



Institut für  
Kunststoffverarbeitung

Montanuniversität  
Leoben



## Spritzgusssimulation – Stand der Technik 2010

Dr. Thomas Lucyshyn

4a Technologietag – 11.03.2010

Franz-Josef-Straße 18, A-8700 Leoben  
thomas.lucyshyn@unileoben.ac.at

Tel.: +43 3842 402 3510  
<http://ikv.unileoben.ac.at>

## Inhalt

- Software-Markt 2010
- Aktuelle Entwicklungen
  - Modellierung von Kristallisation
  - Powder Injection Moulding (PIM)
  - Entformungsvorgänge
- Zukünftige Herausforderungen
- Zusammenfassung



## Inhalt

- Software-Markt 2010
- Aktuelle Entwicklungen
  - Modellierung von Kristallisation
  - Powder Injection Moulding (PIM)
  - Entformungsvorgänge
- Zukünftige Herausforderungen
- Zusammenfassung



## Software-Markt 2010

- Zur Zeit 5 große kommerzielle Software-Pakete am Markt:
  - Autodesk Moldflow Insight (Autodesk Inc., USA)
  - Cadmould (simcon kunststofftechnische Software GmbH, D)
  - Moldex3D (CoreTech System Co., Ltd., Taiwan)
  - SIGMASOFT (SIGMA Engineering GmbH, D)
  - Simpoe-Mold (SIMPOE SAS, F)



## Software-Markt 2010

- Autodesk Moldflow Insight (Autodesk Inc., USA)
- Moldflow 2008 von Autodesk gekauft
- Sowohl 2,5D als auch 3D Modelle möglich (FEM)
- Standard-Spritzguss (Füllung, Nachdruck, Kühlung, Verzug)
- Besonderheiten
  - Spritzprägen
  - Mehrkomponentenverfahren (Sandwich und Overmolding)
  - Gasinjektionsverfahren
  - MuCell
  - Reaktiver Spritzguss (Elastomere, Duroplaste)
  - Birefringence
- Umfangreiche eigene Materialdatenbank (>7000 Materialien)



[www.moldflow.com](http://www.moldflow.com)



## Software-Markt 2010

- Cadmould (simcon kunststofftechnische Software GmbH, D)
- Spin-off des IKV Aachen (1988)
- Patentiertes 3D-Fachwerkmodell (3D-F) – ist aber 2,5D (FEM)
- Sehr gut geeignet für klassische Kunststoffteile, aber nicht für „echte“ 3D-Teile
- Standard-Spritzguss (Füllung, Nachdruck, Kühlung, Verzug)
- Besonderheiten
  - Mehrkomponentenverfahren (Overmolding)
  - Reaktiver Spritzguss (Elastomere)
- Eigene Materialdaten auf Basis von CAMPUS-Daten erweiterbar



[www.simcon-worldwide.com](http://www.simcon-worldwide.com)



## Software-Markt 2010

- Moldex3D (CoreTech System Co., Ltd., Taiwan)



- Spin off von National Tsing Hua University in Taiwan (1995)
- 2,5D und 3D Modelle mit unterschiedlichen Elementtypen (FVM)
- Standard-Spritzguss (Füllung, Nachdruck, Kühlung, Verzug)
- Besonderheiten
  - Mehrkomponentenverfahren (Sandwich und Overmolding)
  - Gas- und Wasserinjektionsverfahren
  - Reaktiver Spritzguss (Elastomere, Duroplaste)
  - Birefringence
  - Variotherm-Verfahren
  - Viskoelastizität berücksichtigbar
- Eigene Materialdatenbank durch Internet-Datenbanken erweiterbar

[www.moldex3d.com](http://www.moldex3d.com)



## Software-Markt 2010

- SIGMASOFT (SIGMA Engineering GmbH, D)



- 1998 als Tochter von Magma (Gießereisoftware) gegründet
- Ausschließlich 3D Modelle (gesamtes Werkzeug)
- Standard-Spritzguss (Füllung, Nachdruck, Kühlung, Verzug)
- Besonderheiten
  - Mehrkomponentenverfahren (Overmolding)
  - Reaktiver Spritzguss (Elastomere, Duroplaste)
  - Powder Injection Moulding
  - Instationäre thermische Berechnungen des gesamten Werkzeugs (inkl. Heißkanal, ev. Heizpatronen, etc.)
  - Berücksichtigung von Kristallisationseffekten (pVT-Daten)
  - Entformungskräfte
- Eigene Materialdatenbank und Verlinkung mit CAMPUS

[www.sigmasoft.de](http://www.sigmasoft.de)



## Software-Markt 2010

- Simpoe-Mold (SIMPOE SAS, F)
  - 2004 gegründet (u.a. ehemaliger Mitentwickler von Moldex3D)
  - 2,5D und 3D Modelle
  - Standard-Spritzguss (Füllung, Nachdruck, Kühlung, Verzug)
  - Besonderheiten
    - Mehrkomponentenverfahren (Overmolding)
    - Gasinjektionsverfahren
  - Eigene Materialdatenbank, erweiterbar



[www.simpoe.com](http://www.simpoe.com)

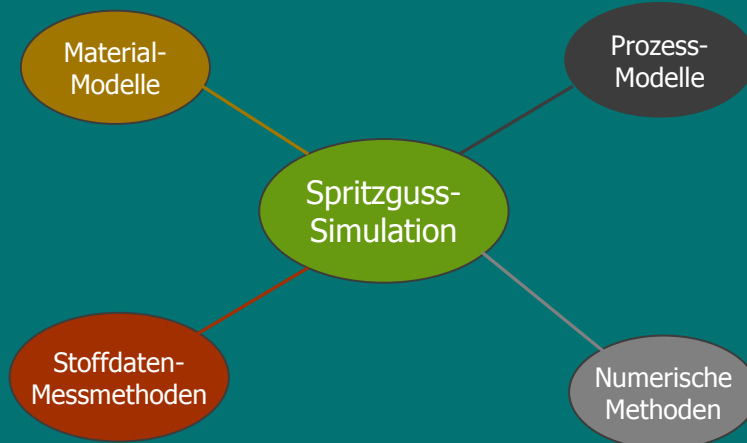


## Inhalt

- Software-Markt 2010
- Aktuelle Entwicklungen
  - Modellierung von Kristallisation
  - Powder Injection Moulding (PIM)
  - Entformungsvorgänge
- Zukünftige Herausforderungen
- Zusammenfassung



## Aktuelle Entwicklungen



## Inhalt

- Software-Markt 2010
- Aktuelle Entwicklungen
  - Modellierung von Kristallisation
  - Powder Injection Moulding (PIM)
  - Entformungsvorgänge
- Zukünftige Herausforderungen
- Zusammenfassung



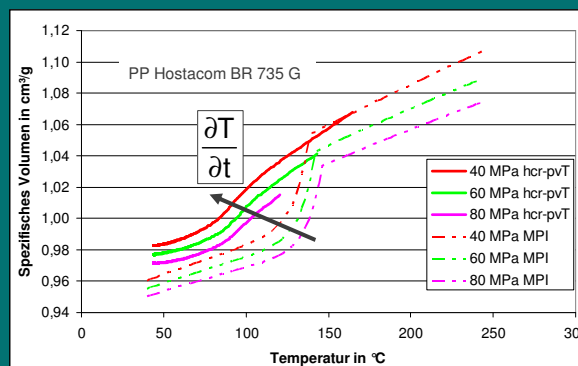
## Modellierung von Kristallisation

- Abhängigkeit der Kristallisation von:
  - Temperatur
  - Druck
  - Abkühlrate
  - Fließbedingungen (Scherströmung, Dehnströmung)
  - Molekulare Struktur der Polymere
  - Additive
  
- Auswirkung der Kristallisation auf:
  - Dichte → Schwindung und Verzug
  - Thermische Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität)
  - Viskosität
  - Mechanische Eigenschaften (E-Modul, Querkontraktionszahl)



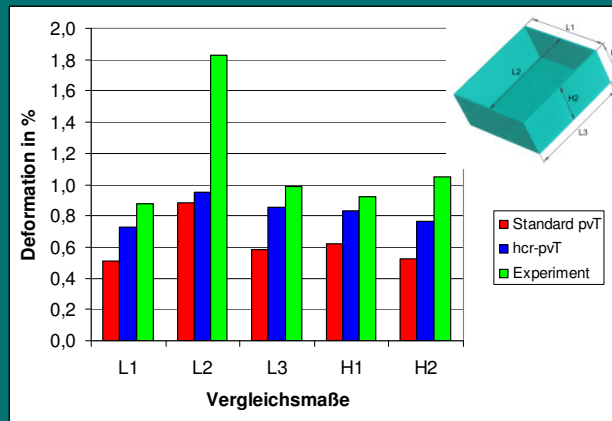
## Modellierung von Kristallisation

- Abhängigkeit der Kristallisation von:
  - Temperatur
  - Druck
  - Abkühlrate
 } Kann mit pvT-Messung sichtbar gemacht werden



## Modellierung von Kristallisation

- Berechnungsbeispiel:
  - Einfluss der pvT-Daten bei unterschiedlichen Abkühlraten auf Simulation von Schwindung und Verzug mit Moldflow

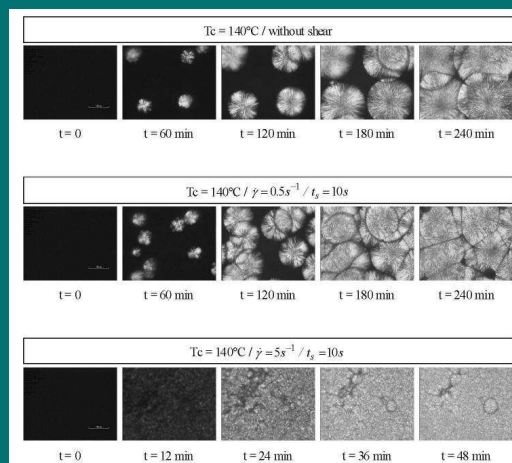


Quelle:  
Dissertation T. Lucyshyn



## Modellierung von Kristallisation

- Scherinduzierte Kristallisation – Einfluss der Scherintensität:



Ohne Scherung

$0,5 \text{ s}^{-1}$

$5 \text{ s}^{-1}$

Quelle: E. Koscher, R. Fulchiron





## Modellierung von Kristallisation

- Mathematische Modellierung der scherinduzierten Kristallisation:
  - Hoher experimenteller Aufwand (spezielle Scherapparaturen mit Mikroskopen gekoppelt)
  - Arbeitsgruppe um Prof. Janeschitz-Kriegl und Eder in Linz seit über 20 Jahren mit der Thematik befasst
  - Weltweit einige weitere Forschungsgruppen aktiv (Niederlande, Frankreich, Australien...)
  - Bisherige Ergebnisse beschränkt auf wenige Materialien (vor allem PP und PE)



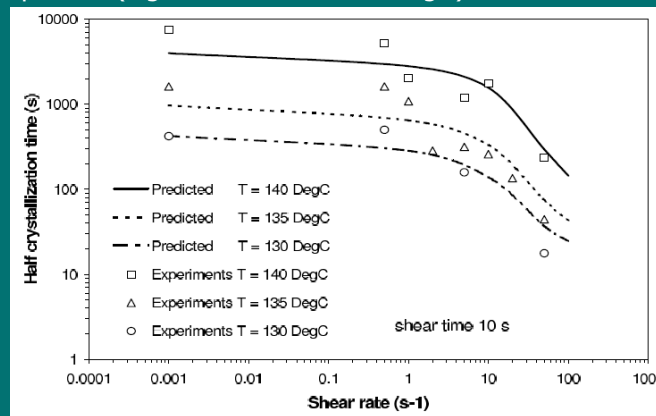
## Modellierung von Kristallisation

- Mathematische Modellierung der scherinduzierten Kristallisation:
  - Unterschiedliche Modelle zur Beschreibung dieser Phänomene in Literatur
  - Implementierung eines Modells in interner Testversion von Moldflow
    - Ergebnisse für 1 Material publiziert
    - Kristallisationskinetik qualitativ gut berechenbar
    - Absolutwerte weichen noch deutlich von Experiment ab
    - keine Ergebnisse für Schwindung und Verzug gezeigt
    - Breite Anwendung für viele Materialien nicht abschätzbar



## Modellierung von Kristallisation

- Berechnungsbeispiel:
  - Halbwertszeit der Kristallisation in Abhängigkeit der Scherrate und Temperatur (logarithmische Darstellung!!)



Quelle:  
Dissertation  
P. Kennedy



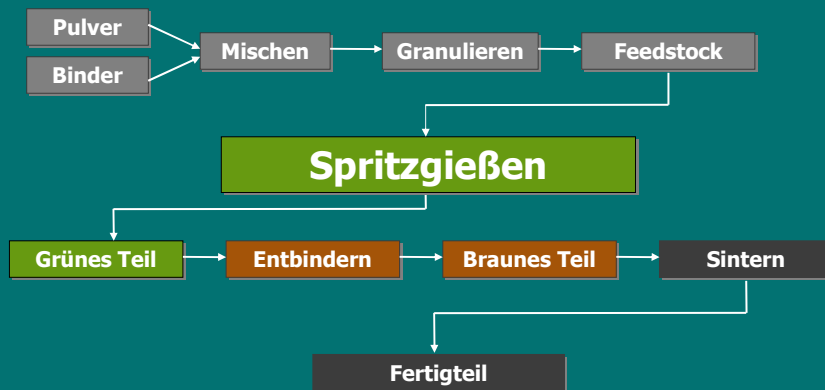
## Inhalt

- Software-Markt 2010
- Aktuelle Entwicklungen
  - Modellierung von Kristallisation
  - Powder Injection Moulding (PIM)
  - Entformungsvorgänge
- Zukünftige Herausforderungen
- Zusammenfassung



# Powder Injection Moulding

## Prozesskette für das PIM-Verfahren



# Powder Injection Moulding

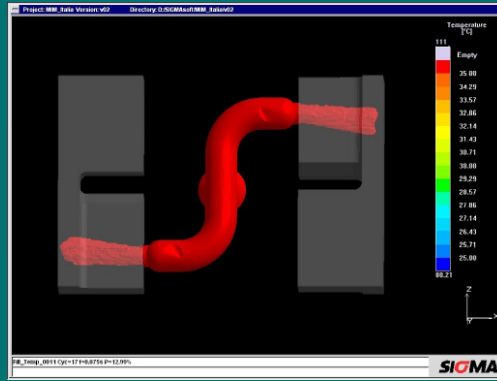
- Besonderheiten für die Simulation:
  - Hohe Dichte
  - Hohe Wärmeleitfähigkeit
  - Besonderes rheologisches Stoffverhalten
  - Freistrahlbildung
  - Entmischungsvorgänge (Binder / Pulver)



# Powder Injection Moulding



## Freistrah in 1. Hälfte



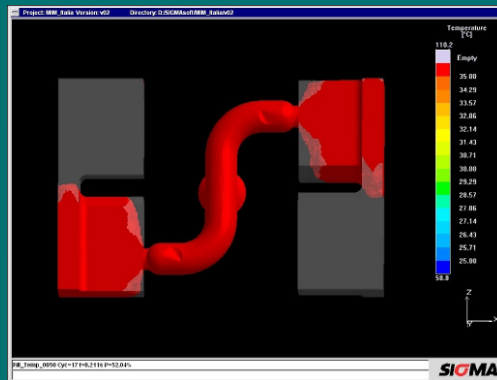
Quelle: MIMItalia, Sigma Engineering, EU-Projekt MATLAW



# Powder Injection Moulding



## Backfilling



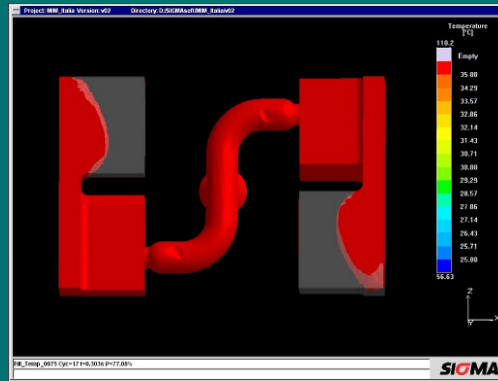
Quelle: MIMItalia, Sigma Engineering, EU-Projekt MATLAW



# Powder Injection Moulding



## Formfüllung der 2. Hälfte



Quelle: MIMItalia, Sigma Engineering, EU-Projekt MATLAW

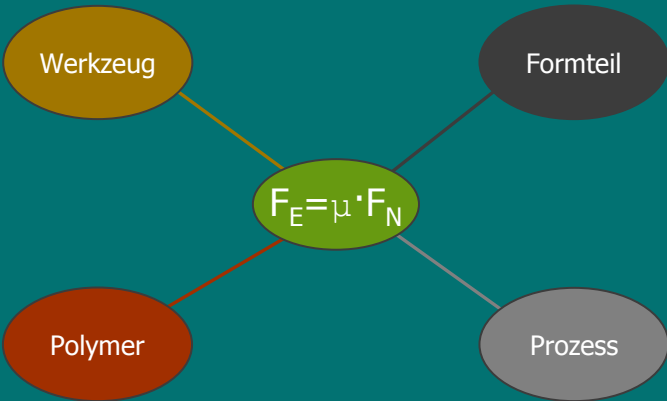


# Inhalt

- Software-Markt 2010
- Aktuelle Entwicklungen
  - Modellierung von Kristallisation
  - Powder Injection Moulding (PIM)
  - Entformungsvorgänge
- Zukünftige Herausforderungen
- Zusammenfassung

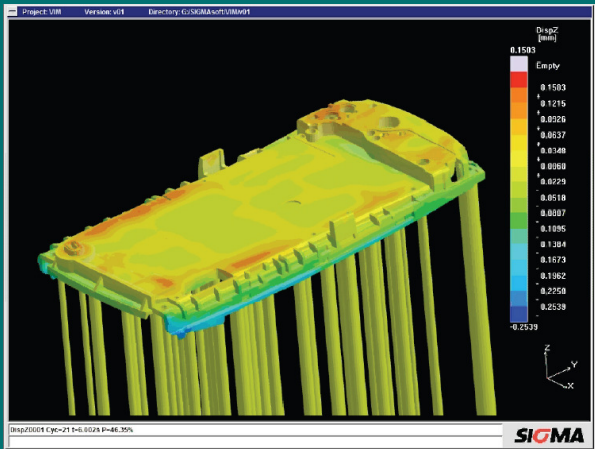


# Entformungsvorgänge



# Entformungsvorgänge

- Berechnungsbeispiel: Handygehäuse – Deformation bei Entformung

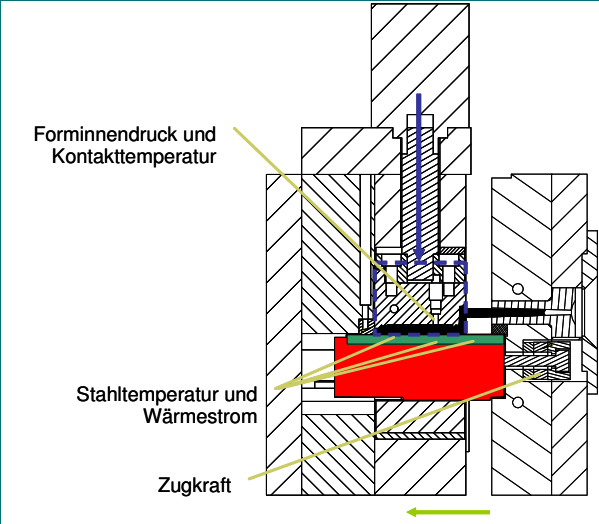


Quelle: Sigma Engineering



# Entformungsvorgänge

- Haft- und Entformungskraft-Werkzeug (Entwicklung des PCCL)

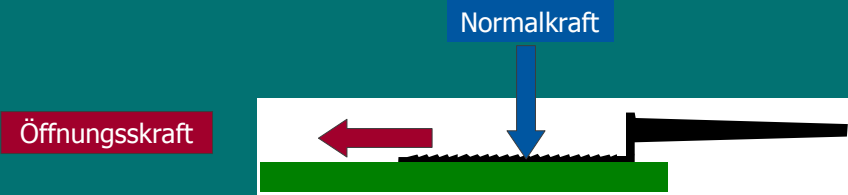


Quelle: G. Berger, PCCL



# Entformungsvorgänge

- Messprinzip des Reibungstests

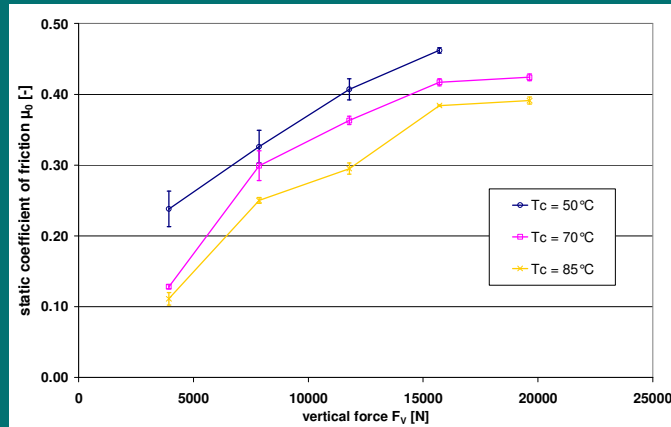


Quelle: G. Berger, PCCL



## Entformungsvorgänge

- Beispiel: Abhängigkeit des Haftreibungskoeffizienten von Werkzeugtemperatur und Normalkraft (ABS/PC und strichpolierter Stahl)



Quelle:  
G. Berger, PCCL



## Inhalt

- Software-Markt 2010
- Aktuelle Entwicklungen
  - Modellierung von Kristallisation
  - Powder Injection Moulding (PIM)
  - Entformungsvorgänge
- Zukünftige Herausforderungen
- Zusammenfassung





## Zukünftige Herausforderungen 1

- Verbesserung und Erweiterung der Modellierung der Kristallisation für weitere technisch interessante teilkristalline Polymere
- Einfluss von Additiven auf Kristallisation
- Vorhersage von Kunststoffeigenschaften auf Basis der morphologischen Modellierung
  - Anisotropie der Wärmeleitfähigkeit
  - Wärmeausdehnungskoeffizient
  - Mechanische Eigenschaften (teilkristalline und amorphe Phasen)
- Vorhersage von Lebensdauererwartung
  - Auf Basis von anisotropen mechanischen Eigenschaften (zufolge Faserorientierung bzw. Morphologieausbildung)



## Zukünftige Herausforderungen 2

- Verbesserte Stoffdatenmessung für die Simulation
  - Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von Temperatur und Druck
  - Spezifische Wärmekapazität in Abhängigkeit von Temperatur, Druck und Abkühlrate
  - Verbesserte Messmethoden für Hochtemperatur-Thermoplaste
- Verkürzung der Rechenzeiten bei steigender Anforderung an Modellierung



## Inhalt

- Software-Markt 2010
- Aktuelle Entwicklungen
  - Modellierung von Kristallisation
  - Powder Injection Moulding (PIM)
  - Entformungsvorgänge
- Zukünftige Herausforderungen
- Zusammenfassung



## Zusammenfassung 1

- Software-Markt: 5 große Anbieter mit spezifischen Vor- und Nachteilen
- Modellierung von Kristallisationsvorgängen
  - Aufwändig
  - Für wenige Polymere anwendbar
  - Qualitativ gute Ergebnisse
  - Quantitativ noch zu wenig genau
- Sonderverfahren PIM
  - Füllverhalten gut beschreibbar (Freistrah!!)
  - Entmischungsvorgänge noch nicht beherrscht



## Zusammenfassung 2

- Entwurfsvorgänge
  - Interessante Fragestellung für Werkzeugauslegung
  - Prozessmodell vorhanden
  - Praxisnahe Reibwerte mit Haft-Entformungskraftwerkzeug des PCCL ermittelbar
- Zukünftige Herausforderungen
  - Verbesserte Modellierung der Kristallisation
  - Einfluss von Additiven auf Kristallisation
  - Vorhersage von Eigenschaften und Lebensdauer von Bauteilen
  - Verbesserte Stoffdatenmessmethoden
  - Rechenzeiten



Institut für  
Kunststoffverarbeitung

Montanuniversität  
Leoben



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

Franz-Josef-Straße 18, A-8700 Leoben  
thomas.lucyshyn@unileoben.ac.at

Tel.: +43 3842 402 3510  
<http://ikv.unileoben.ac.at>