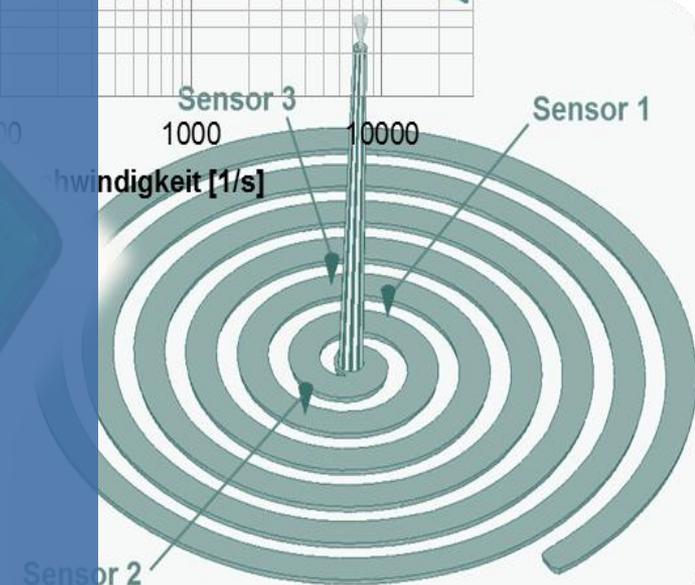
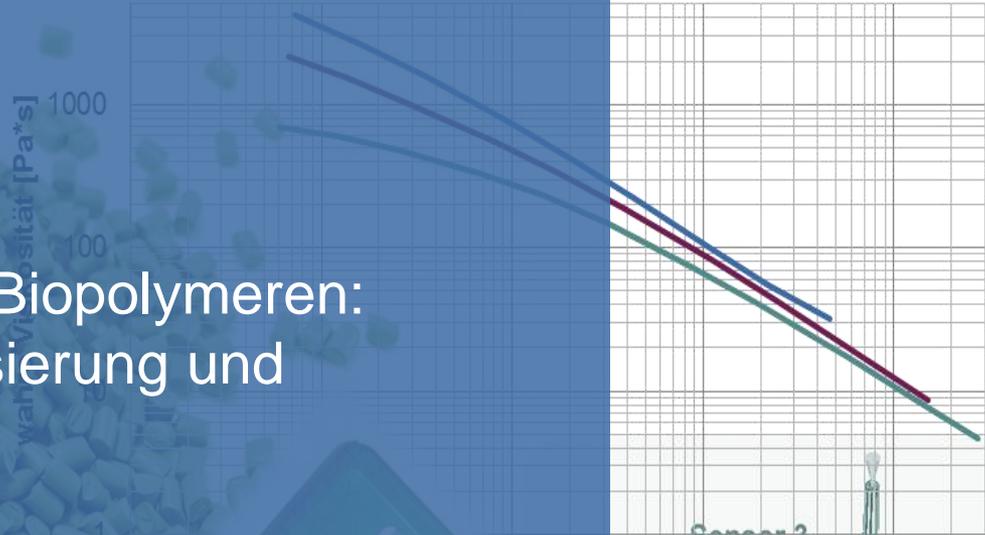


# Spritzgiessen von Biopolymeren: Materialcharakterisierung und BauteilAuslegung

Prof. Dr.-Ing. Frank Ehrig  
Rapperswil, 24. April 2012



# Inhaltsverzeichnis

- Ausgangssituation und Zielsetzung
- Materialauswahl für Voruntersuchung
- Charakterisierung im Hochdruckkapillarrheometer
- Erste Spritzgiessversuche mit einer Fliessspirale
- Simulation der Spritzgiessversuche
- Spritzgiessversuche mit einem dünnwandigen Bauteil
- Fazit und Ausblick

# Zeitliche Entwicklung der Themenstellung

- Bedürfnisabklärung bei den Unternehmen im Bereich Biopolymere im Anschluss an das erste Biopolymerseminar
- Bildung von Fokusgruppen zu gewünschten Schwerpunkten unter anderem zum Thema Spritzgiessen von Biopolymeren
- Erarbeitung eines gemeinsamen Themas innerhalb der Fokusgruppe
- Einreichung eines ersten Projektpapiers beim Kanton St. Gallen – keine Erfolgsaussichten
- Einreichung eines KTI-Gesuchs im Rahmen der «Starker Franken»-Initiative Ende 2011 – nicht behandelt
- Einreichung eines KTI-Gesuchs im Normalverfahren voraussichtlich im Mai 2012
- Erste Voruntersuchungen am IWK in 2012



# Ausgangssituation und Zielsetzung

- Die Nachfrage nach Biopolymeren für Anwendungen in unterschiedlichen Branchen wächst.
- In der Literatur wird daher dem Aufbau der Werkstoffe, deren Eigenschaften und Einteilung eine grosse Bedeutung geschenkt, was zu einer zunehmenden Transparenz des Marktangebots führt.
- Allerdings helfen die Informationen auf Grund der Vielfalt im Hinblick auf die Verarbeitungsparameter und Einfluss auf die Bauteileigenschaften nur wenig.
- Hier macht jede Unternehmung eigene Spritzgiessversuche, mit den Werkstoffen, die von den Rohstoffherstellern empfohlen werden, um internes Know-how aufzubauen. Dies ist ein zeitraubender und kostenintensiver Prozess.
- Allgemeines Ziel des IWK ist es, Know-how in der Verarbeitung, insbesondere Spritzgiessen, von Biopolymeren zu erarbeiten
- Ziel des geplanten KTI-Projektes ist der Know-how-Aufbau für die Projektpartner und ihre jeweiligen Anwendungen.

# Materialauswahl für Voruntersuchungen

- Start der Untersuchungen mit einer gewissen Bandbreite an unterschiedlichen Biopolymeren ohne spezielle Anwendungen im Fokus
- Polylactid PLA – 3 Typen
  - Ohne Verarbeitungshilfsmittel
  - Mit Verarbeitungshilfsmittel selbst gemischt
  - Kommerzielles Produkt
- Polybutylensuccinat PBS – 2 Typen
  - Mit und ohne Schlagzähmodifizierer und unterschiedlichem biobasierten Kohlenstoffanteil
- Cellulosederivate – 2 Typen
  - Celluloseacetobutyrat (CAB)
  - Cellulosepropionat (CP)

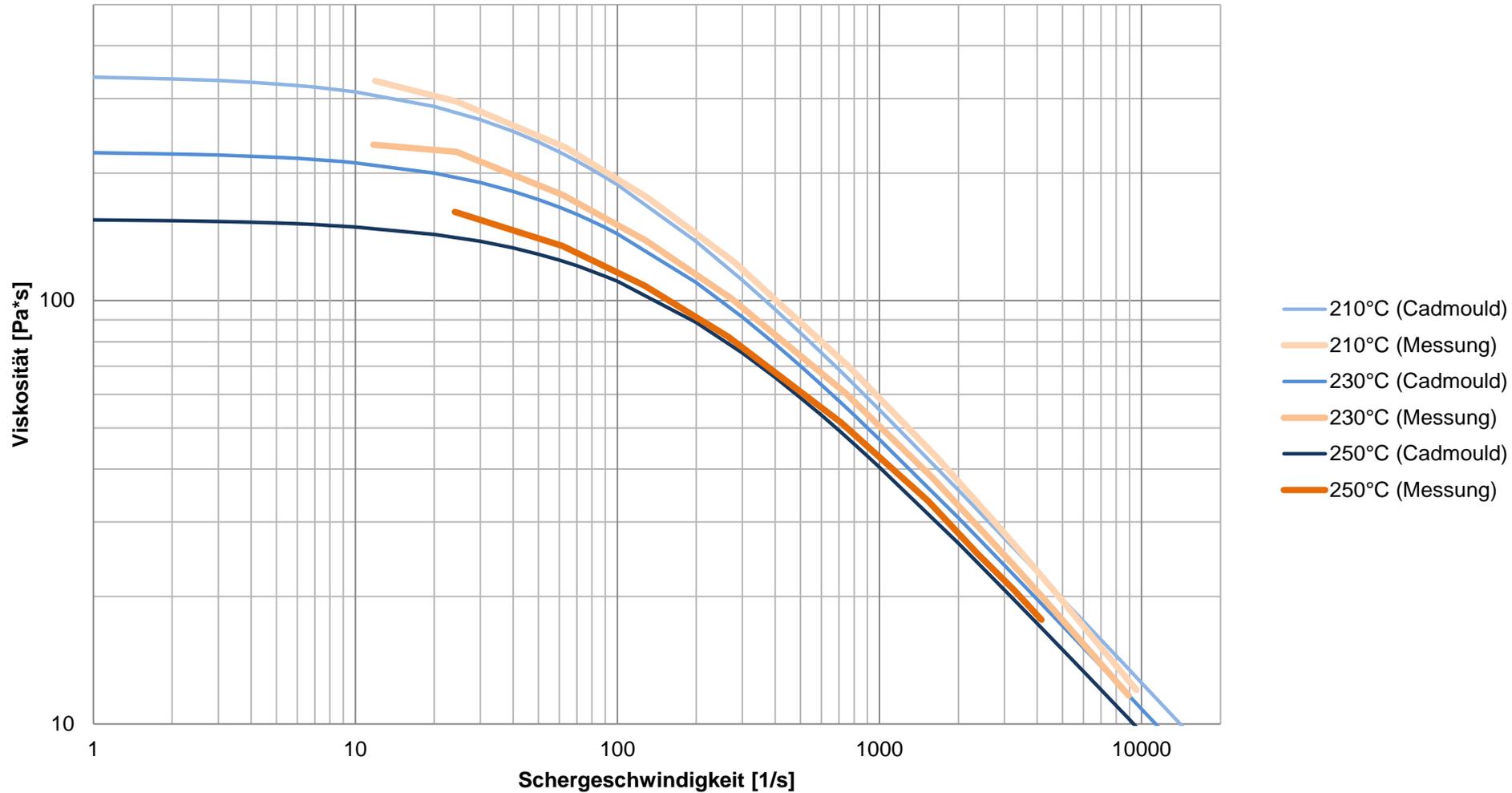
# Materialcharakterisierung

- Erarbeitung eines besseren Materialverständnisses durch Viskositätsbestimmung im Hochdruckkapillarrheometer
- **Messgerät: Göttfert Rheotester 2000**
  - Einkanal-Kapillarrheometer Ø15mm
  - Kapillaren: L/D 5, L/D 20
  - Aufschmelzzeit: 600 s
  - Messung bei drei Verarbeitungstemperaturen
  - Stempelgeschwindigkeiten: 0.0032 – 6.4 mm/s
  - Je nach Material noch leicht angepasst
- Referenzmessung: PP, Borealis, RJ370MO



# Referenz: Vergleich Datenbank Cadmould vs. Messungen

## Polypropylen RJ370MO

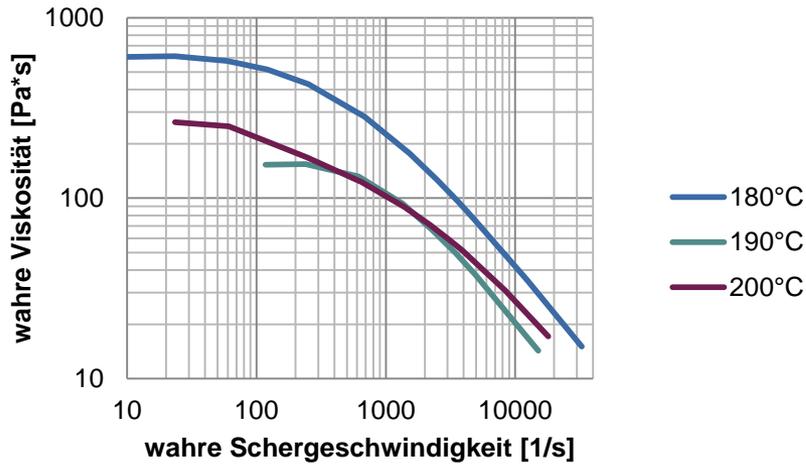


# Zusammenfassung PLA

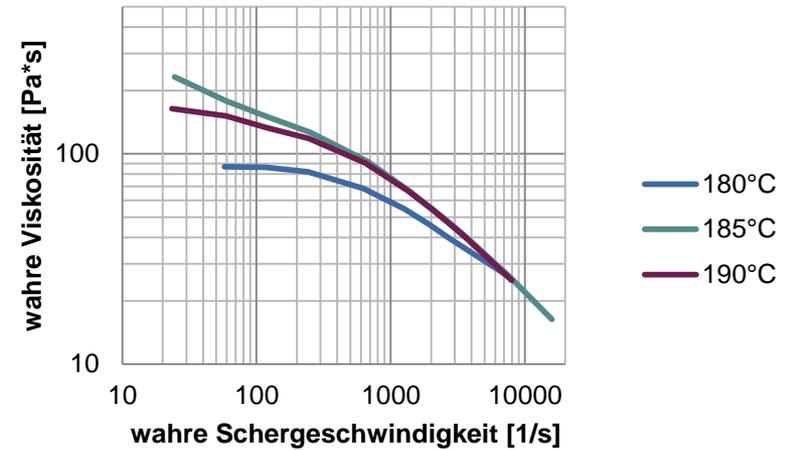
- PLA schwierig messbar, da Gemenge - keine Durchmischung im Rheometer
- Keine reproduzierbaren Werte messbar
- Polymer total flüssig bei 200°C → Degressive Abnahme der Viskosität bei steigender Schergeschwindigkeit
- Granulat nach Compoundierung «ölig» und nass: evtl. Ausscheidung eines Additivs
- Verfärbung des compoundierten Granulats durch Trocknung bei 60°C
- Viskositätsmessung auch nach Compoundierung schwierig



# Zusammenfassung PLA

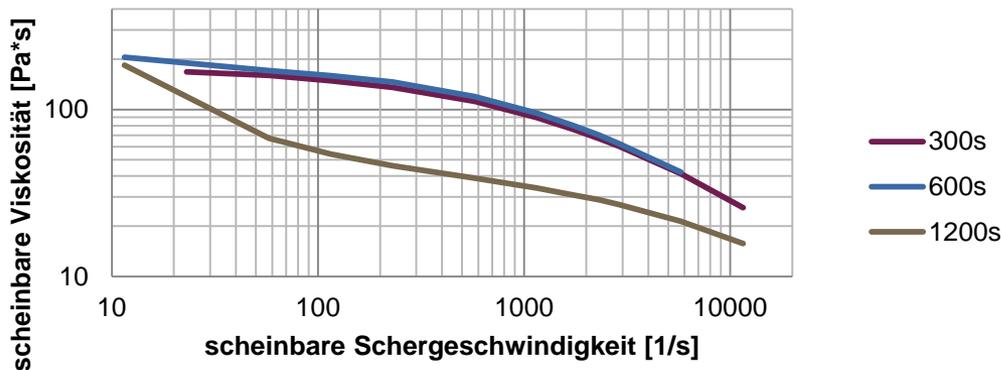


PLA natural



PLA mit Additiven

## Aufschmelzzeit bei 200°C

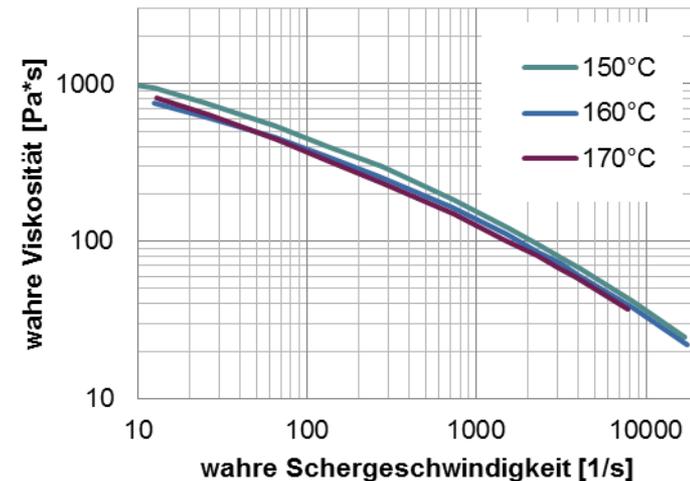


PLA natural

- Bei 190°C fast kein Einfluss
- Bei 200°C starke Viskositätsabnahme

# Zusammenfassung PBS

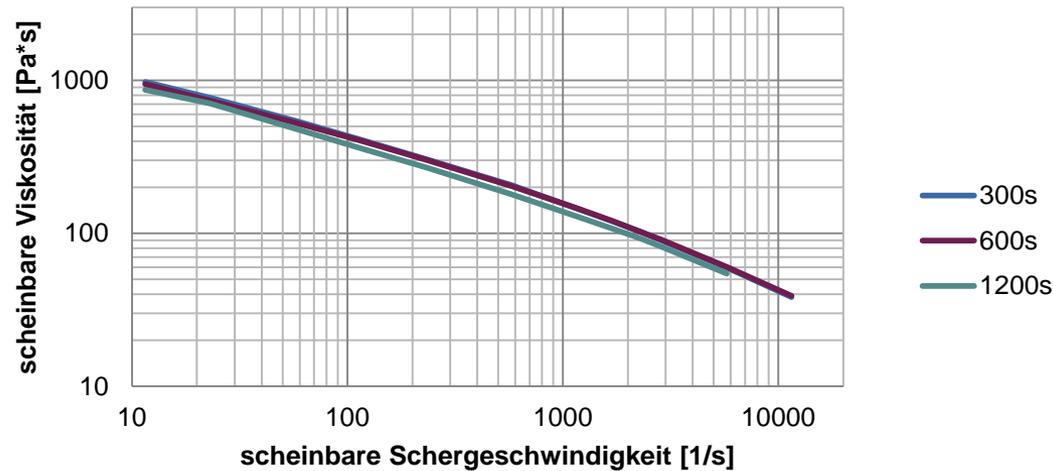
- PBS-Biopolymer klebt stark
- Stick-Slip-Effekt bei höheren Schergeschwindigkeiten ab  $10'000 \text{ s}^{-1}$
- Viskosität gut messbar
- Nahezu keine Temperaturabhängigkeit der Viskosität  
(hat sich später in der geringen Beeinflussbarkeit des Spritzgiessprozesses wiedergespiegelt)



# Zusammenfassung PBS

- Nahezu kein Effekt durch verlängerte Aufschmelzzeiten

## Aufschmelzzeit bei 170°C



# Zusammenfassung Cellulosederivate

- Viskositätsmessungen grundsätzlich gut durchführbar
- Steigende Rauchentwicklung bei steigender Schergeschwindigkeit/Druck
- Am oberen Ende des Verarbeitungsfensters (230°C) Verfärbung des Materials
- Am untern Ende des Verarbeitungsfensters (180/190°C) hoher Druckanstieg mit Lufteinschlüssen bei niedrigen und Stick-Slip-Effekten bei hohen Schergeschwindigkeiten.



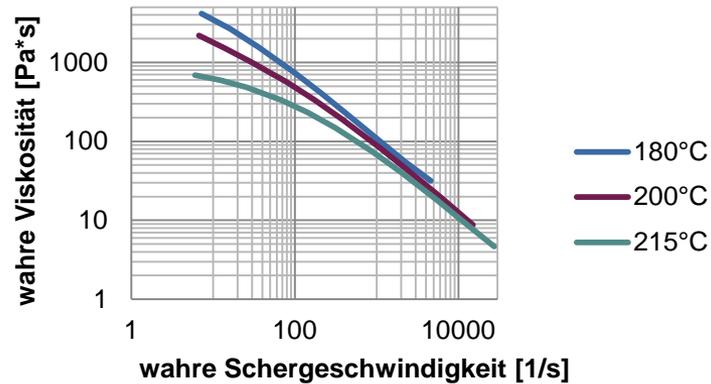
Lufteinschlüsse



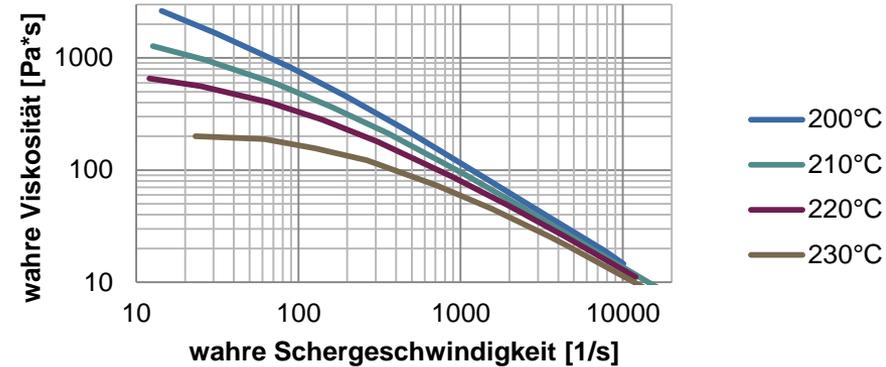
Stick-Slip-Effekt

# Zusammenfassung Cellulosederivate

- Messung ergab sinnvolle Viskositätskurven



CAB

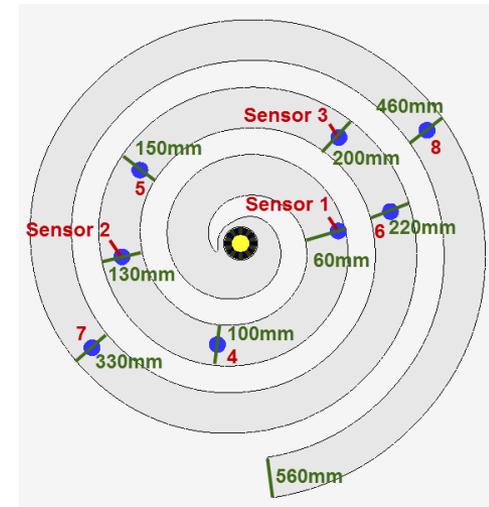
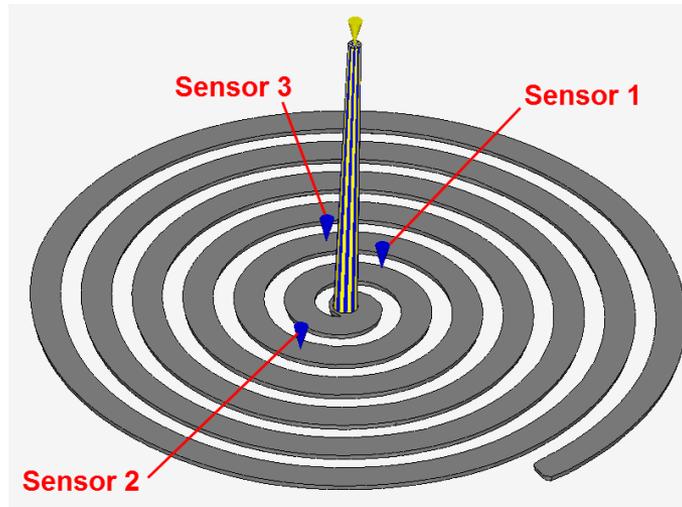


CP

- Nahezu kein Effekt durch verlängerte Aufschmelzzeiten

# Spritzgiessversuche mit dem Fliessspiralwerkzeug

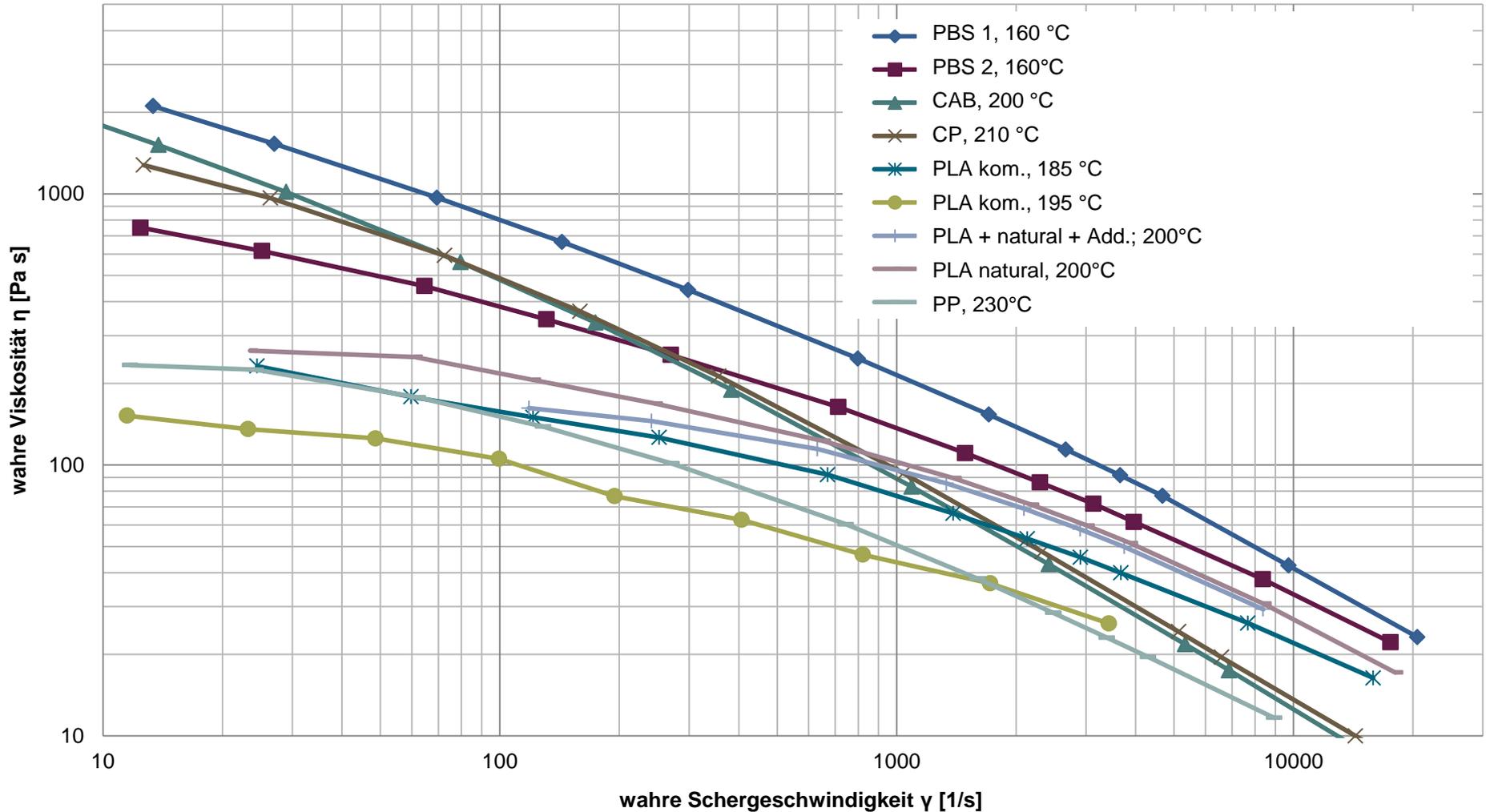
- Fliessspiralwerkzeug: Stangenanguss, Wanddicke 1,5 mm; drei Drucksensoren bei 60 mm, 130 mm und 200 mm Fließweg



Definitionen der Sensoren und Darstellung Fließweglängen

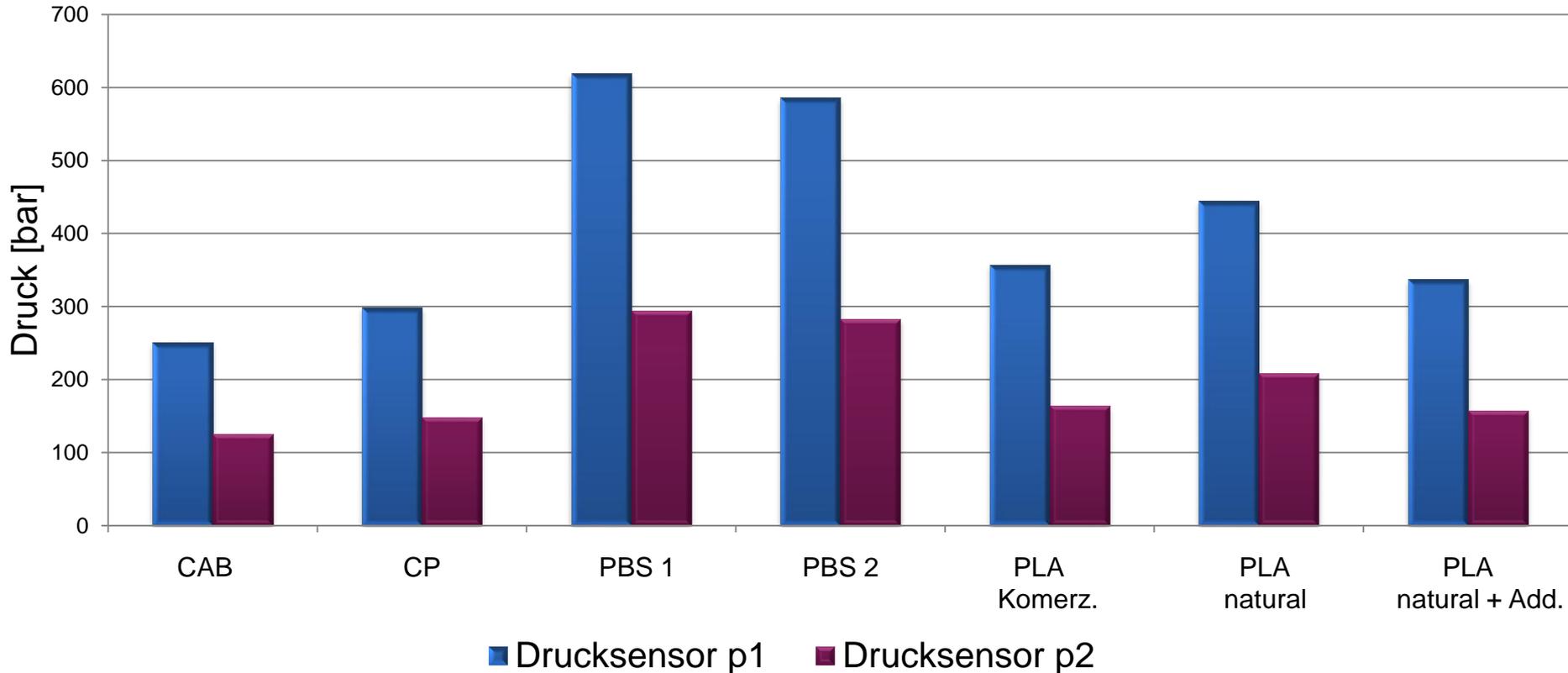
- Damit ein möglichst guter Vergleich zwischen Realität und Simulation erstellt werden kann, werden folgende Prozesse an der SG-Maschine festgelegt.
  - Volumenstrom wird konstant vorgegeben
  - Definierte Füllung, wobei der Zylinder auf Anschlag fährt (6, 9 und 12 cm<sup>3</sup>)

# Vergleich der Viskositätskurven der Biopolymere

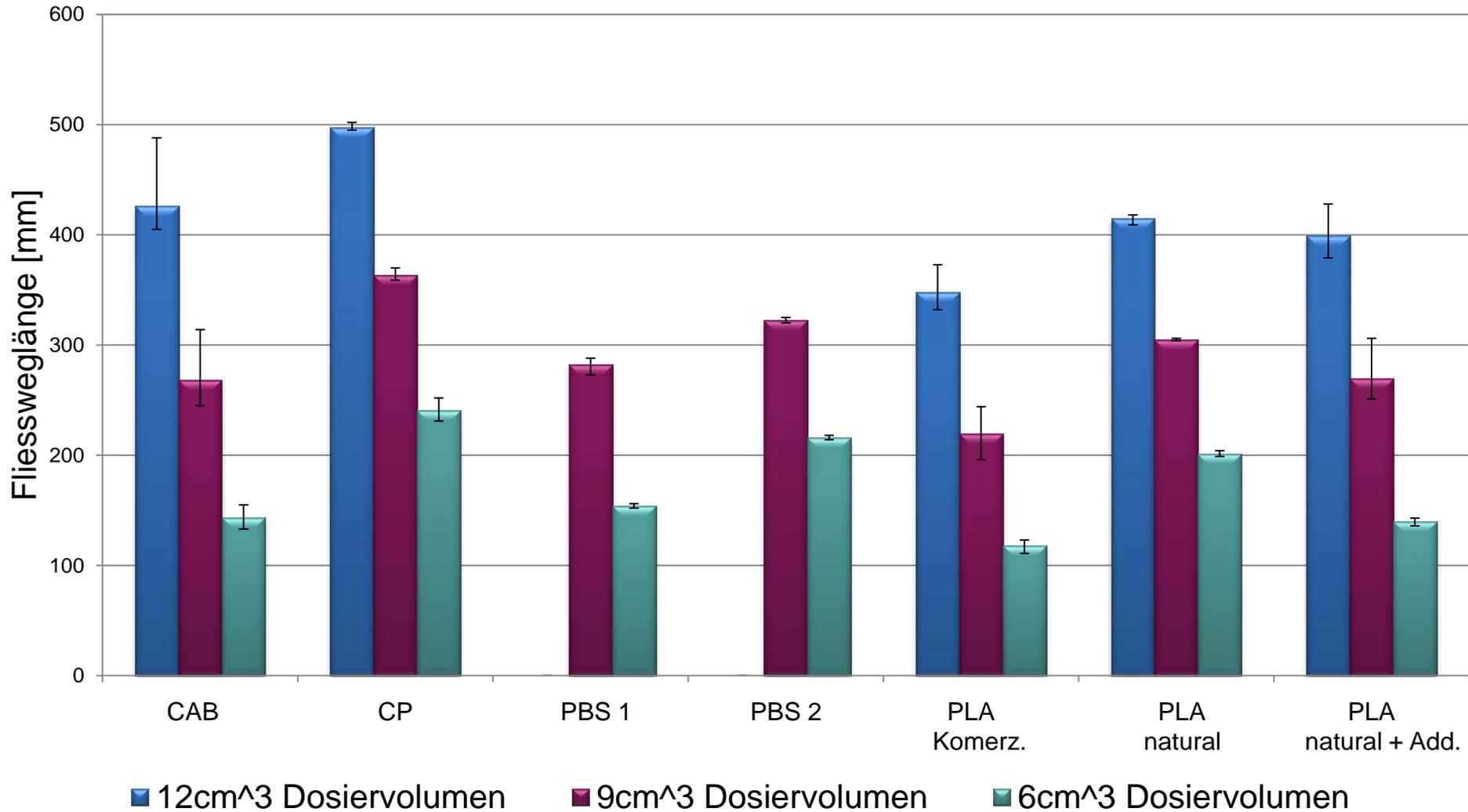


# Vergleich der Druckwerte bei den verschiedenen Biopolymeren

- Vergleich der Druckniveaus bei den Sensoren 1 und 2, wenn die Schmelze den Drucksensor 3 erreicht hat (Referenzdruck 20 bar) .

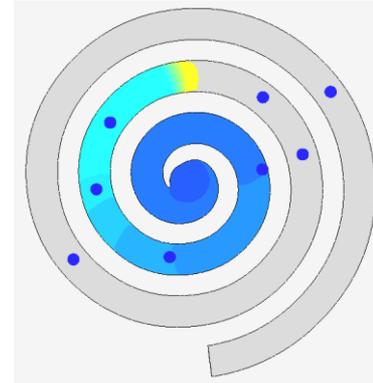


# Vergleich der Fließweglängen der Biopolymere

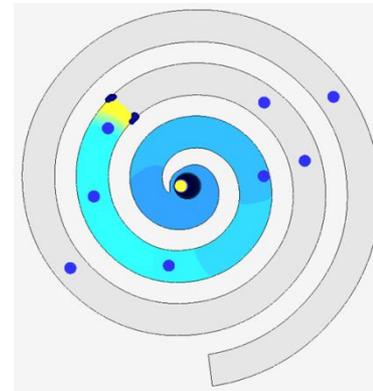


# Simulation der Spritzgiessversuche Fließspirale

- Viskositätsmessungen haben gewisse Probleme und Anomalien aufgezeigt.
- Die Temperaturleitfähigkeit vom Kunststoff ist folgend definiert:  $a_{eff} = \frac{\lambda}{c_p * \rho}$ . Jedoch sind die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ , die Wärmekapazität  $c_p$  und die Dichte  $\rho$  bei jedem analysiertem Material nicht explizit bekannt
- Variantenrechnungen für PBS mit verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten ( $c_p$  und  $\rho$  konstant)
- Ebenfalls sind die Fließgrenztemperaturen nicht bekannt.



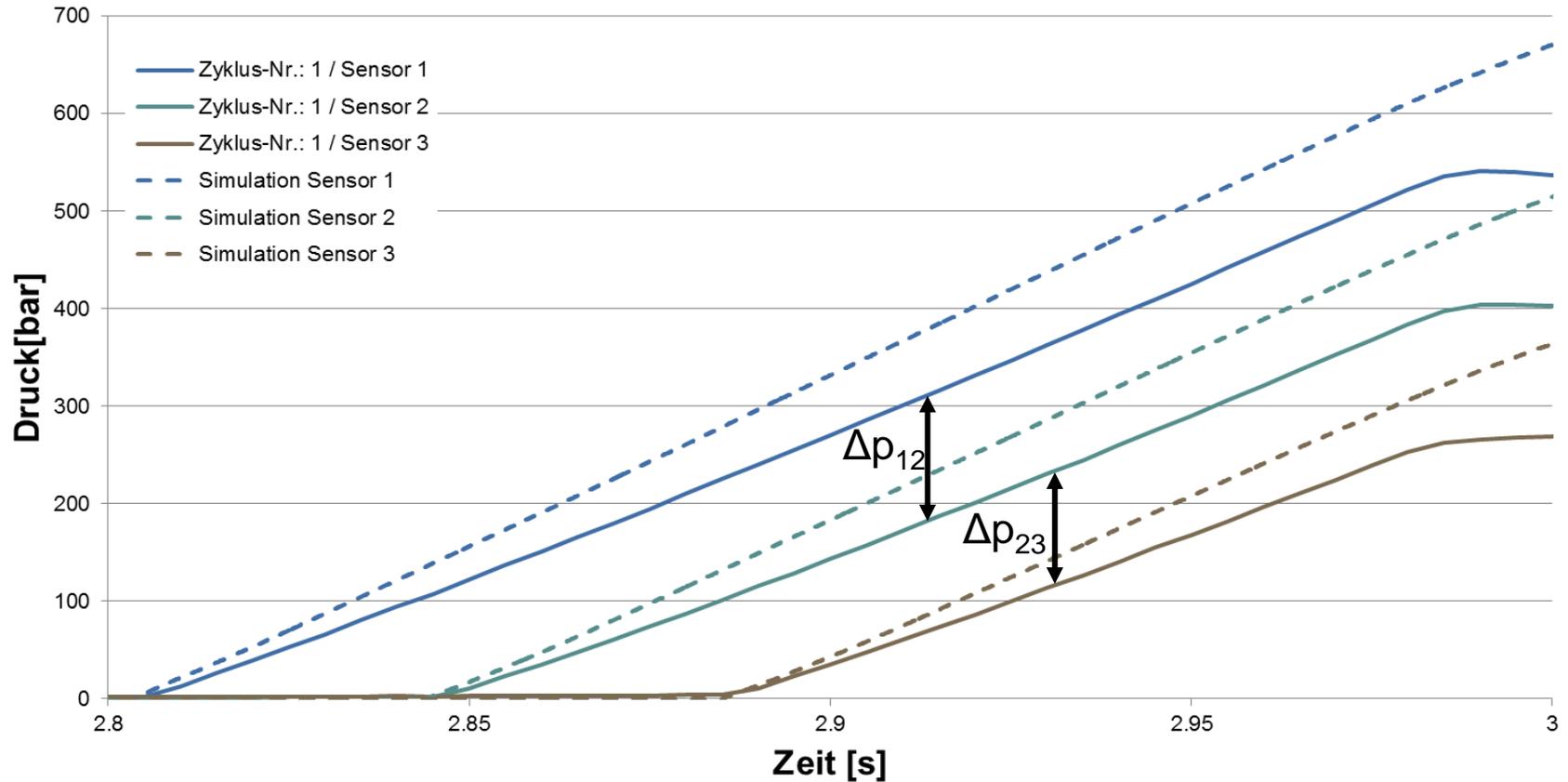
Variante 1: mit  $\lambda = 0.15$   
"Fließweg"  $\approx 180$  mm



Variante 2: mit  $\lambda = 0.25$   
"Fließweg"  $\approx 158$  mm

# Druckverläufe an den verschiedenen Drucksensoren

## ■ Druckverlauf Experiment und Simulation für CAB



# Druckdifferenz und Fließweg bei definiertem Einspritzdruck

## ■ Fließweg bei 12 cm<sup>3</sup> Dosiervolumen:

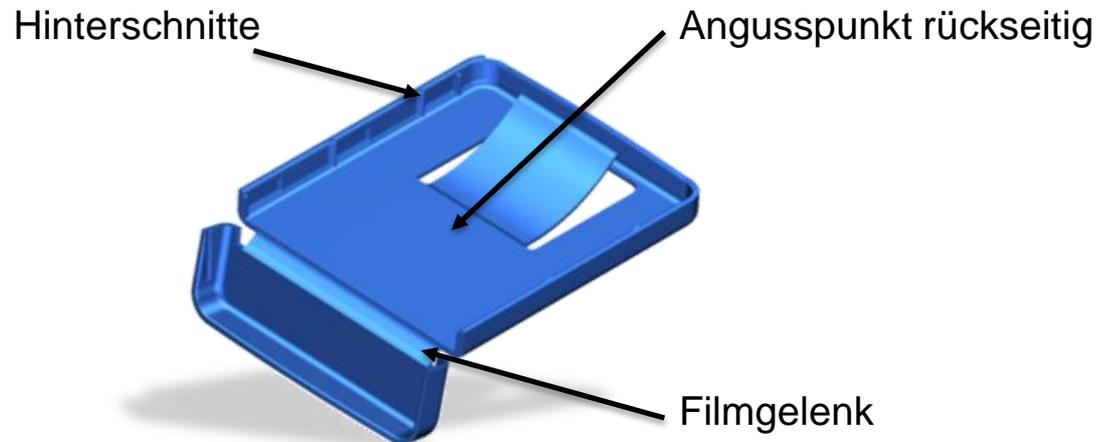
Realität	Simulation
Fließweg beträgt im Mittel 426mm. Der maximale Einspritzdruck beträgt dabei im Mittel 975bar (abzüglich der Düse).	Der Fließweg bei einem Druck von 975bar beträgt 460mm. Dies entspricht einer Abweichung von 8%)

## ■ Druckdifferenz der Sensoren bei einem Einspritzdruck von 975bar

Realität	Simulation
Zwischen Sensor 1 und 2: 136bar	Zwischen Sensor 1 und 2: 157bar Dies entspricht einer Abweichung von 15%
Zwischen Sensor 2 und 3: 136bar	Zwischen Sensor 2 und 3: 152bar Dies entspricht einer Abweichung von 12%
Zwischen Sensor 1 und 3: 273bar	Zwischen Sensor 1 und 3: 310bar Dies entspricht einer Abweichung von 12%

# Spritzgiessversuche mit Demoteil

- Für weitere Spritzgiessversuche Auswahl des Demoteils Visitenkartenunterteil
- Offene Heisskanaldüse, Wanddicke 1,5 mm



- Erste Spritzgiessversuche mit den drei PLA und dem PBS

# Ergebnisse der Spritzgiessversuche mit PLA

- Werkzeug lässt sich problemlos gut füllen. Die Modifikation des Grundpolymers verbessert die Fließfähigkeit
- Brüche bei der Entformung der Hinterschnitte; Erhöhung der Werkzeugtemperatur oder Verkürzung der Kühlzeit brachte keine Verbesserung
- Simulation einer Unterbrechung von 10 min
  - Viskosität nimmt stark ab
  - Teile zerspringen
  - Nach Spülung des Plastifizieraggregats Ergebnisse wie vorher



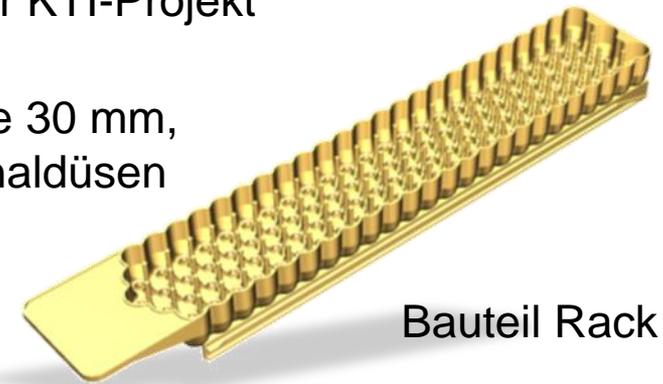
# Ergebnisse der Spritzgiessversuche mit PBS

- Das PBS wurde ausgewählt, weil es eins der zähesten Materialien aus den Vorversuchen war.
- Visitenkartenunterteil konnte spritzgegossen und auch problemlos entformt werden.
- Auswerfer zeichnen sich ab und konnten auch durch entsprechende Massnahmen nicht reduziert werden.
- Simulation einer Unterbrechung von 10 min führte zu keinen Problemen



# Fazit und Ausblick

- Rücksprache mit den jeweiligen Rohstoffherstellern
- Simulation des Spritzgiessprozesses Visitenkartenunterteil
- Aufbau von Know-how am IWK, Vorarbeiten für KTI-Projekt
- Weitere Versuche mit dem Bauteil Rack: Länge 30 mm, Wanddicke 1mm, Heisskanal mit drei Heisskanaldüsen



Bauteil Rack

- Übertragung der Erkenntnisse auf komplexere Heisskanalwerkzeuge
- Einfluss von Verarbeitungsparametern auf Bauteileigenschaften

# Dank den Mitarbeitern

- Silvan Walker, Viskositätsmessungen



- Manuel Peter, rheologische Berechnungen



- Micha Loibl, Spritzgiessversuche



# Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit ...

