

**KUNSTSTOFF
TECHNIK
LEOBEN**

WWW.KUNSTSTOFFTECHIK.AT



LIT FACTORY SYMPOSIUM 2023.

Dienstag, 19. September 2023

09.00 Uhr

- Die Schlüsselrolle von Kunststoffen
- Digitale Interaktionen
- Datenaustausch

JYU LIT Factory

Die Bedeutung von Materialdaten für die Spritzgießsimulation

Walter Friesenbichler

Faculty of Polymer Technology, Slovenj Gradec, SLOVENIA

Inhalt

Motivation

Spritzgießsimulation - Bedeutung von Materialdaten

- Druckabhängigkeit der Viskosität
- Viskoelastizität

Industrielle Serienbauteile

- Einfluss der Druckabhängigkeit
- Robuste Prozessführung – VARIMOS
- Lebensdauerabschätzung

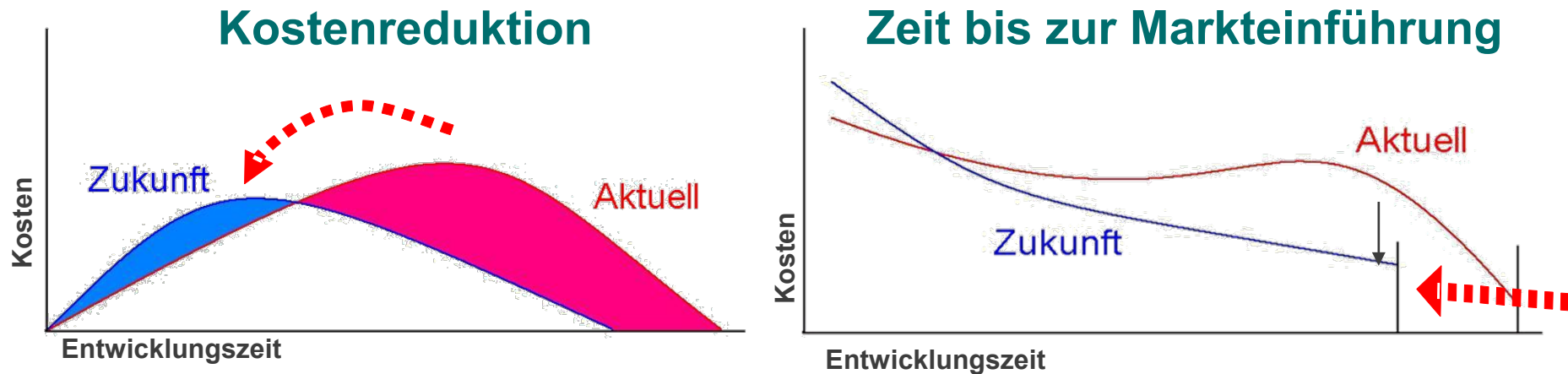
viskoelastische Materialmodelle - Vergleich Experiment und Simulation

Zusammenfassung

Motivation - Stage-Gate Prozess und Frontloading

- ❖ **Bauteilentwicklung** entlang eines strengen “**Stage-Gate-Prozesses**”
- ❖ **Frontloading** (frühzeitiges Ansprechen und Vermeiden typischer Fehler)
- ❖ **Systematischer** mehrfacher **Einsatz** von **Spritzgieß-Simulation**

Ansatz Frontloading



Quelle: Pro4Plast, M. Brunthaler / Miraplast



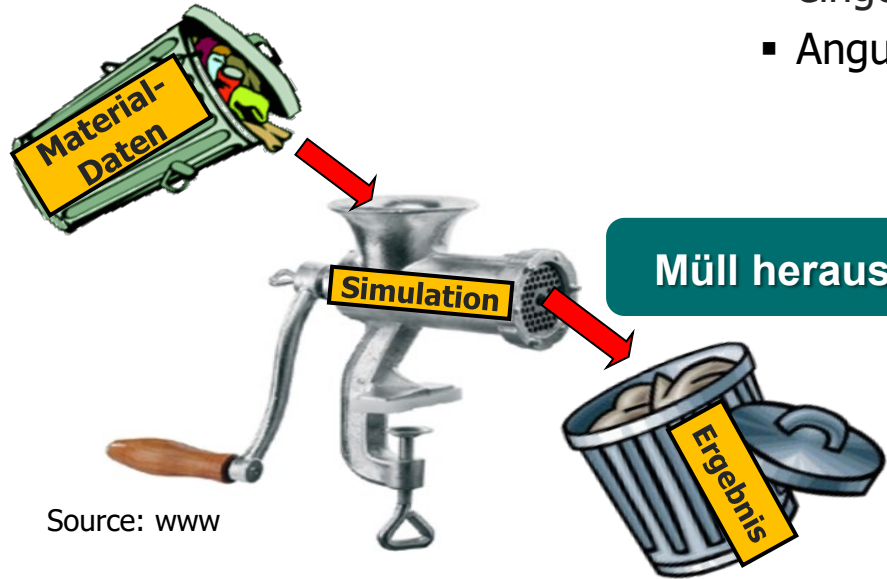
Spritzgießsimulation - Bedeutung von Materialdaten

Vorteile der Spritzgießsimulation

Geometrie-Check

- Wanddickenunterschiede
- Schwachstellen

Müll hinein

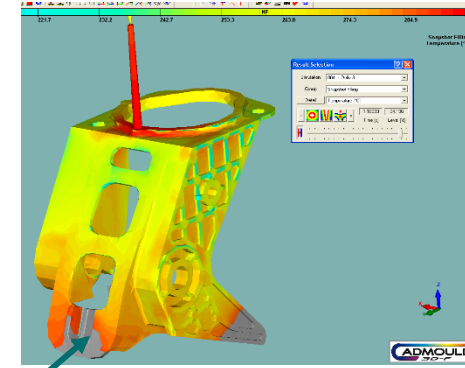


Füllsimulation

(Machbarkeit, erstes Angebot)

- Füllzeit, Füllprobleme, Bindenähte, Druckbedarf, Lufteinschlüsse
- Schmelztemperatur, eingefrorene Randschicht etc.
- Angussverteiler-Balancierung

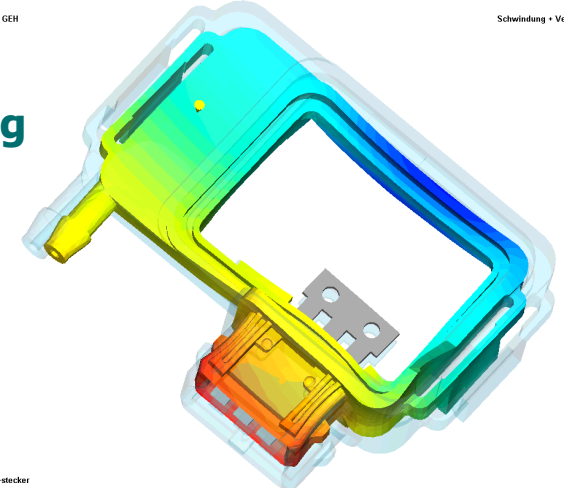
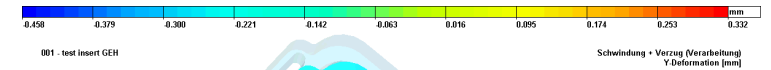
Kupplungspedal-Halter



Bindenaht

Quelle: Pro4Plast

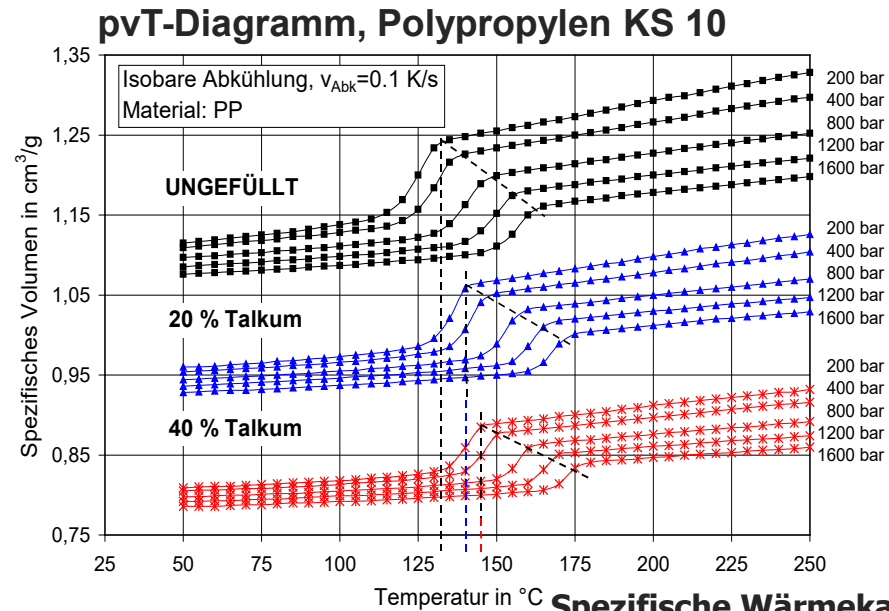
Nachdruck- und Kühlphase



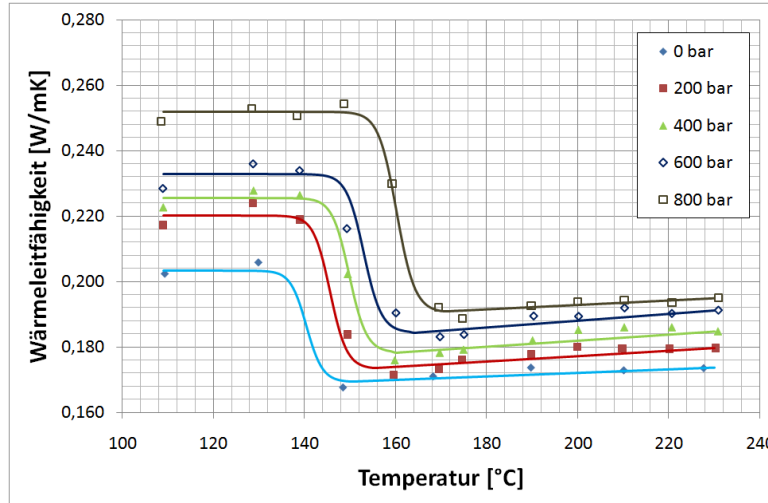
Quelle: © simcon kunststofftechnische Software GmbH

- Einblick in die „Black-box“ Werkzeug
- Nachdruckzeit, Kühlzeit
- Formteilmaße, Verzug, Vorhalten im Werkzeug

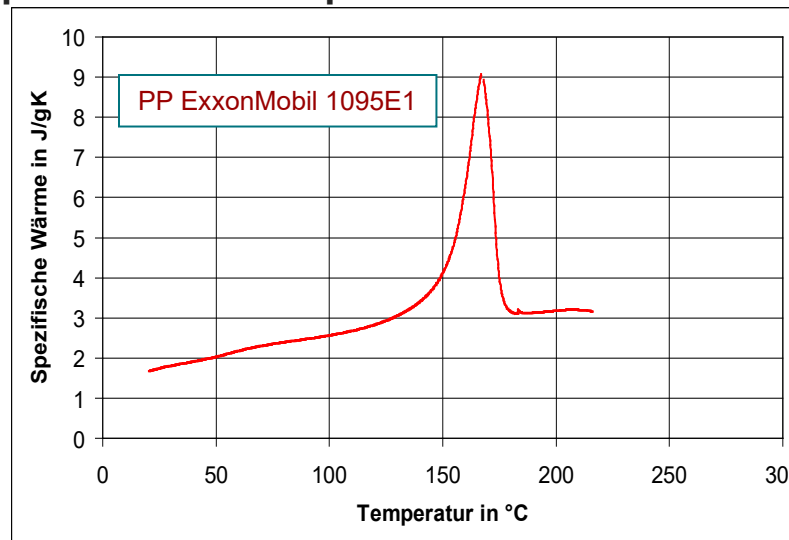
Benötigte thermodynamische Daten



WLF; Polypropylen Type Alastian PP HP 12-1



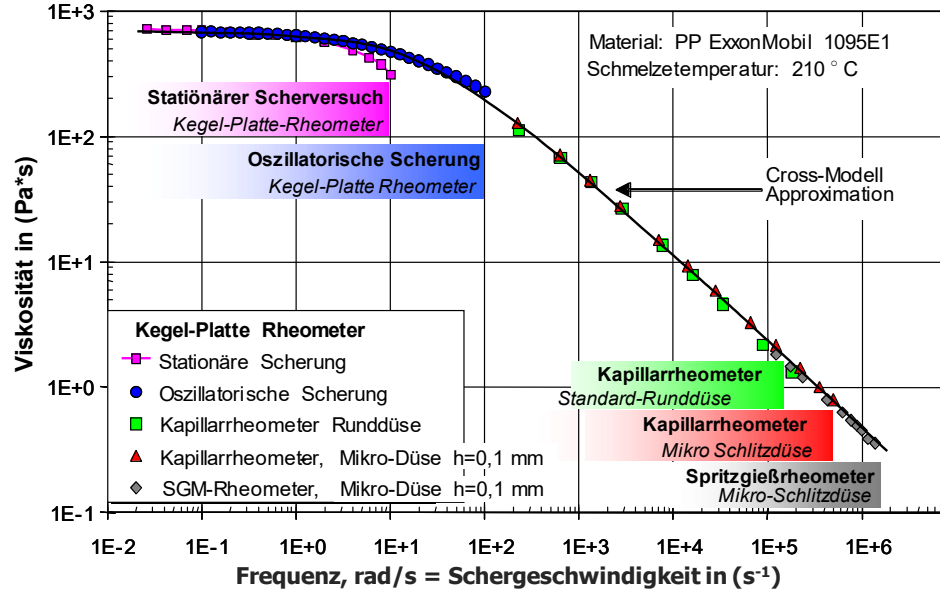
Spezifische Wärmekapazität von PP



Quelle: Institut für Kunststoffverarbeitung,
Montanuniversität Leoben

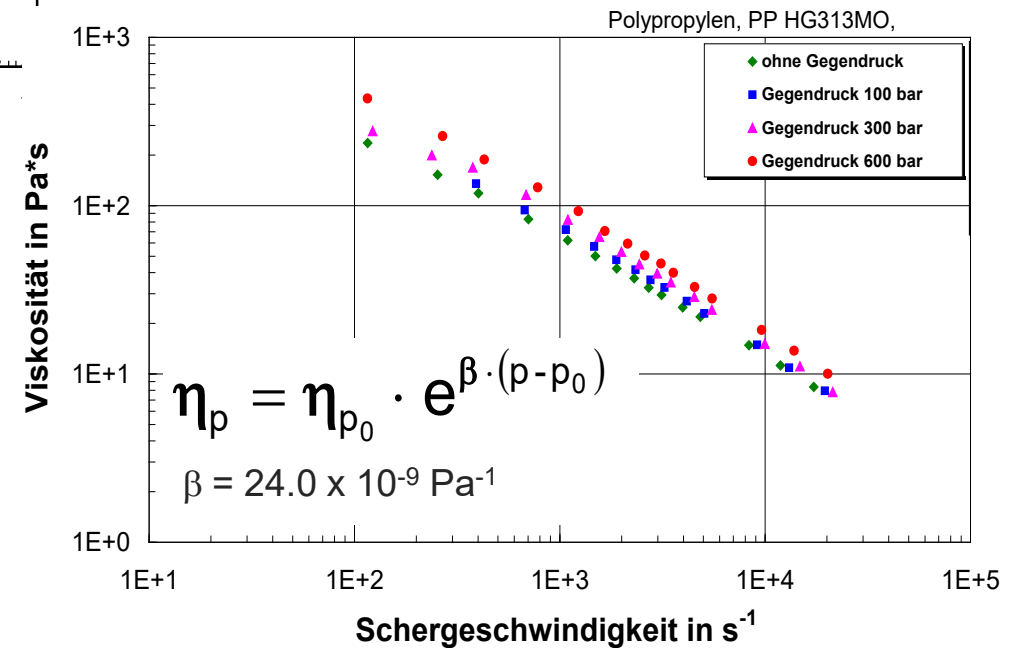
Benötigte Viskositätsdaten

Vollständige Viskositätskurve



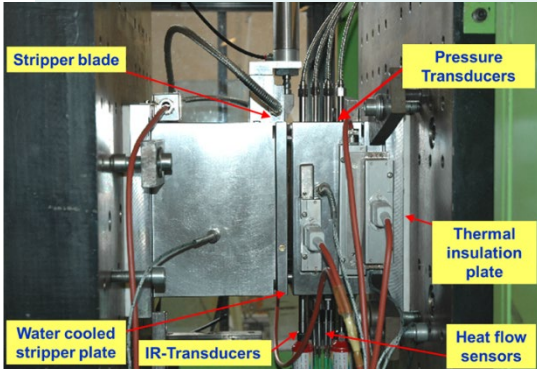
Materialdateneingabe

- Aus der Materialdatenbank
- Aus einem früheren Projekt
- **Eigene Messung aller benötigten Daten ist empfehlenswert!**



Druckabhängigkeit der Viskosität - Messung

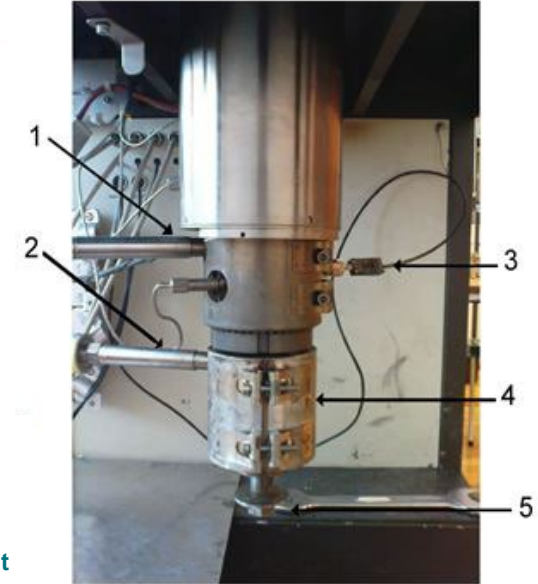
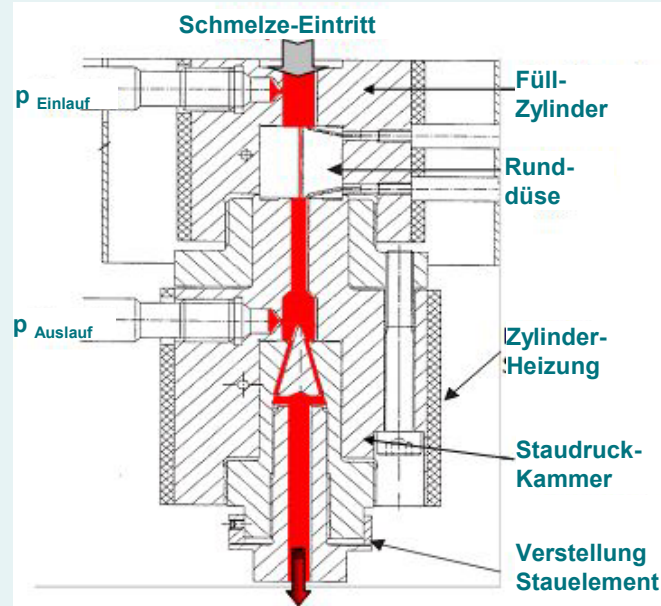
Spritzgießmaschinenrheometer (Pro4Plast 2009)



Rheologisches Spritzgusswerkzeug

- Austauschbare Schlitzdüsen (H = 1,0 u. 1,5 mm; B = 10 mm)
- Wandtemperaturbestimmung
- Scherraten von 100 bis 10^6 s^{-1}

HKR mit Staudruck-Kammer (Göttfert 2001)



1,2 Drucksensoren, 3 Thermolement, 4 Staudruck-Kammer, 5, Staulement-Verstellung

Quelle: Goubert, A.; Vermant, J.; Moldenaers, P.; Göttfert, A.; Ernst, B.: Comparison of measurement techniques for evaluating the pressure dependence of viscosity. *Appl Rheol*, 11, p. 26–37, 2001

Friesenbichler et al.: New Rheological Injection Mold to Measure Pressure Dependent Viscosity In High Shear Rate Range, PPS-25, Goa (2009)

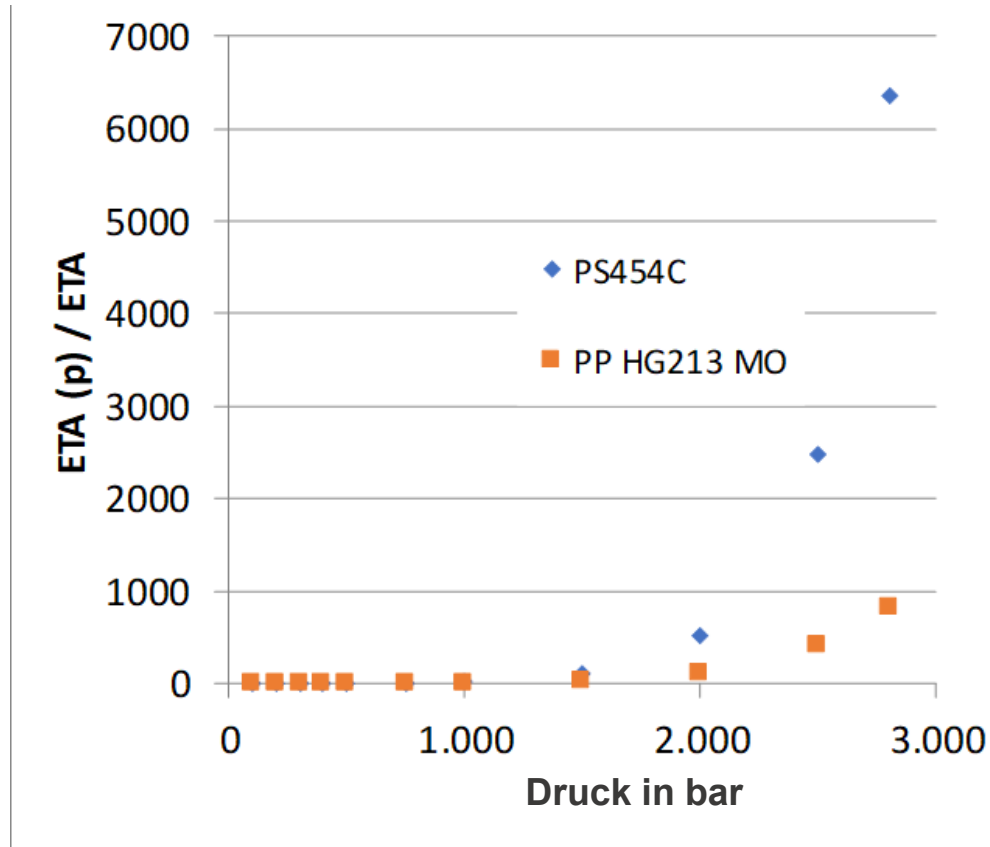
Druckabhängigkeit der Viskosität – Barus-Gleichung

Barus-Gleichung

$$\eta_p = \eta_{p_0} \cdot e^{\beta \cdot (p - p_0)}$$

Erhöhungsfaktor

$$a_p = \frac{\eta(p)}{\eta(p_0)}$$

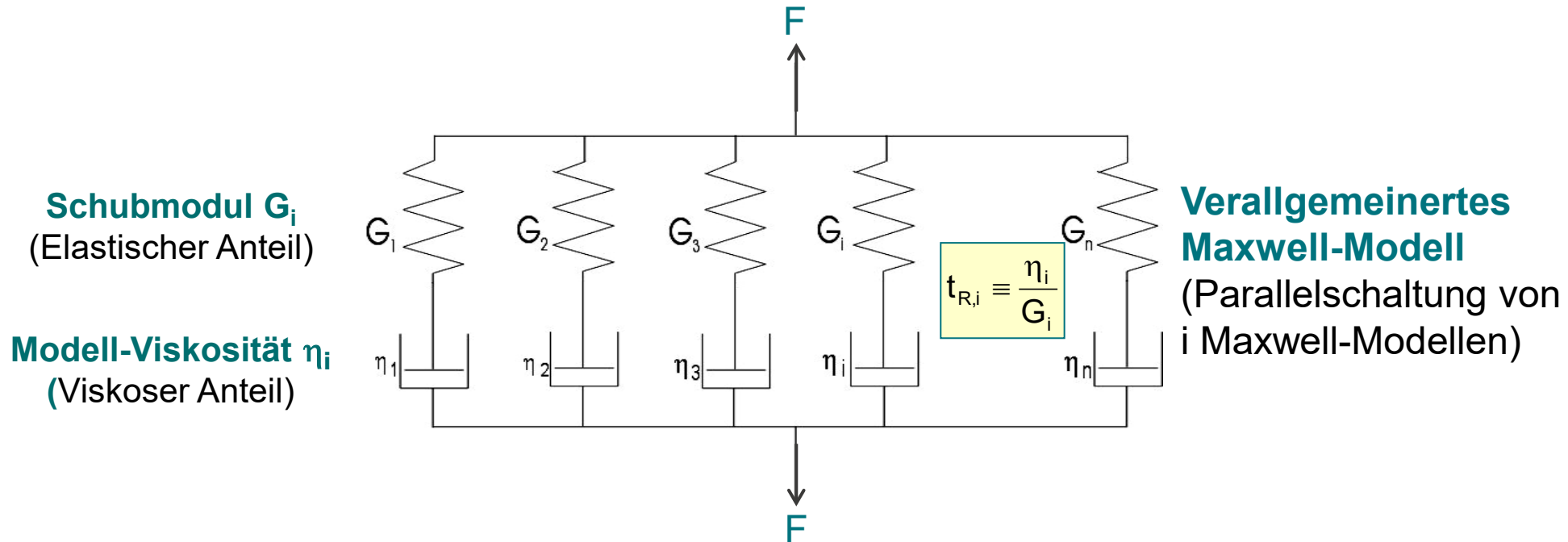


	Erhöhungsfaktor	
Druck (bar)	PP HG213 MO	PS 454C
100	1,27	1,37
500	3,32	4,78
1000	11,02	22,83
1500	36,60	109,07
2000	121,51	521,13
2500	403,43	2.489,91
2800	828,82	6.363,92

β-Werte aus der Literatur

Autor	Jahr	Material	β (10 ⁻⁹ Pa ⁻¹)	Messmethode
Friesenbichler et.al.	2011	ABS/PC Bayblend T65	23,93	Spritzgießmaschinenrheometer
Kadijk, Van den Brule	1994	ABS	24	Volumenstrom in Schlitzdüse bei Δp=konst.
Sedlacek et.al.	2004	PC Krasten 137 Kaucup-Unipetrol	31,1	Druckabfall in der HKR-Düse
Schobé	1994	PC Novarex 7020 AD3 Mitsubishi Kasei	30	Axiales Druckprofil in der Schlitzdüse
Sedlacek et.al.	2004	PMMA Panlite AD-5503 Teijin Chemicals	43,6	Druckabfall in der HKR-Düse
Couch und Binding	2000	PMMA ICI CLH374	25 +/- 1,25	Drehmoment in Couette-Rheometer
Friesenbichler et.al.	2009	PS 495F, BASF	31,28	Spritzgießmaschinenrheometer
Friesenbichler et.al.	2011	PS 454C, BASF	56,3	Spritzgießmaschinenrheometer
Sedlacek et.al.	2004	PS Delpet 80N Asahi Kasei	43,5 +/- 12,1	Druckabfall in der HKR-Düse
Couch und Binding	2000	PS 143 E	29 +/- 1,5	Drehmoment in Couette-Rheometer
Hay et.al.	1999	PS Dow 555 PS	45	Axiales Druckprofil in der Schlitzdüse
Kadijk, Van den Brule	1994	PS	31	Volumenstrom in Schlitzdüse bei Δp=konst.
Penwell et.al.	1971	PS	29 +/- 1,4	Druckabfall in HKR-Düse
Semjonow	1962	PS	10,4	Drehmoment in Couette Rheometer
Maxwell u. Jung	1957	PS	37	Druckabfall in der HKR-Düse

Viskoelastizität - Beschreibung mit dem verallgemeinerten Maxwell-Modell

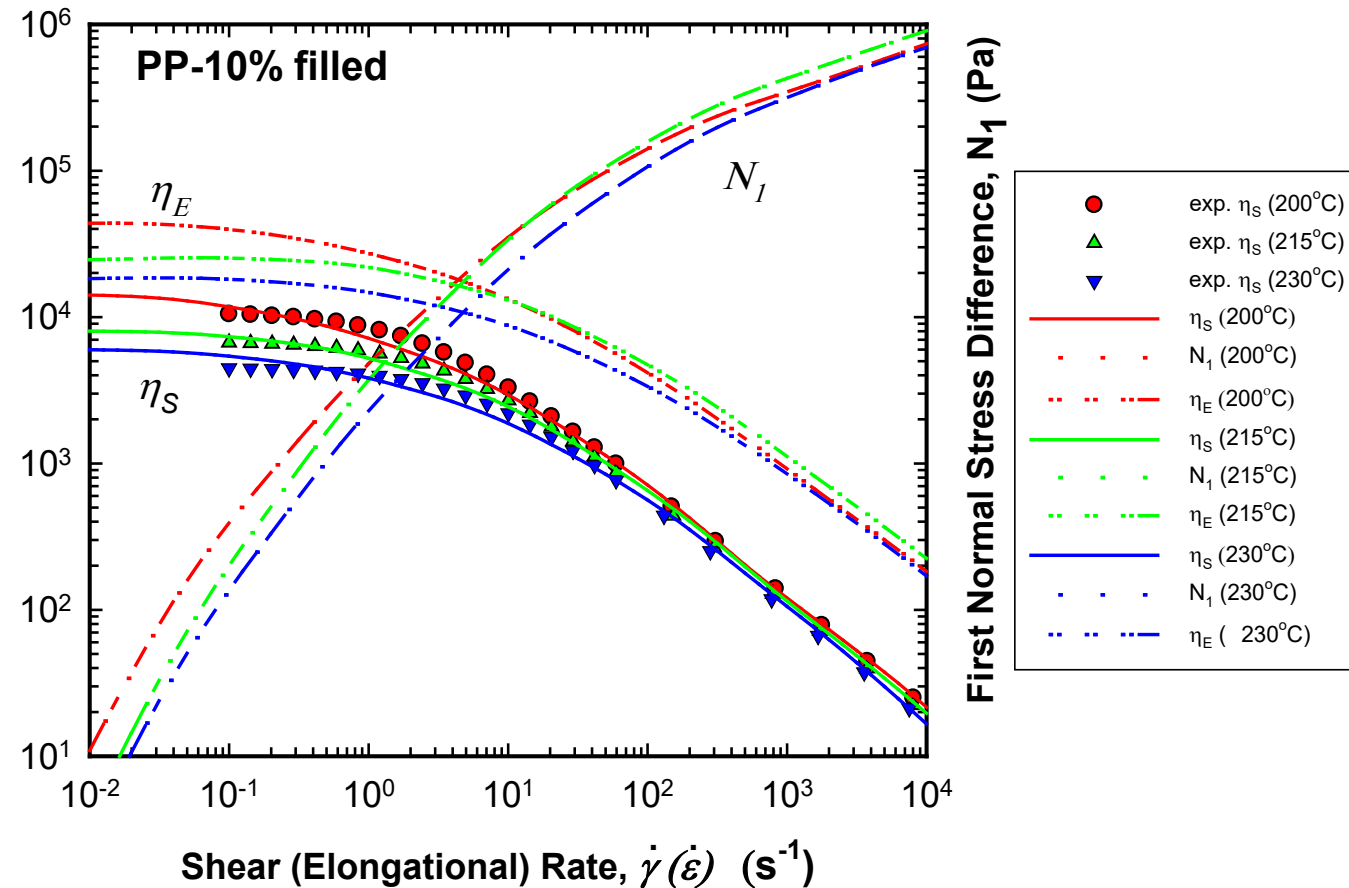
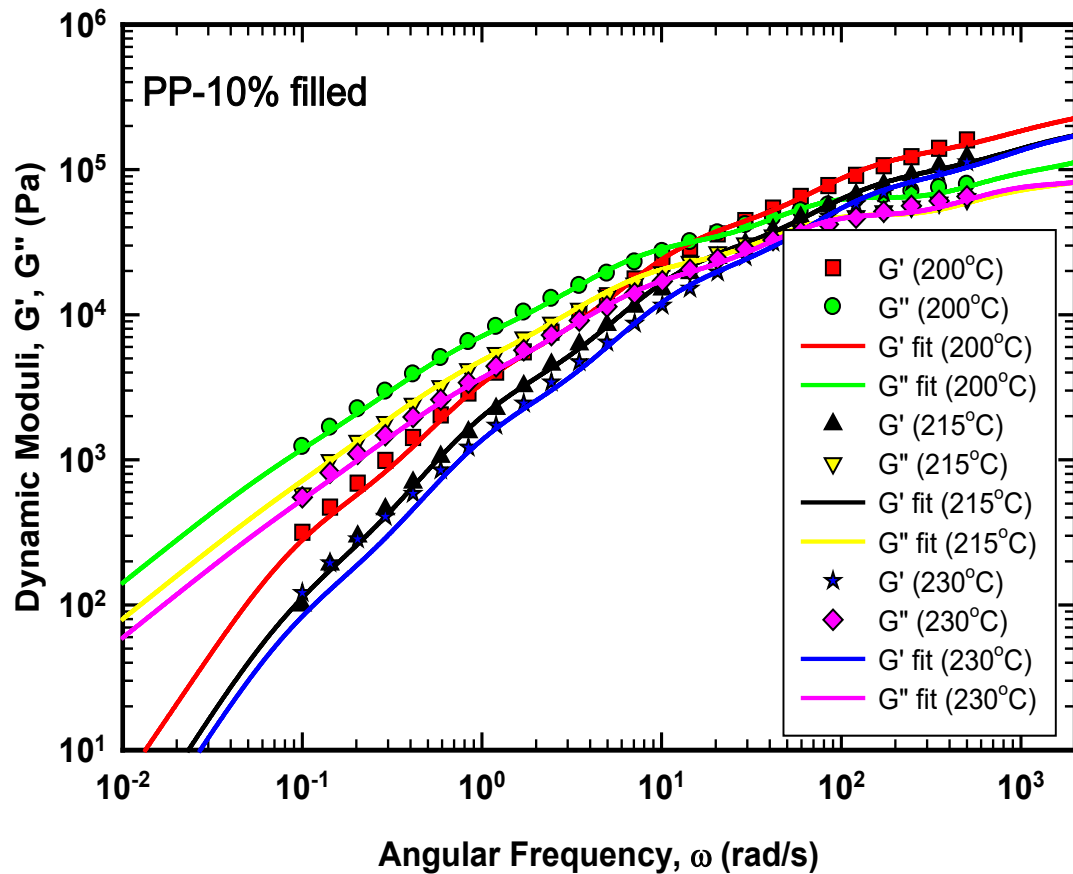


KONSTITUTIVE GLEICHUNG Kaye/Bernstein/Kearsley/Zappas (K-BKZ)
(Integral-Typ mit multiplen Relaxationszeiten)

$$\bar{\tau} = \frac{1}{1-\theta} \int_{-\infty}^t \overset{\text{Erinnerungsfunktion}}{M(t-t')} \overset{\text{Dämpfungsfunktion}}{H(I_C^{-1}, I_C)} [\bar{C}_t^{-1}(t') + \theta \cdot \bar{C}_t(t')] dt'$$

Viskoelastizität - Beschreibung mit dem verallgemeinerten Maxwell-Modell

Experimentelle Daten (Symbole) und Modellvorhersage von Scherviskosität η_S ,
erster Normalspannungsdifferenz N_1 , und Dehnviskosität η_E ,
 für PP-PNC (gefüllt mit 5 % OMMT und 5 % Compatibilizer)

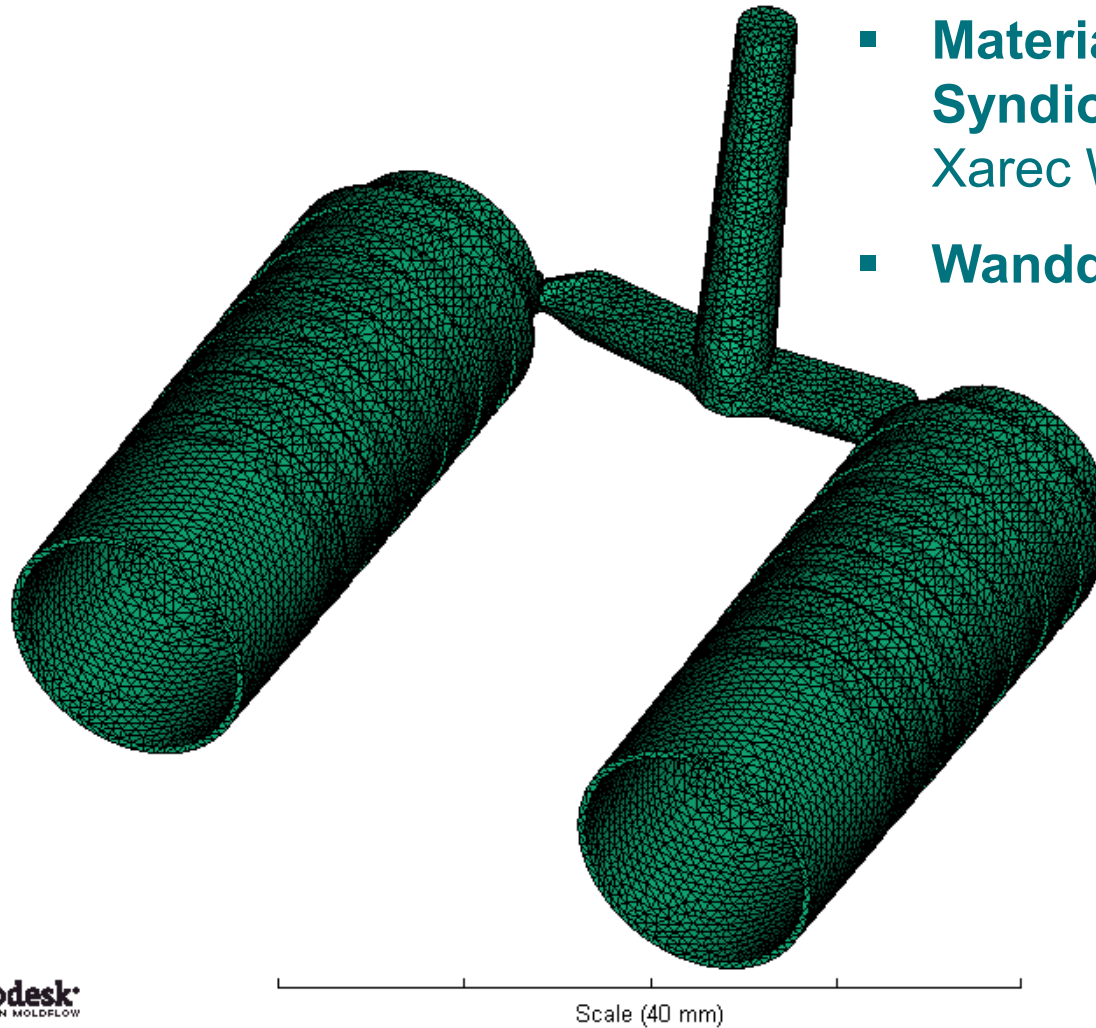


Quelle: Mitsoulis, E, Battisti, M., Neunhäuserer, A., Perko, L., Friesenbichler, W., Flow behavior of PP-polymer nanocomposites in capillary and injection molding dies, Intern. Polymer Processing XXXII (2017) 2, p. 217 - 226



**Industrielle Serienbauteile – Druckabhängigkeit,
Robuster Prozess, Lebensdauerabschätzung**

Dünnwandige Hülse - SPS Xarec WA 212



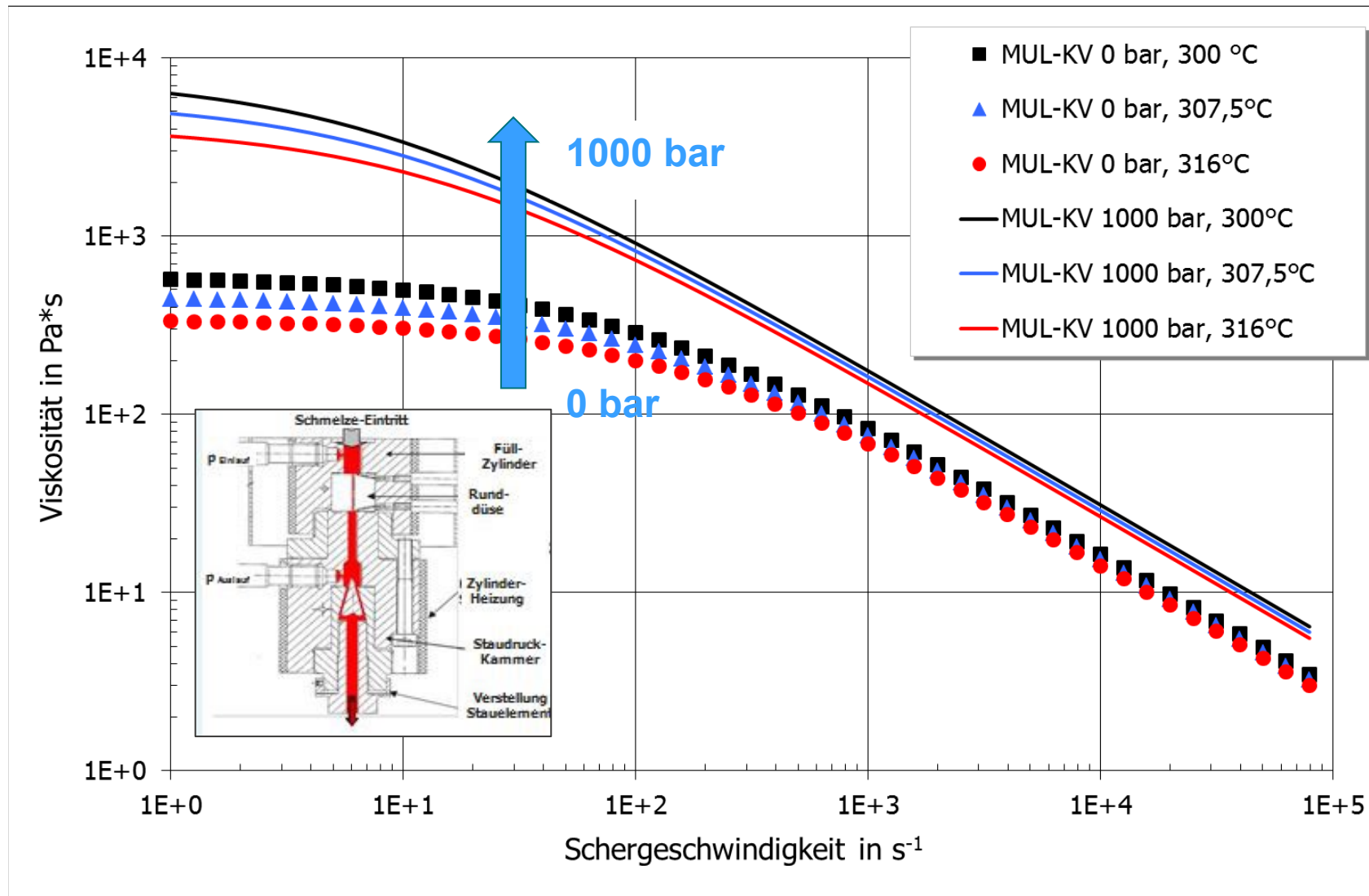
- **Material:**
Syndiotaktisches Polystyrol
Xarec WA 212
- **Wanddicke von 0.4 bis 0.8 mm**

**Gemessener Spritzdruck
im Schneckenorraum
für die Formfüllung
beim Umschalten: 2350 bar**

Autodesk
SIMULATION MOLDFLOW
INSIGHT

Source: T. Lucyshyn, H. Buertlmair, PKT, 2016

Syndiotaktisches Polystyrol SPS Xarec WA 212



Quelle: T. Lucyshyn, H. Buertlmair, PKT, 2016

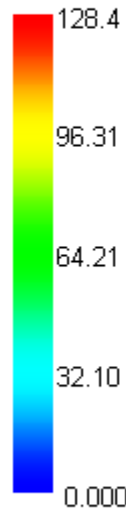
Spritzdruck am Ende der Füllphase (Umschaltzeitpunkt)

Ohne Druckabhängigkeit
der Viskosität



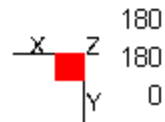
Pressure at V/P switchover
= 128.4[MPa]

[MPa]



Autodesk
SIMULATION MOLDFLOW
INSIGHT

Scale (30 mm)



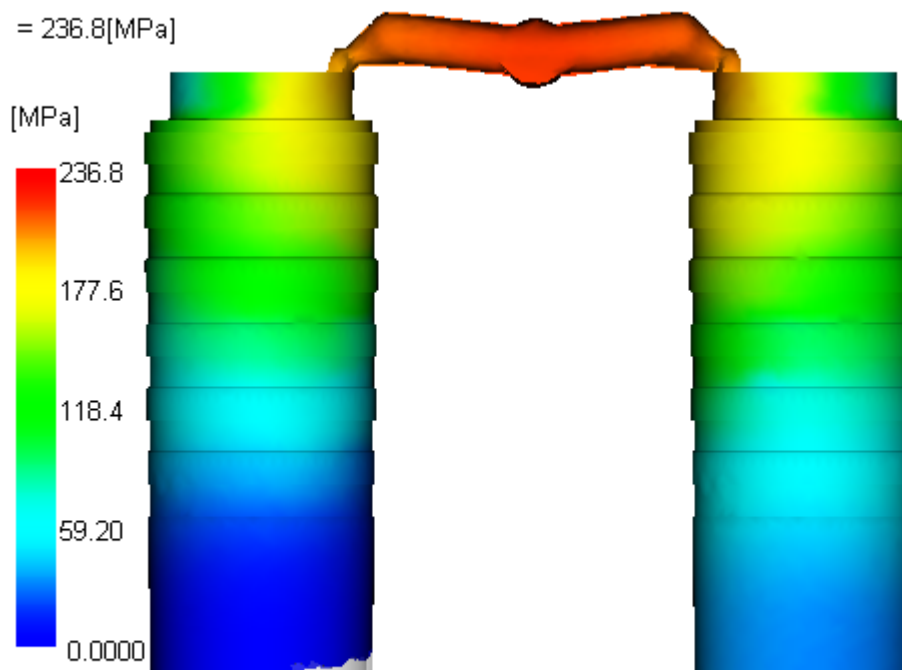
Mit Druckabhängigkeit
(gemessener Druck 2350 bar)

85%



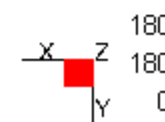
Pressure at V/P switchover
= 236.8[MPa]

[MPa]



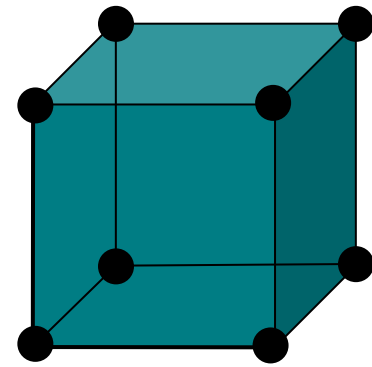
Autodesk
SIMULATION MOLDFLOW
INSIGHT

Scale (30 mm)

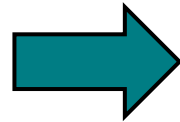


Source: T. Lucyshyn, H. Buertlmair, PKT, 2016

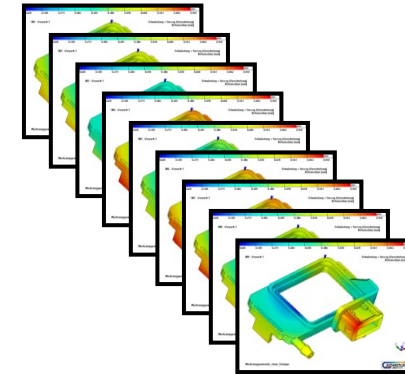
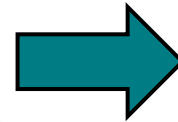
Robuster Prozess - Ansatz mit DoE und Spritzgieß-Simulation



Automatische
DOE

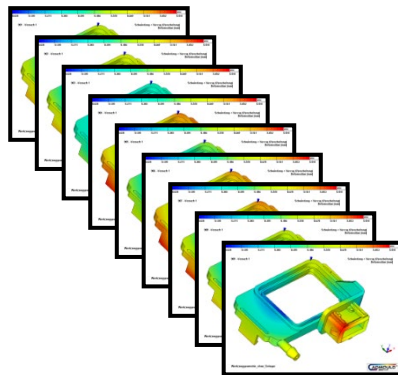


Automatische Simulation

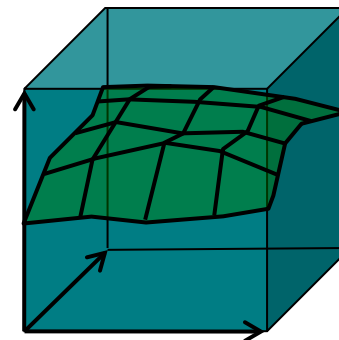
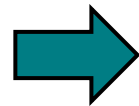


Simulationsergebnisse

Optimierung: Berechnung der optimierten Prozess-Einstellungen

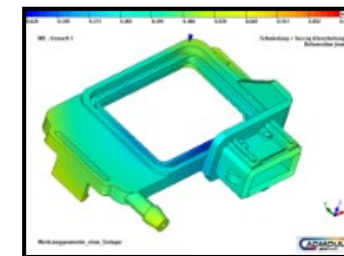
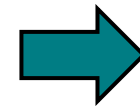


Automatische Evaluierung
der Simulationsergebnisse



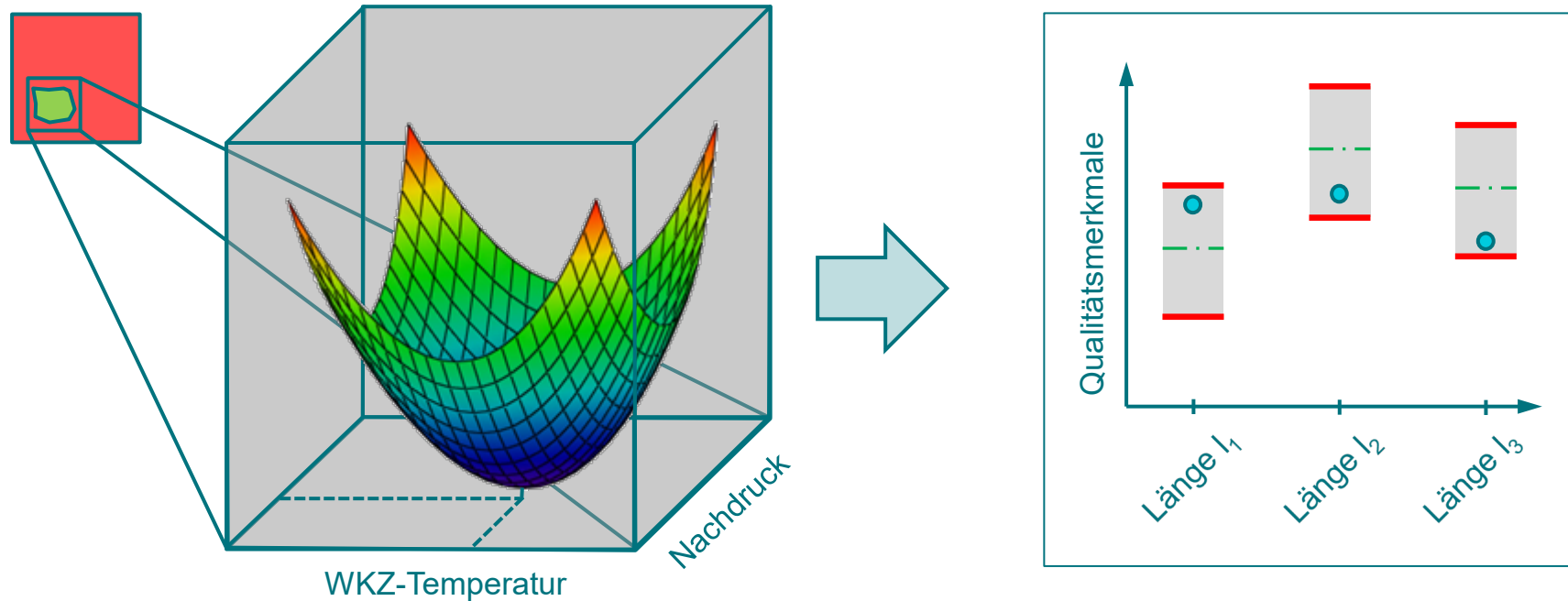
Automatisches Modell

Optimierung



Optimale Bauteil-, Werkzeug-
und Prozessparameter

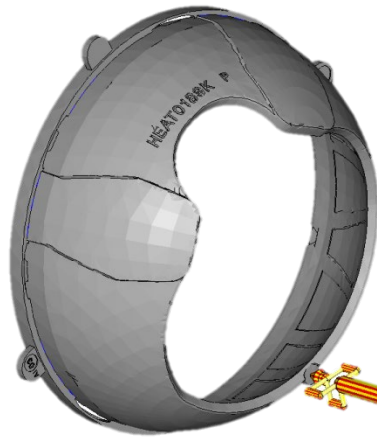
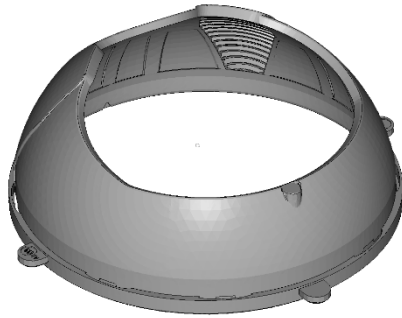
VARIMOS® CQC® - Zentrierung der Qualitäten



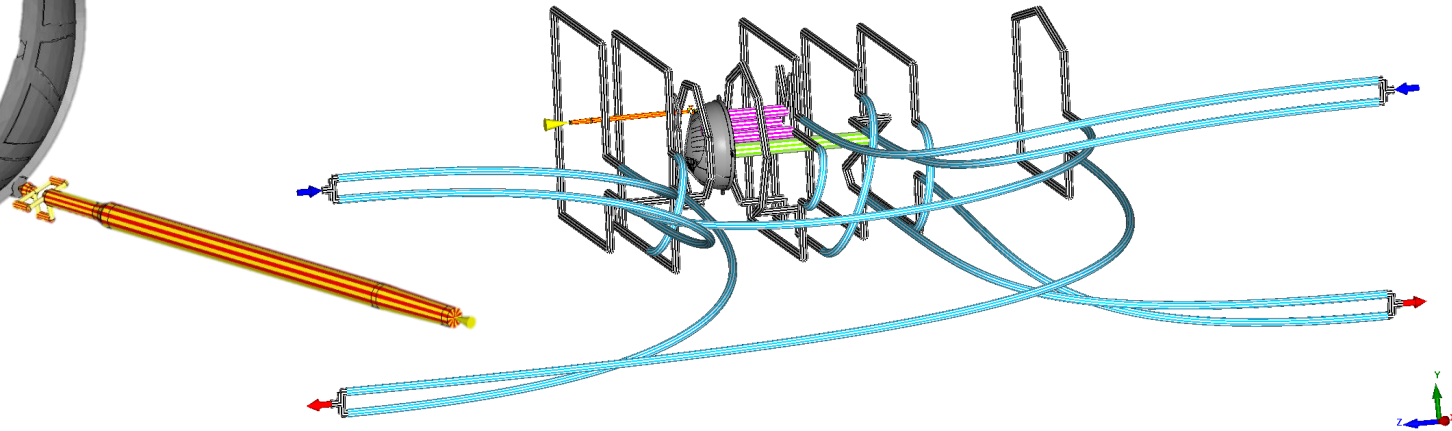
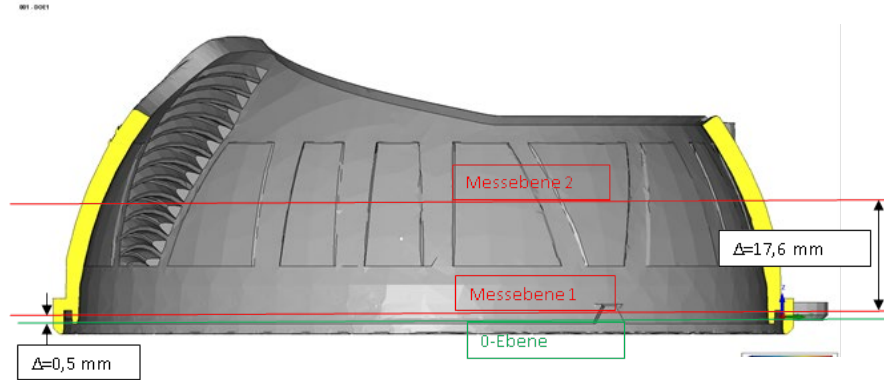
Ergebnis:
Optimale Lage der Qualitätsmerkmale im Toleranzband.

Quelle: simcon kunststofftechnische Software GmbH, Dr. Gierth Ingenieurgesellschaft mbH, Aachen

Bauteil Antriebsschale für PKW Außenspiegel



Material: PET GF 35
(Lieferant: DSM)



Quelle: simcon kunststofftechnische Software GmbH, Dr. Gierth Ingenieurgesellschaft mbH, Aachen

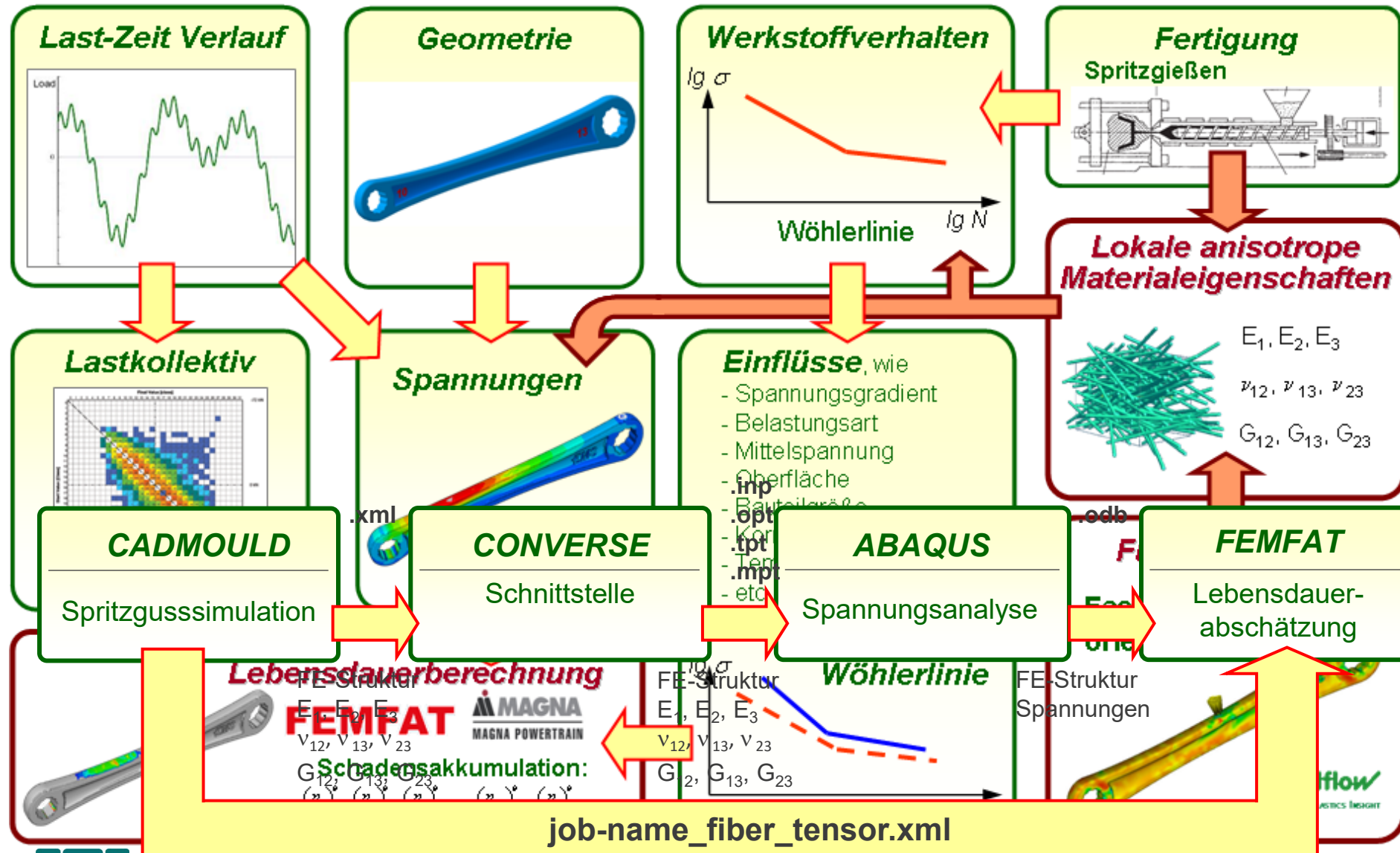
Realer Serienprozess und virtuelles Optimum

Einstellparameter	Einheit	Optimum Simulation	Magna 62 Tage
Vorlauftemperatur	°C	131	130
Heißkanaltemperatur	°C	300	300
Staudruck	bar	-	80
Einspritzrate	cm ³ s ⁻¹	27	30,4
Nachdruck	bar	800	800
Nachdruckzeit	s	6.0	6.0
Restkühlzeit	s	6.0	7.0

Qualitätsergebnis	Ziel	Vorhersage	Messung
Zykluszeit [s]	Min	16.92	18.06
D ₁ +/- 3s [mm]	83.750	83.754	83.8190 +/- 0.040
D ₂ +/- 3s [mm]	83.750	83.746	83.802 +/- 0.040
Bauteilgewicht [g]	-	21.865	20.466 +/- 0.034

Quelle: simcon kunststofftechnische Software GmbH, Dr. Gierth Ingenieurgesellschaft mbH, Aachen

Integrative Simulation für die Lebensdauerabschätzung

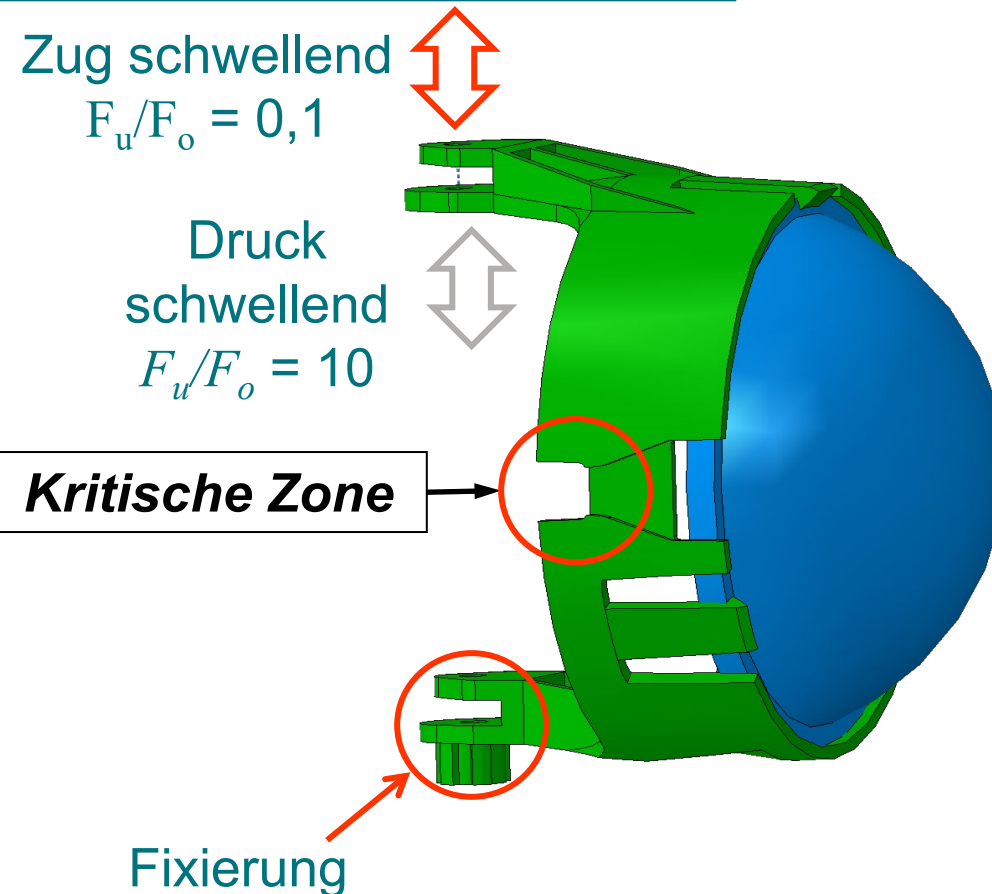


Quelle: W. Eichseder, C. Guster, Primetzhofer, Lehrstuhl für allgemeinen Maschinenbau, MUL

Anwendungsbeispiel Lampenhalter – Vergleich Simulation/Bauteiltest



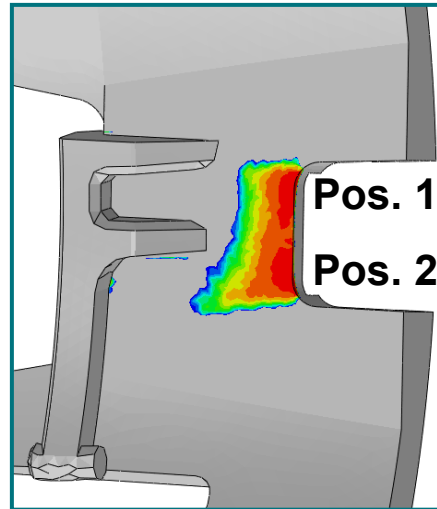
Randbedingungen und definierte Lastfälle



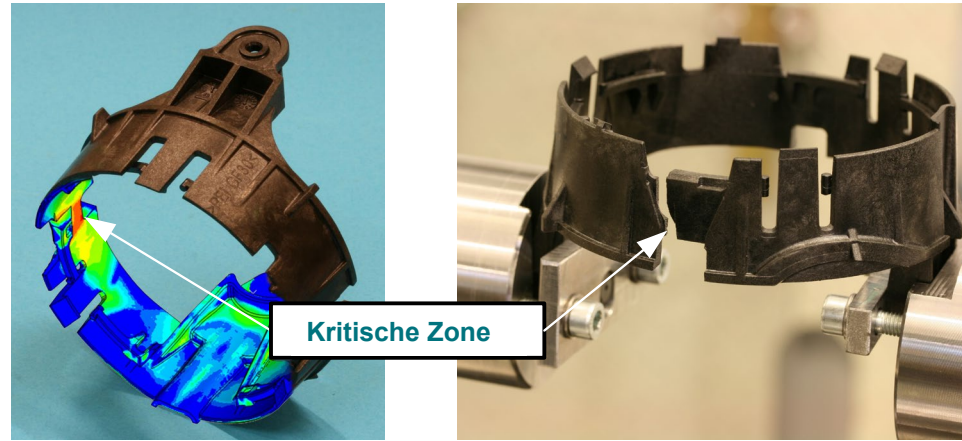
Quelle: A. Mösenbacher, Cornet Advanced PartSim, Lehrstuhl für Allgemeinen Maschinenbau, 2013

Lebensdauervorhersage – Vergleich Simulation-Bauteiltest

Simulation

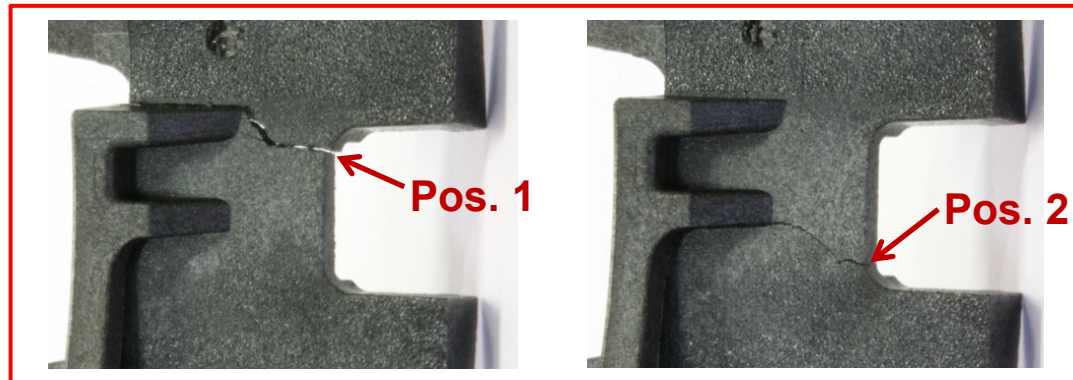


Vergleich Simulation - Bauteiltest

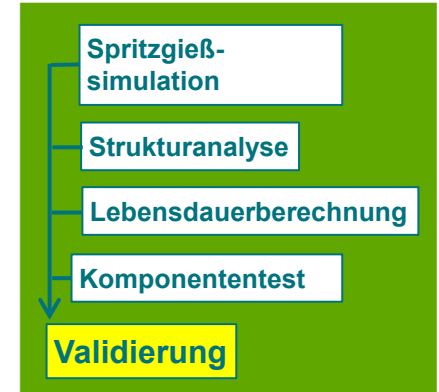


Kritische Zonen korrespondieren

Bauteil-Test



80% Versagen in Pos. 1 und 20% in Pos. 2



Berechnungsergebnis

Fa = 20 N

Pos. 1: N = 120 000 Zyklen

Pos. 2: N = 56 000 Zyklen

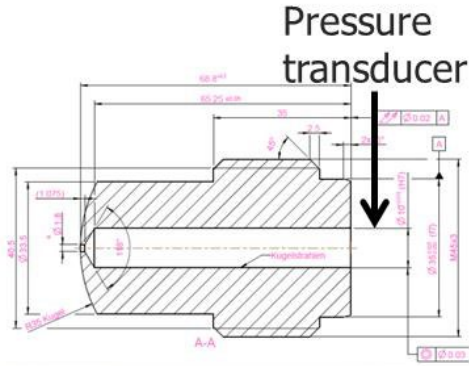
Quelle: A. Mösenbacher, Cornet Advanced PartSim, Lehrstuhl für Allgemeinen Maschinenbau, 2013



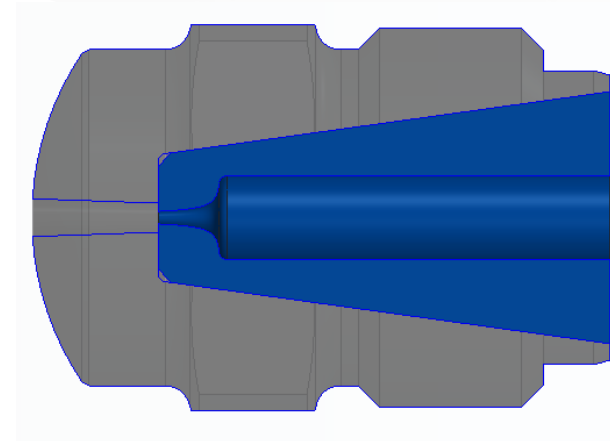
Viskoelastische Materialmodelle - Vergleich von Experimente und Simulation

Viskoelastizität – Experimente an der Spritzgießmaschine

Einspritzdruck-Messung von 10 unterschiedlichen Düsengeometrien mit PP-PNC:

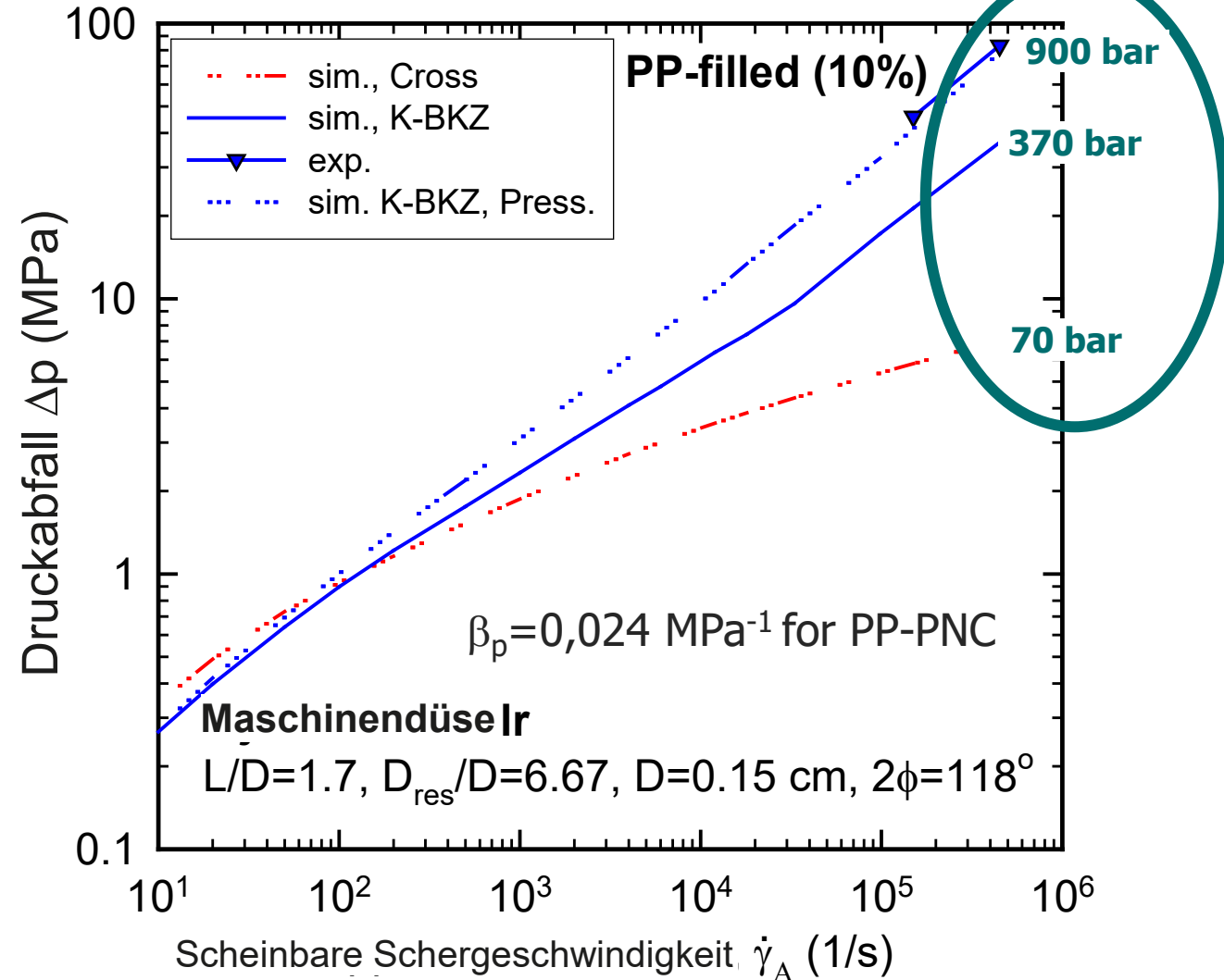
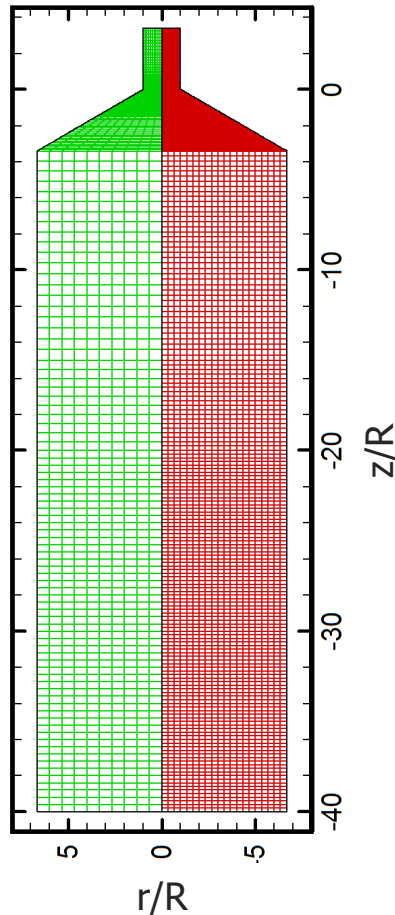


5 konische und 5 hyperbolische Einlaufgeometrien:



Viskoelastizität - Vergleich von gemessenem und simuliertem Einspritzdruck für PP-PNC und eine kurze konische Düse

Kurze konische Spritzdüse
(L/D=1.7; D = 1.5 mm)



Quelle: Mitsoulis, E, Battisti, M., Neunhäuserer, A., Perko, L., Friesenbichler, W., Flow behavior of PP-polymer nanocomposites in capillary and injection molding dies, Intern. Polymer Processing XXXII (2017) 2, p. 217 - 226

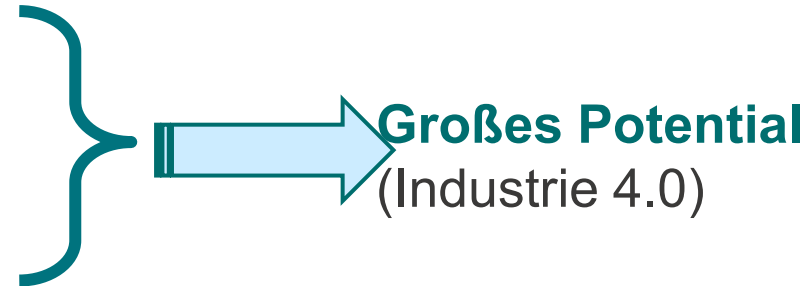


Zusammenfassung

Zusammenfassung

- ❖ **Richtiger Einsatz** von **Spritzgießsimulation** bei der Bauteilentwicklung bringt **Know-How** und **erhebliche Kostenersparnis** („**Virtuelles Prototyping**“)
- ❖ **Erhebliche Genauigkeitssteigerung** durch **druckabhängige Viskositätskennwerte** (besonders bei Dünnwand-Teilen)

- ❖ **Robuster Prozess/Arbeitsfenster**
(funktioniert für Thermoplaste, Elastomere)
- ❖ **Lebensdauerabschätzung**



- ❖ **Größte Herausforderung für die Zukunft**



Viskoelastische Berechnung des Spritzgießprozesses
(daran wird vielerorts intensiv gearbeitet!)