Grenzen und Möglichkeiten unterschiedlicher Softwarelösungen zur Spritzgieß-Simulation von faserverstärkten Kunststoffen

Dipl.-Ing. Armin Kech
Robert Bosch GmbH
Fachreferent CAE-Methoden
in der Kunststofftechnik
CR/APP2
Waiblingen

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Agenda

- Einleitung
- Anwendungsgebiete der Prozess-Simulation bei BOSCH
- Anforderungen an die Spritzgießsimulation bei BOSCH
- Welche Lücken gilt es zu schließen?
- Ausblick

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Grenzen und Möglichkeiten unterschiedlicher Softwarelösungen ...

Als führendes Technologie- und Dienstleistungsunternehmen nutzen wir weltweit unsere Chancen für eine kraftvolle Weiterentwicklung. Wir haben den Anspruch, mit innovativen und nutzbringenden Lösungen die Lebensqualität zu fördern. Wir setzen dabei auf unsere Kernkompetenzen in der Automobil- und Industrietechnik sowie bei Leistungen für den gewerb- lichen und privaten Gebrauch.

	2005 [1]	2006	2007	2008	2009	2010
Umsatz	41 461	43 684	46 320	45 127	38 174	47 259
Anteil außerhalb Deutschlands in Prozent	73	74	75	74	76	77
Mitarbeiter im Jahresmittel in Tsd.	249	258	268	283	275	276
davon in Deutschland	110	110	111	114	113	112
davon außerhalb Deutschlands	139	148	157	169	162	164
Investitionen in Sachanlagen	2 923	2 670	2 634	3 276	1 892	2 379
Forschungs- und Entwicklungsaufwand [2]	3 073	3 348	3 583	3 889	3 603	3 810
Ergebnis nach Steuern	2 450	2 170	2 850	372	-1 214	2 489

Werte in Millionen Euro

[1] Bis auf Ergebnis nach Steuern ohne aufgegebene Geschäftsaktivitäten

[2] Einschließlich an Kunden direkt weiterverrechnete Entwicklungsleistungen

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Einleitung

- Kunststofftechnik ist in den Bereichen
  - Automobiltechnik,
  - Elektrowerkzeuge und
  - Industriegüter

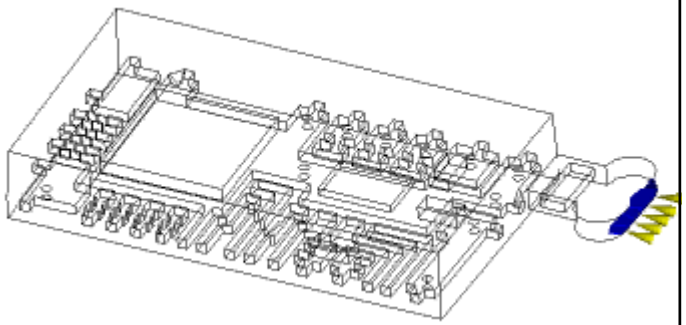
  bei vielen Produkten von BOSCH ein wichtiges Thema.

- Anforderungen
  - Mechanische Beanspruchungen
    - statisch (Kurz- und Langzeit)
    - dynamisch (Akustik, stoßartig)
  - Thermo-mechanische Beanspruchung
    - reine Temperatur-(schock-)wechselbeanspruchung
    - Überlagerung mechanischer Beanspruchung und Temperaturwechselbeanspruchung

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Einleitung

- CAE-Methoden sind hierbei etabliert
  - in der Belastungsanalyse (klassisch und mit eigenen Werkstoffmodellen)
    - Einsatz verschiedener Pakete unterschiedlicher Anbieter
  - Prozess-Simulation für
    - Spritzgießen von thermoplastischen Werkstoffen
      - Einsatz verschiedener Pakete unterschiedlicher Anbieter
    - Transfer Molding von duroplastischen Harzsystemen
      - Einsatz von MOLDFLOW AMI®
      - Einsatz von SIGMASOFT®



CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Anwendungsgebiete bei BOSCH

- Spritzgießen unverstärkter thermoplastischer Bauteile:
  - Füllbarkeit
  - Eigenspannungen
  - Schwindungs- und Verzugsvorhersage
  - Position und Qualität von Bindenähten und Lunkern

- Spritzgießen kurzfaserverstärkter thermoplastischer Bauteile:
  - Füllbarkeit
  - Faserorientierung für strukturmechanische Berechnung
    - Stat. Festigkeiten
    - Langzeitverhalten
    - Dynamisches Verhalten
  - Position und Qualität von Bindenähten
  - Verzugsvorhersage

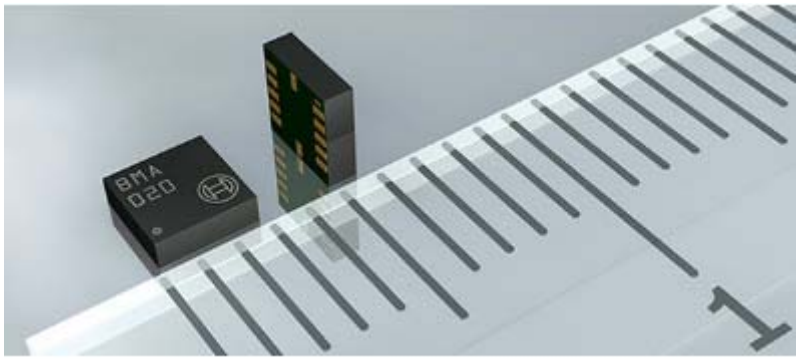
CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Anwendungsgebiete bei BOSCH

- Overmolding von mehreren Kunststoff-komponenten
  - Eigenspannungen
  - Schwindung- und Verzugsvorhersage
  - Anschmelzen von Rippen zur mediendichten Abdichtung

- Transfer Molding für Electronic Packaging
  - Füllbarkeit
  - Lufteinschlüsse
  - Vernetzungsverlauf
  - Verzug



CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Anforderungen an die Spritzgießsimulation

- Kunststoffkomponenten bei BOSCH kommen u.a. aus dem Geschäftsbereich
  - Gasoline Systems (GS)

Tankeinbaueinheiten

Einspritzventile

Steckverbindungen

ESP-Systeme

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Anforderungen an die Spritzgießsimulation

- Kunststoffkomponenten bei BOSCH kommen u.a. aus dem Geschäftsbereich
  - Chassis Systems Control (CC)

Raddrehzahlsensor

Lenkwinkelsensor

Drehzahlsensor

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Anforderungen an die Spritzgießsimulation

- Kunststoffkomponenten bei BOSCH kommen u.a. aus dem Geschäftsbereich
  - Electrical Drives (ED)

Lüfterzargen für PKW und LKW

Fensterhebermotor

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

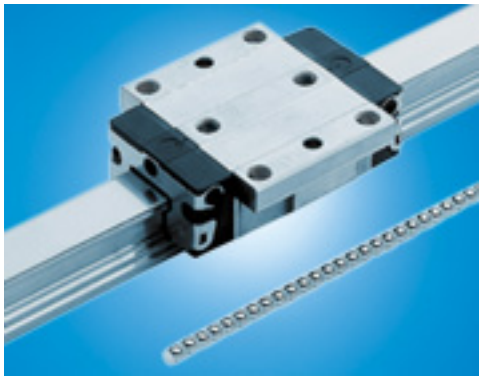
BOSCH

Anforderungen an die Spritzgießsimulation

- Kunststoffkomponenten bei BOSCH kommen u.a. aus dem Geschäftsbereich
  - Power Tools (PT)

Ixo Schrauber

  - Bosch-Rexroth
    - Linear-Systeme (DCL)
    - Hydraulik (DCH)
    - Pneumatik (DCP)



Kugelschienenführungen

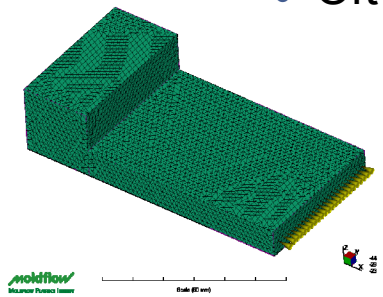
CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

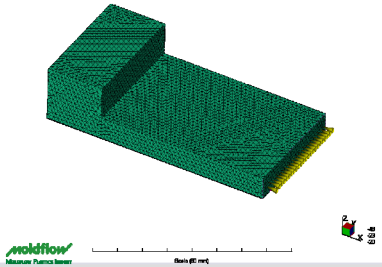
BOSCH

Anforderungen an die Spritzgießsimulation

➔ Anforderungen an die Spritzgießsimulation

- Überprüfung des Designs bzgl. Herstellbarkeit durch Konstrukteur
  - Füllung (ja/nein)
  - Problembereiche (Lokalisierung)
  - Wird in der Regel mittels MOLDFLOW AMA® erledigt
    - Problem:
      - Keine Berücksichtigung von Einlegeteilen
      - Kein Einfluss auf die Vernetzung
      - Oft nur 2 ½D-Modul im Einsatz





CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Anforderungen an die Spritzgießsimulation

➔ Anforderungen an die Spritzgießsimulation

- Optimierung des
  - Bauteils
    - Material (Verzug, Druckbedarf, Fließfähigkeit)
    - Design (Wanddicken, Fließhilfen, -bremsen, Rippen)
      - Shape- und Topologieoptimierung
    - Anspritzpunkte (Anzahl, Position, Durchmesser)
  - Werkzeugs
    - Kühlsystem
    - Angusssystem
    - Werkzeugvorkorrektur (Kompensation von Schwindung und Verzug)

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Anforderungen an die Spritzgießsimulation

➔ Anforderungen an die Spritzgießsimulation

- Optimierung des
  - Prozesses
    - Einspritzzeit
    - Zykluszeitoptimierung (Siegelpunkt, Umschaltpunkt, Restkühlzeit)
    - Nachdruckprofil
    - Reduzierung Schwindung und Verzug (so weit beeinflussbar)
    - DOE für Robustheitsuntersuchungen

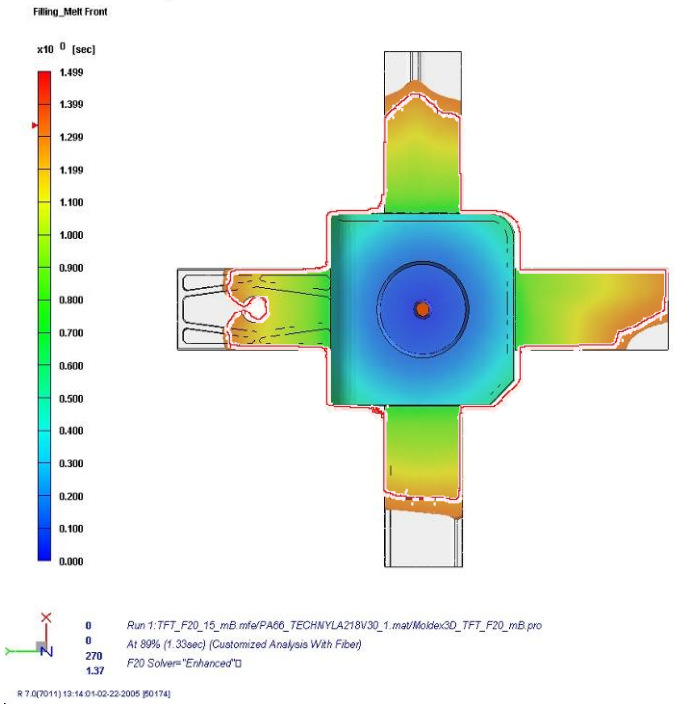
- Wird mit MOLDFLOW AMI® oder vergleichbaren Produkten von Wettbewerbern durchgeführt

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

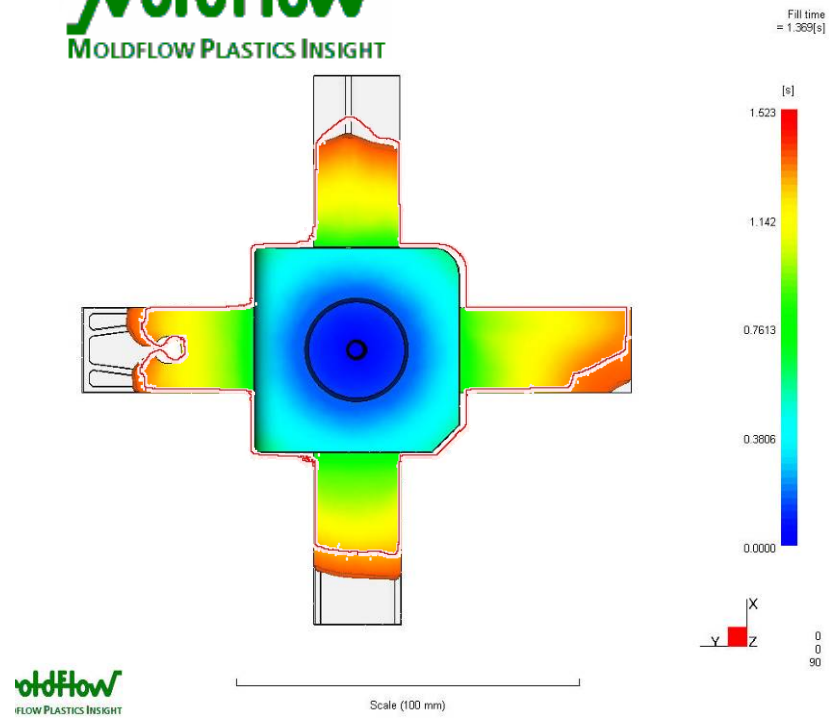
Vergleich Füllung an einem Demonstratorbauteil

Moldex3D



100000 Elemente
5 Std. Berechnungszeit

moldflow
MOLDFLOW PLASTICS INSIGHT

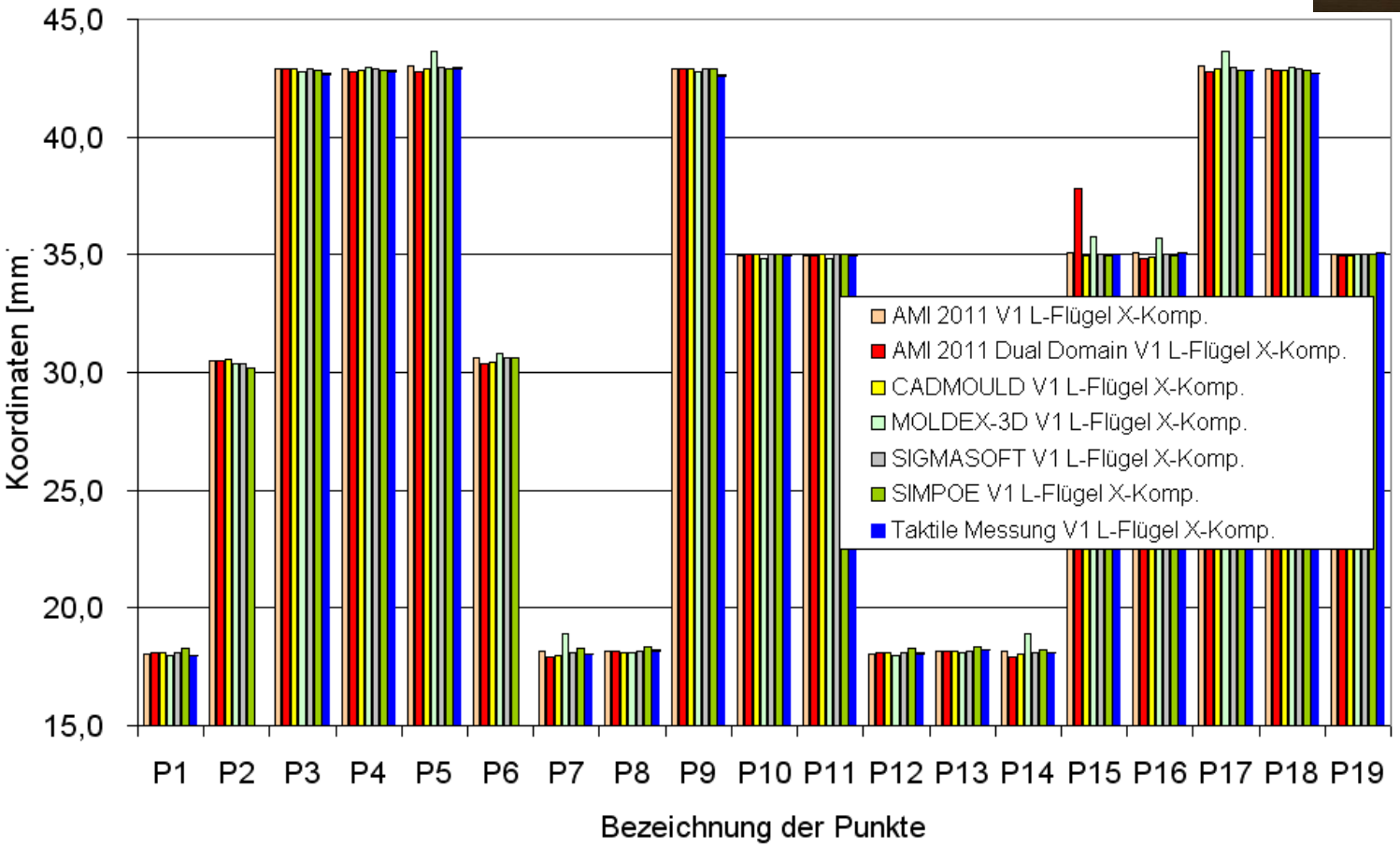


360000 Elemente
13 Std. Berechnungszeit

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

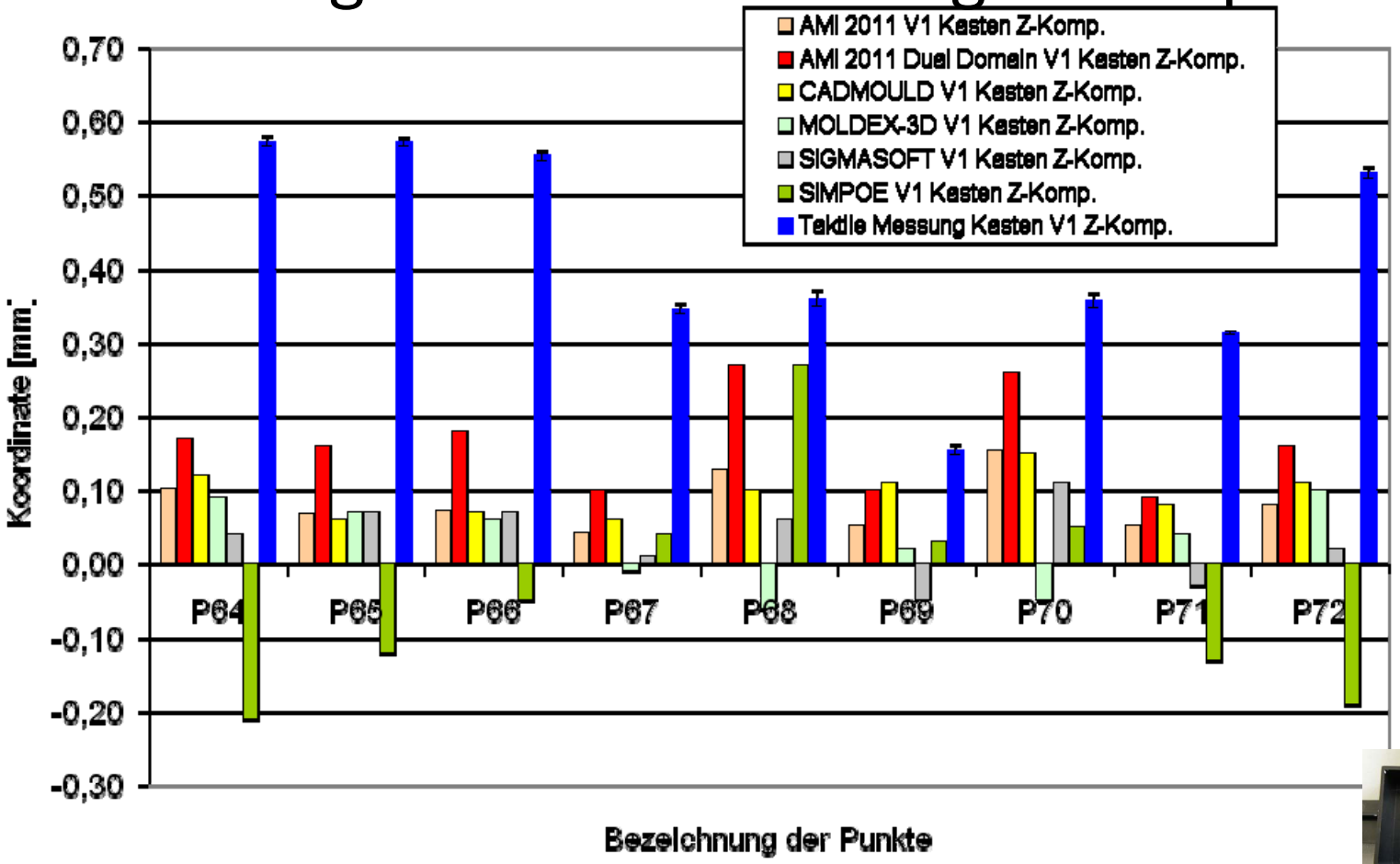
L-Flügel im Vgl. zu taktiler Messung: X-Komponente

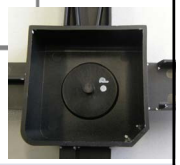


CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Kasten im Vgl. zu taktiler Messung: Z-Komponente





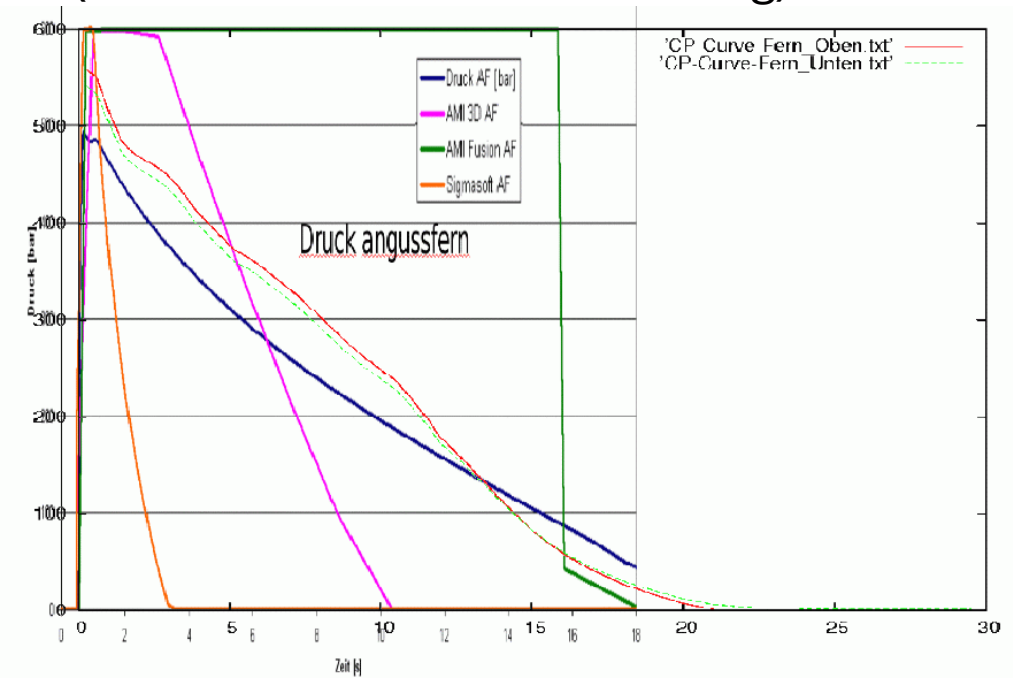
* Alle Berechnungen wurden mit kommerziell verfügbaren Versionen durchgeführt

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Kasten: Druckverlauf im Vgl. zu Sensordaten

- Korrelation zwischen berechneten Drücken in der Schmelze und über eine erstarrte Randschicht gemessene Druckmessung.
  - Modellierung des Abkühlprozesses (transiente thermische Rechnung)



Quelle: (MAGMA)

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Welche Lücken gilt es zu schließen?

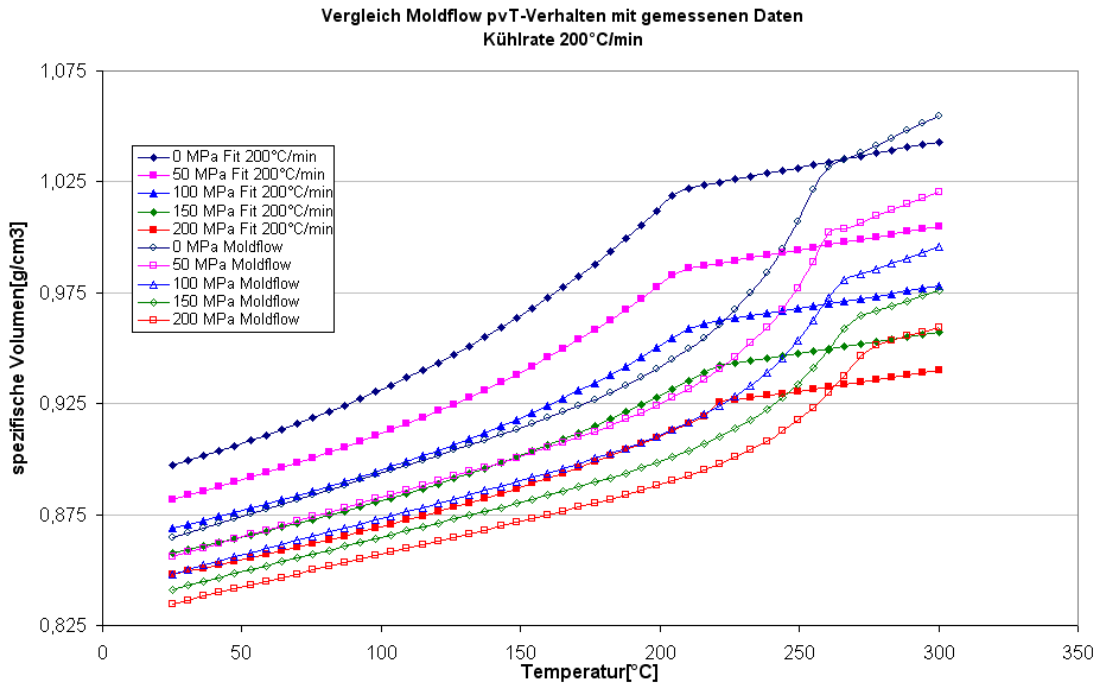
- Stichwort „viskoelastisches Verhalten“ in der Schmelze
  - Ist nur zum Teil umgesetzt
    - REM3D® rechnet mit viskoelastischer kompressibler Schmelze
      ⇒ realistischere Druckberechnungen
      (im Vergleich zu Sensorsignalen)

- Stichwort „Kristallisation“
  - Kein Tool bietet heute ein physikalisch motiviertes Modell zur Beschreibung der Kristallisation teilkristalliner Thermoplaste
    ⇒ Berechnung von Eigenspannungen und Verzug
    (vorwiegend bei unverstärkten Materialien) oft mangelhaft
  - Teilweise sind Ansätze in Forschungslizenzen vorhanden
  - Problem Materialcharakterisierung (z.T. auch für verschiedene Farben!)

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Welche Lücken gilt es zu schließen?

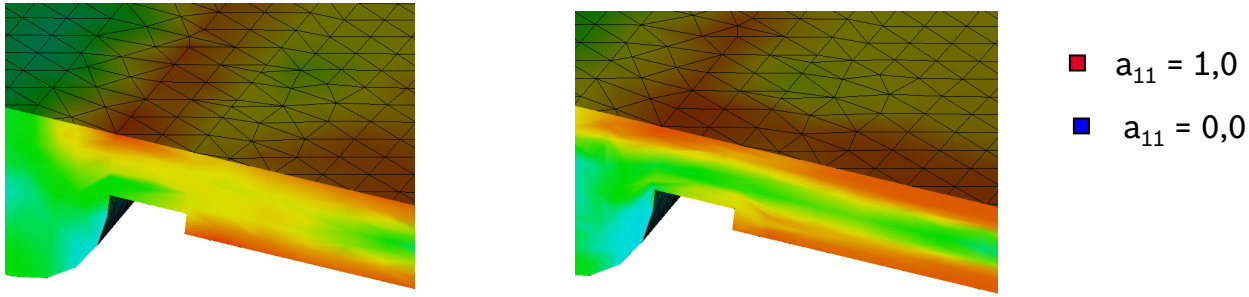
- Stichwort „Materialdaten“
  - Verwendung von standardisierten Materialdaten (z.B. pvT bei 10 K/min). Im Spritzgießprozess liegen aber meist andere Bedingungen vor.



CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Welche Lücken gilt es zu schließen?

- Stichwort Berechnung der „Faserorientierung“
  - In allen Codes wird die Faserorientierungsverteilung direkt oder mit Modifikationen nach Folgar und Tucker berechnet.
    - Validierung der neuen Ansätze wie RSC oder ARD
  - Bei 3D-Modulen starke Abhängigkeit von der Elementierung (über der Bauteildicke)



Faserorientierungsverteilung in MOLDFLOW AMI® mit 6 (links) und 10 Elementen (rechts) über der Dicke

  - Abgleich mit Messdaten ist schwierig

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Welche Lücken gilt es zu schließen?

- Stichwort Schwindung und Verzug
  - Zuverlässige Vorhersagen nur bei guter Übereinstimmung der berechneten Faserorientierung (für faserverstärkte Materialien)
  - Behinderte Schwindung im Werkzeug ist heute praktisch nicht voll erfassbar
    - Ansätze in SIGMASOFT® vorhanden
  - Bei Bauteilen mit Einlegern Vorhersage zu ungenau für Vorkorrektur
  - Rückführung der Netzstruktur in CAD-Geometrie noch nicht voll automatisiert möglich

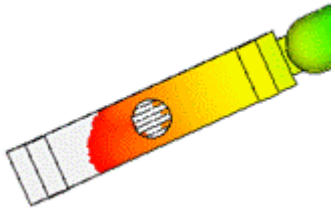
CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

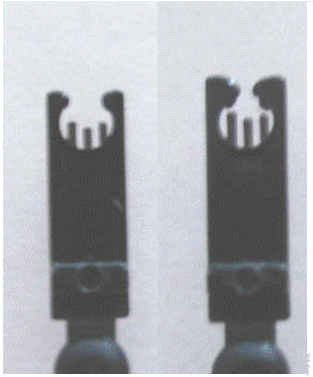
Welche Lücken gilt es zu schließen?

- Stichwort Erstarrungsverhalten
  - MOLDFLOW® operiert mit einem starren No-flow-Kriterium.
  - In Realität druck- und (scher-)strömungs- sowie kühlratenabhängiger Erstarrungsbereich

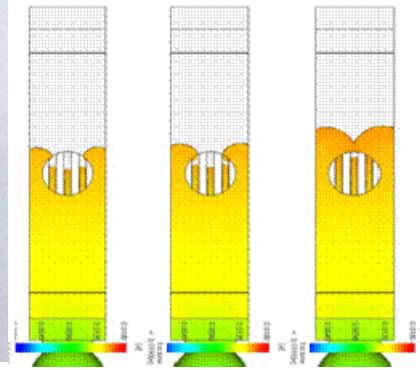
    ⇒ Abweichungen zur Realität vor allem in dünnwandigen Bereichen und beim Druckverlauf



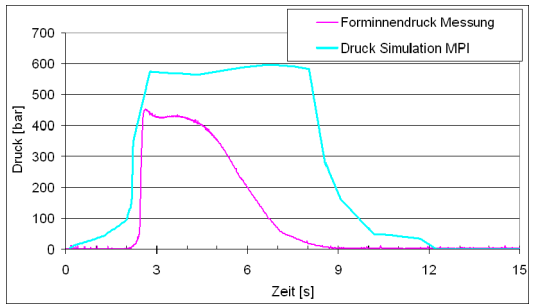
Short-shot-Vorhersage



Füllstudie



Simulation



Vergleich Druckvorhersage und Messung

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Ausblick

- Verzahnung von Prozesssimulation und Belastungsanalyse (durchgängige Simulationskette) wird sehr viel stärker zum Einsatz kommen

- Stärkere Fokussierung auf das Thema Zuverlässigkeit und Lebensdauervorhersage mit geeigneten Methoden und Materialmodellen (Berücksichtigung von Fehlstellen, Alterung)

- Quantitative Verzugsvorhersage
  (auch bei komplexen Neukonstruktionen ohne Vergleichsmuster)
  - Inkl. Rückführung einer rechnerisch vorkorrigierten CAD-Geometrie

CR/APP2-Kech | 15.02.2012 | © Robert Bosch GmbH 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH