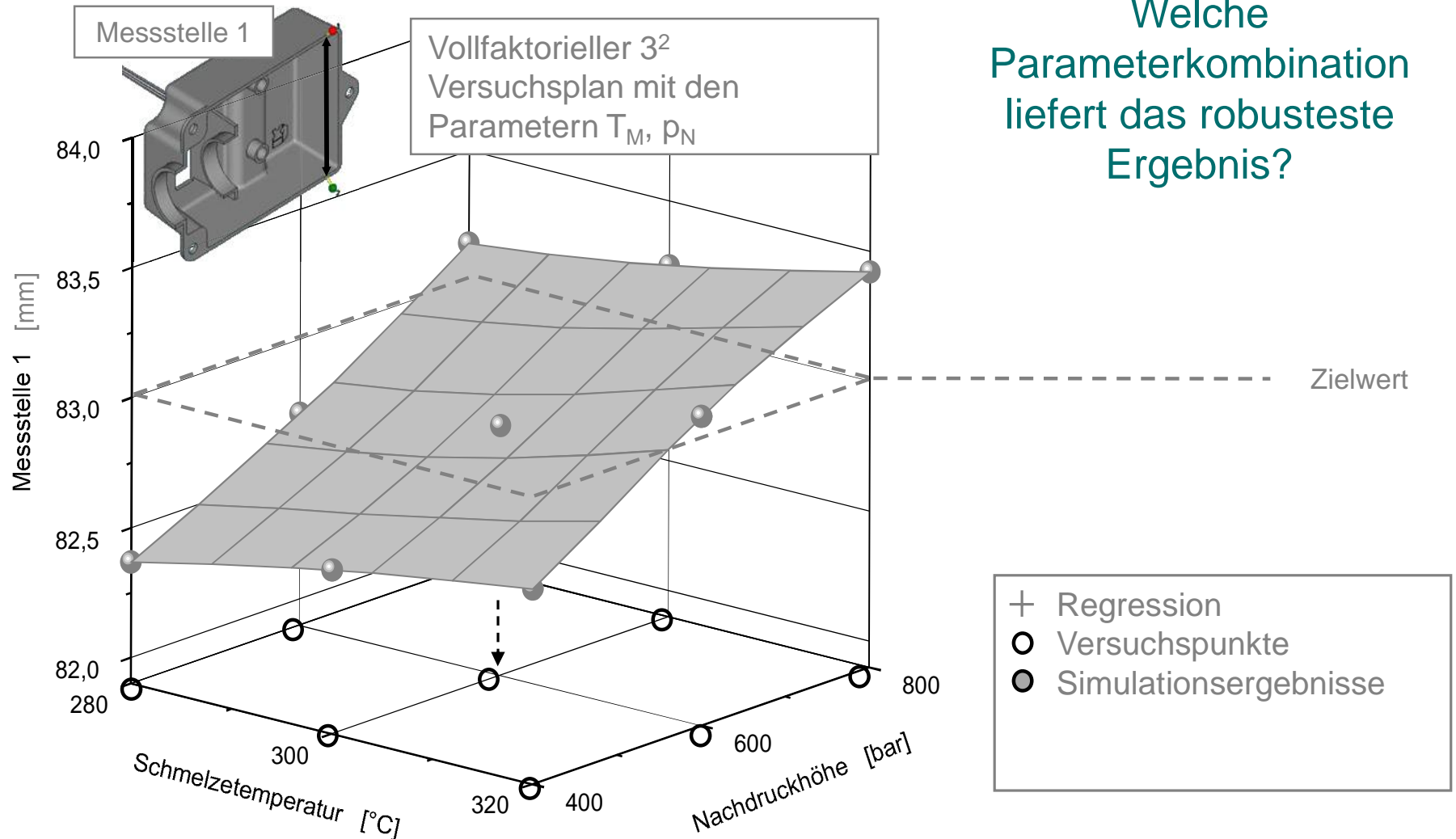
Zwischenfazit

- Virtuelle Bauteil- und Prozessoptimierung funktioniert.
- Nächster Schritt: Implementierung von Störgrößen

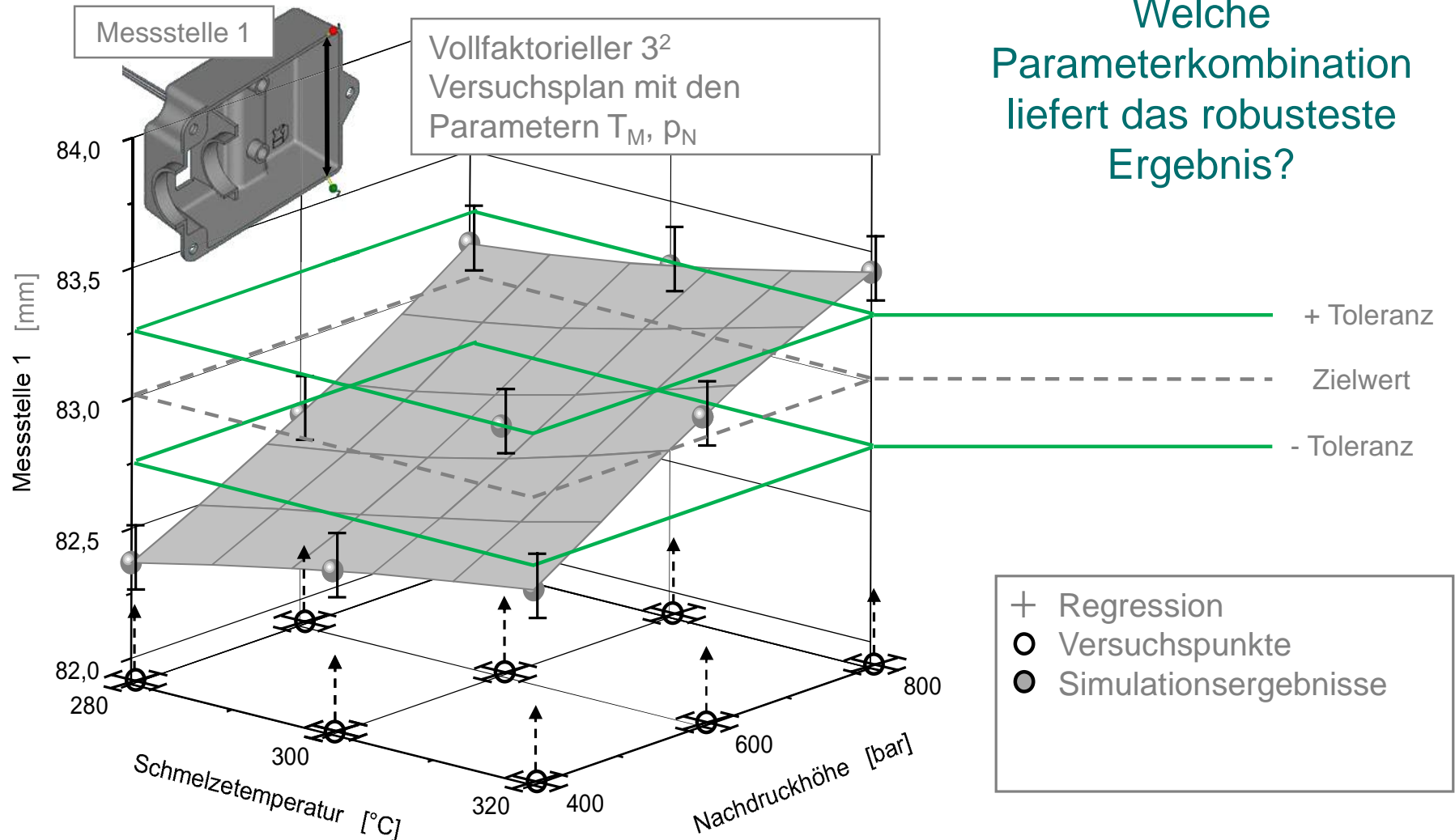
Störgrößen

- **Maschinenschwankungen**
 - Materialchargenschwankung (pvT, Viskosität)
 - Werkzeugverschleiß
 - Umgebungseinflüsse (Temperatur, Feuchtigkeit)
 - Zusetzen Temperierkanäle



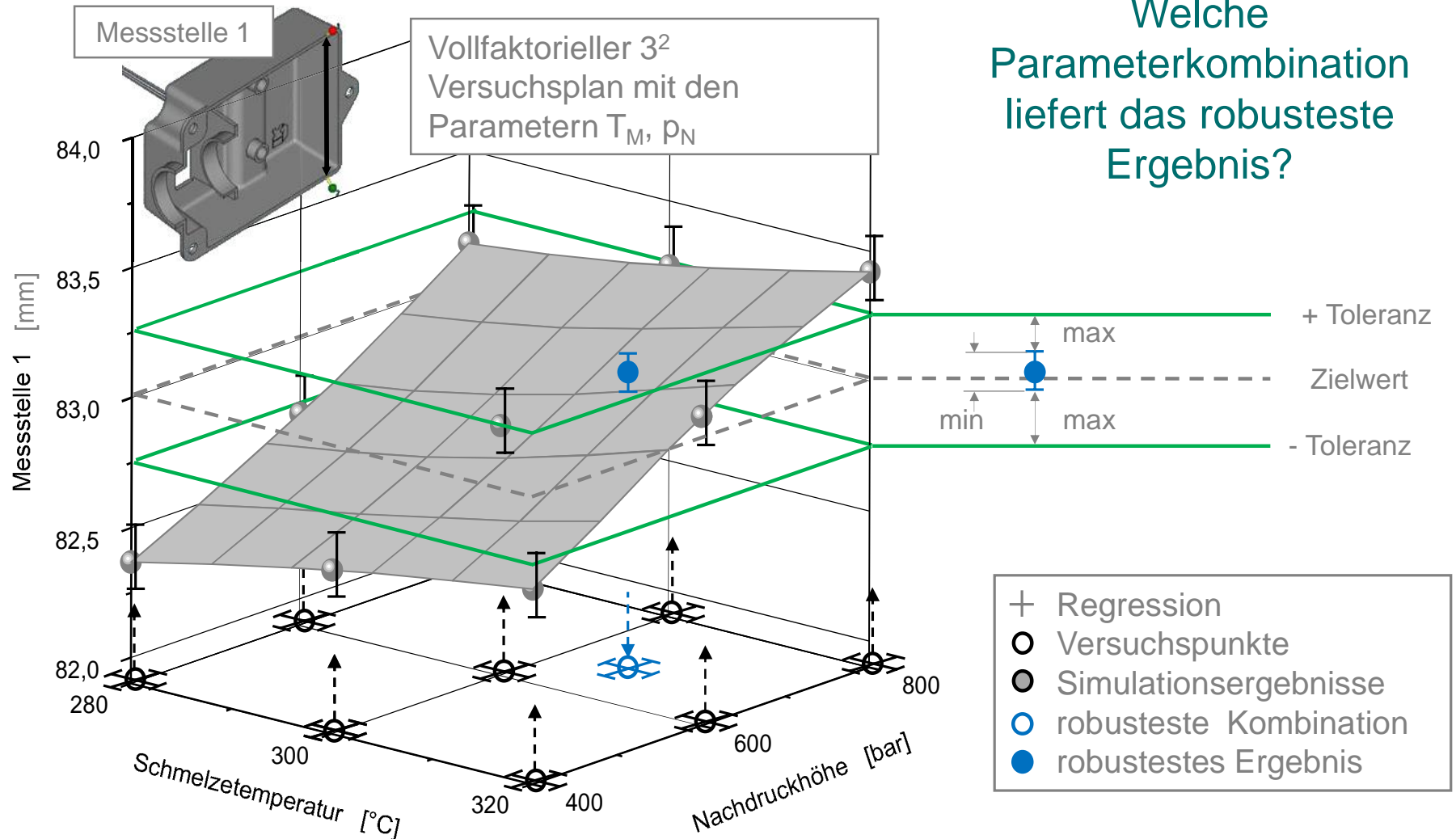


Welche Parameterkombination liefert das robusteste Ergebnis?



Welche
Parameterkombination
liefert das robusteste
Ergebnis?

Optimierung durch Zentrierung und minimaler Qualitätsschwankung



Zusammenfassung

- Virtuelle Bauteil- und Prozessoptimierung funktioniert.
- Ausgewählte Störgrößen in Simulation implementiert.

Wohin geht die Reise?

Aktuelle Entwicklungsschritte

- Weitere Störgrößen in die Simulation
- Erweiterung Versuchspläne und statistische Methoden
- Vorhersage eines zulässigen Prozessfensters mit jeweiligen Eingriffsgrenzen
- Methode Robuster Prozess → Elastomere
(PCCL RubSim I (2012-2013), RubSim II(2014-2016))
- Implementierung von Struktur-Performance-Beziehungen → Virtuelle Optimierung mechanischer Bauteileigenschaften

- The authors are very grateful to the Austrian Research Promotion Agency (FFG), the German AIF and the Slovenian Ministry of Technology for the public funding and to all 35 company partners, especially Magna Auteca AG for their financial and technical support.
- Special thanks to
 - Hans-Jürgen Luger & Walter Friesenbichler (MUL-SGK)
 - Irmgard Beythollahi, Josef Koller (Magna Auteca Auteca)
 - Paul Filz, Michael Gierth (simcon)
 - Benjamin Grümer (RWTH Aachen)

**HERZLICHEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT**