Ulrich Heck, Martin Becker

Angepasste CFD-Lösungen am Beispiel der Auslegung von Extrusionswerkzeugen

Einführung

Hintergrund Open-Source Löser

Löser Anpassung

Benchmark

CAD Modell basierter Workflow

Zusammenfassung

DHCAE Tools GmbH, Krefeld

CFD/FEA-Lösungen basierend auf Open-Source-Löser Technologie

Engineering:

CFD/FEA-Dienstleistung mit OpenFOAM/ CalculiX

Software
Standard/ kundenangepasst:

GUIs, Erweiterungen

Support Training:
OpenFOAM/ Erweiterungen

This offering is not approved or endorsed by ESI Group, the producer of the OpenFOAM® software and owner of the OPENFOAM® and OpenCFD® trade marks.

Open-Source Löser

<u>Eingesetzte Open-Source Löser:</u>

CFD: OpenFOAM

- Entwickelt am Imperial College als erweiterbare Toolbox
- Weitergepflegt von OpenCFD Ltd. (ESI Group)
- Funktionalität:
  - Breites Spektrum an CFD vergleichbar mit High-End CFD Tools
    - kompressible/inkompressible Systeme
    - Mit/ohne Wärmetransport inkl. Wärmeleitung in Solids
    - Mehrphasenströmungen (Freie Oberflächen, dispergierte Systeme)

Open-Source Löser

DHCAE Tools

Eingesetzte Open-Source Löser:

CFD: OpenFOAM

- Entwickelt am Imperial College als erweiterbare Toolbox
- Weitergepflegt von OpenCFD Ltd. (ESI Group)
- Funktionalität:
  - Breites Spektrum an CFD vergleichbar mit High-End CFD Tools
    - kompressible/inkompressible Systeme
    - Mit/ohne Wärmetransport inkl. Wärmeleitung in Solids
    - Mehrphasenströmungen (Freie Oberflächen, dispergierte Systeme)

FEM: CalculiX

- Entwickelt von Guido Dong und Klaus Wittig bei MTU
- Funktionalität:
  - FEA (Statisch, Dynamisch)
  - geometrische und Material-Nichtlinearität
  - Kontakt

CFD/FEA Löser sind kein “Community”-Produkt, sondern ein alternatives Lizenzmodell (gegebenenfalls alternatives Geschäftsmodell)

OpenFOAM Pro/Cons.

Warum Open-Source basierte Systeme:

- Transparenz in den Lösungsverfahren
- Zuverlässige, stabile und etablierte Berechnungsverfahren
- Kostenaspekte: keine Lizenzkosten für die Löser

Nachteil für Nicht-CFD Experten

- Nur unter Linux verfügbar
- Keine GUI: Editieren von Textfiles
- Funktionalität nicht direkt ersichtlich
- Vernetzung: STL, Skript basiert
- Hohe Anforderungen an CFD-Kenntnisse

Erweiterungen:

Unterstützung für Linux und Windows Portierungen

GUI Lösungen mit den typischen Auswahlmöglichkeiten

CAD-basierte Modellerstellung

Spezifische Löseranpassungen

Eine Anpassung: Speziallösung für die Kunststoffindustrie

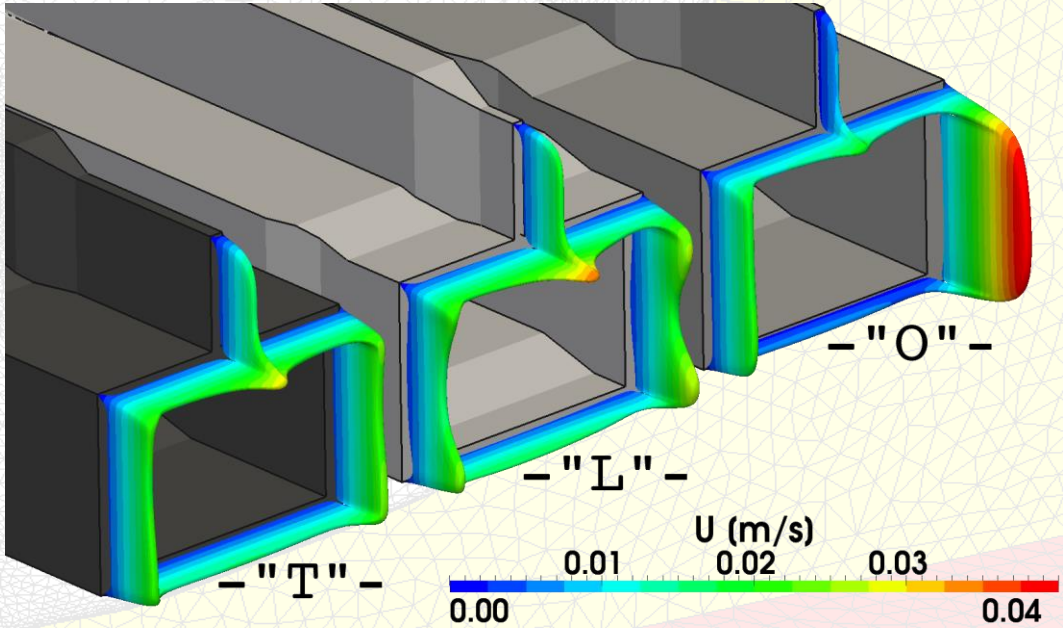
Beispielfall für die Entwicklung eines Solver für Extrusionswerkzuge

Benchmark: Study by Nóbrega et al:

Nóbrega, J.M. and Carneiro, O.S. and Pinho, F.T. and Oliveria, P.J. (2004), Flow Balancing in Extrusion Dies for Thermoplastic Profiles: Part III: Experimental Assessment. *Intern. Polymer Processing XIX (2004)*

Ziel:
- Optimierung des Düsendesign

Design-Kriterien:
- Gleichmäßige Geschwindigkeitsprofile
- Druckverlustminimierung



Strömungskonfiguration

- Basiskonfiguration: Stationärer Löser für hochviskose Strömungen (Re << 1)

- Nicht-Newtonisches Fließverhalten, z.B.

$$BirdCarreau\colon \mu(\dot{\gamma}) = \mu_\infty + \frac{\mu_0 - \mu_\infty}{(1 + (k \cdot \dot{\gamma})^2)^{\frac{1-n}{2}}}$$

- Temperatur-Effekte:

  Wärmetransport

  viskose Dissipation

  verschiedende Modelle für temperaturabhängige Stoffwerte

Solveranpassungen

Randbedingungen und Materialmodelle für die Polymer-Verarbeitung

- Wandgleitmodelle

Temperatur

- Viskose Dissipation
- Wärmetransport

- Bibliotheken für Nicht-Newtonisches Fließverhalten

Postprozessing

- Wandscherraten
- Wandschubspannungen
- Verweilzeiten

Basis Löser
simpleFoam
+
Erweiterungen

Simulations-Workflow

- Autom. Vorbelegung
- Autom. Stabilisierung
- Beschleunigung

Anwendungsnaher Löser für den Konstrukteur und Werkzeugbauer

Polymer-spezifische Materialmodelle

```
dimensionedScalar t_celsius("t_celsius", dimensionSet(0,0,0,1,0,0,0), 273.15);
const volScalarField& tm = U_.mesh().lookupObject<volScalarField>("T");
volScalarField shift =
    (
        exp
        (
            (alpha_ - t_celsius)
            *
            (
                scalar(1.0) / (tm - t_celsius)
              - scalar(1.0) / (T0_ - t_celsius)
            )
        )
    );
```

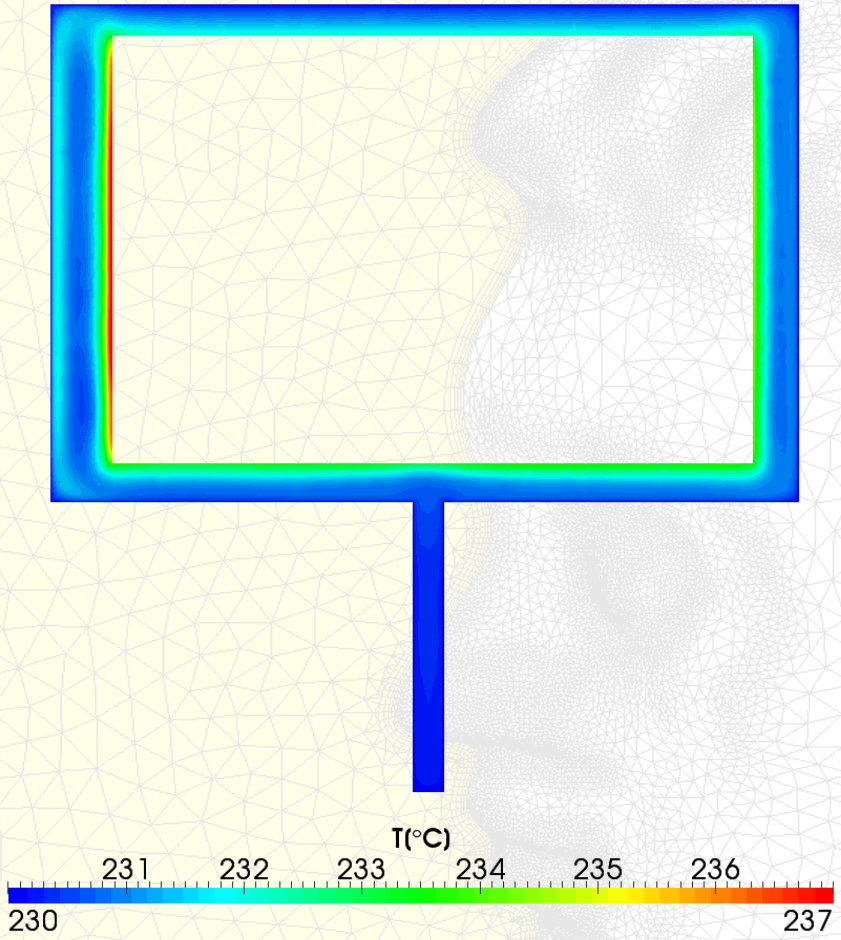
Temperaturabhängigkeit (Arrhenius-Shift)

$$BirdCarreau: \mu(\dot{\gamma}) = \mu_\infty + \frac{\mu_0 - \mu_\infty}{(1 + (k \cdot \dot{\gamma})^2)^{\frac{1-n}{2}}}$$

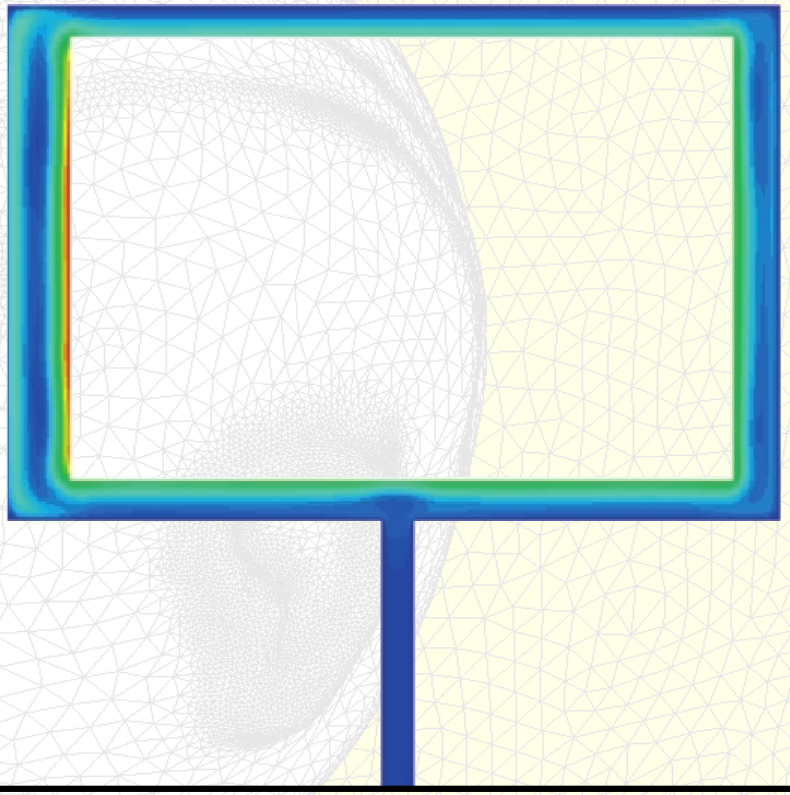
```
return
    nuInf_
  + (shift * (nu0_ - nuInf_))
   *pow(scalar(1)
    + sqr(k_*strainRate()*shift)
, (n_ - scalar(1.0))/scalar(2.0))
  ;
```

Ergebnisvergleich: Temperatur Simulation/Simulation

Results from customized OpenFOAM solver



DieINI



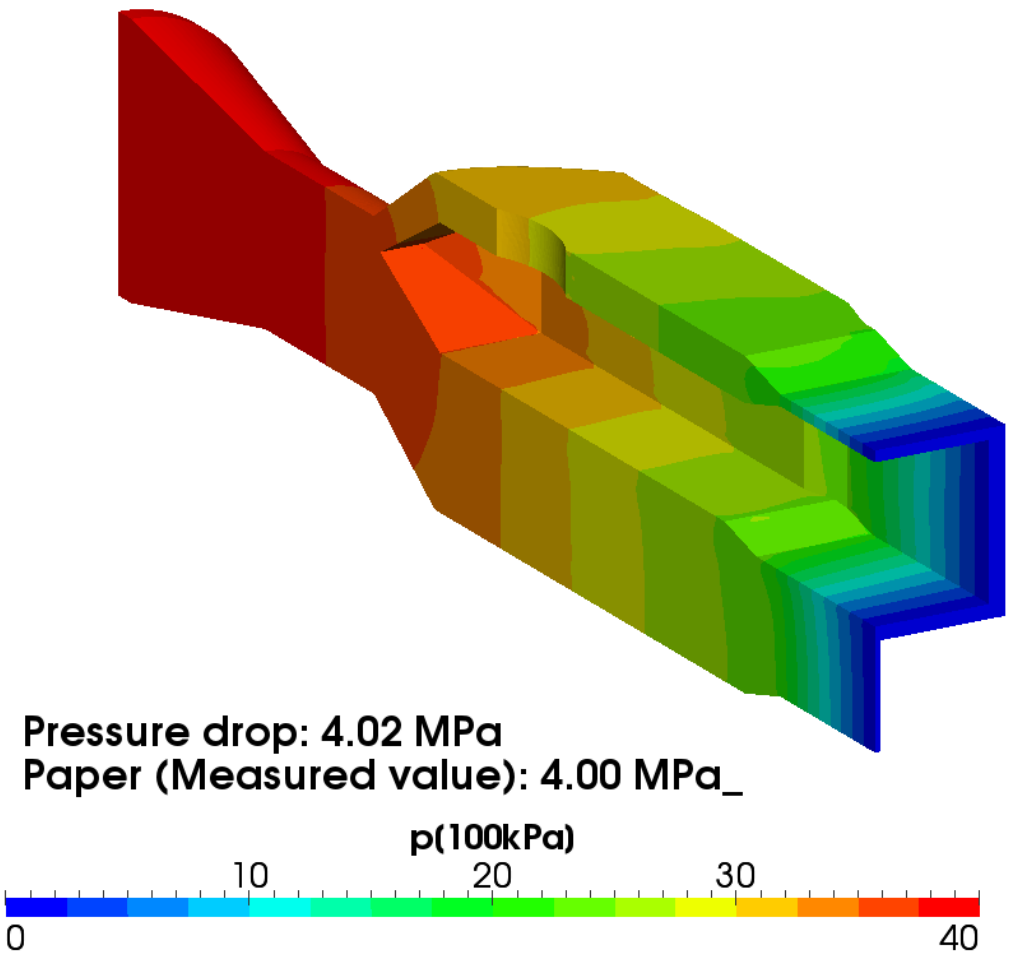
Outlet temperature from Fig.14 from Paper "Flow Balancing in Extrusion Dies for Thermoplastice Profiles, Part III"

Ergebnisvergleich: Druck Simulation/Experiment

Solver-Vergleich:

- Sehr gute Übereinstimmung für Temperaturverteilung am Austritt; wurde ermittelt im Vergleich zu anderen Lösern (kann nicht direkt gemessen werden)

- Sehr gute Übereinstimmung zum experimentell ermittelten Druckverlust



Postprozessing-Erweiterungen

Randbedingungen und Materialmodelle für die Polymer-Verarbeitung

- Wandgleitmodelle

Temperatur

- Viskose Dissipation
- Wärmetransport

- Bibliotheken für Nicht-Newtonisches Fließverhalten

Postprozessing

- Wandscherraten
- Wandschubspannungen
- Verweilzeiten

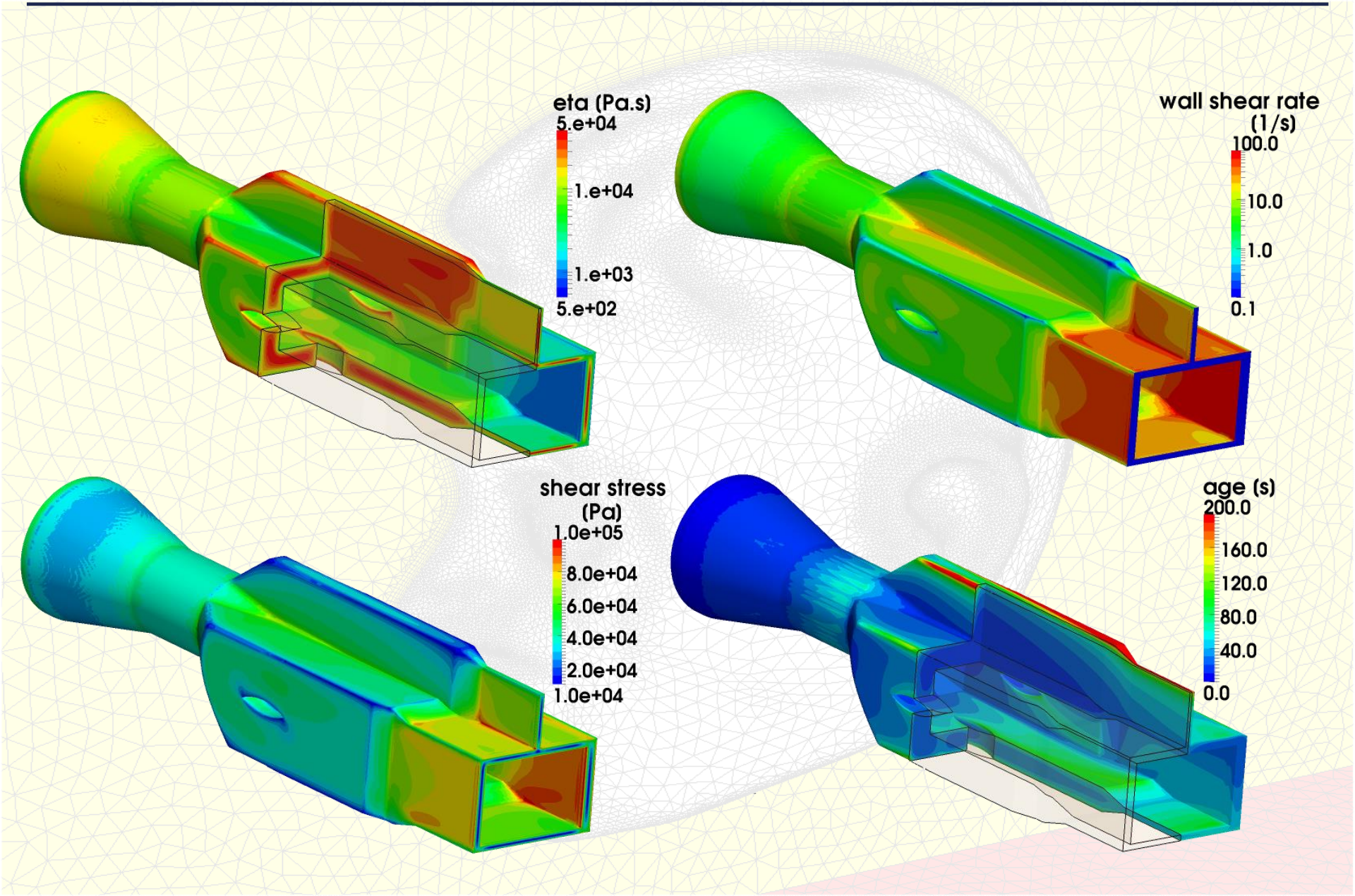
Basis Löser
simpleFoam
+
Erweiterungen

Simulations-Workflow

- Autom. Vorbelegung
- Autom. Stabilisierung
- Beschleunigung

Anwendungsnaher Löser für den Konstrukteur und Werkzeugbauer

Postprozessing-Erweiterungen



Integration in Workflow

DHCAE Tools

Integration in den Workflow

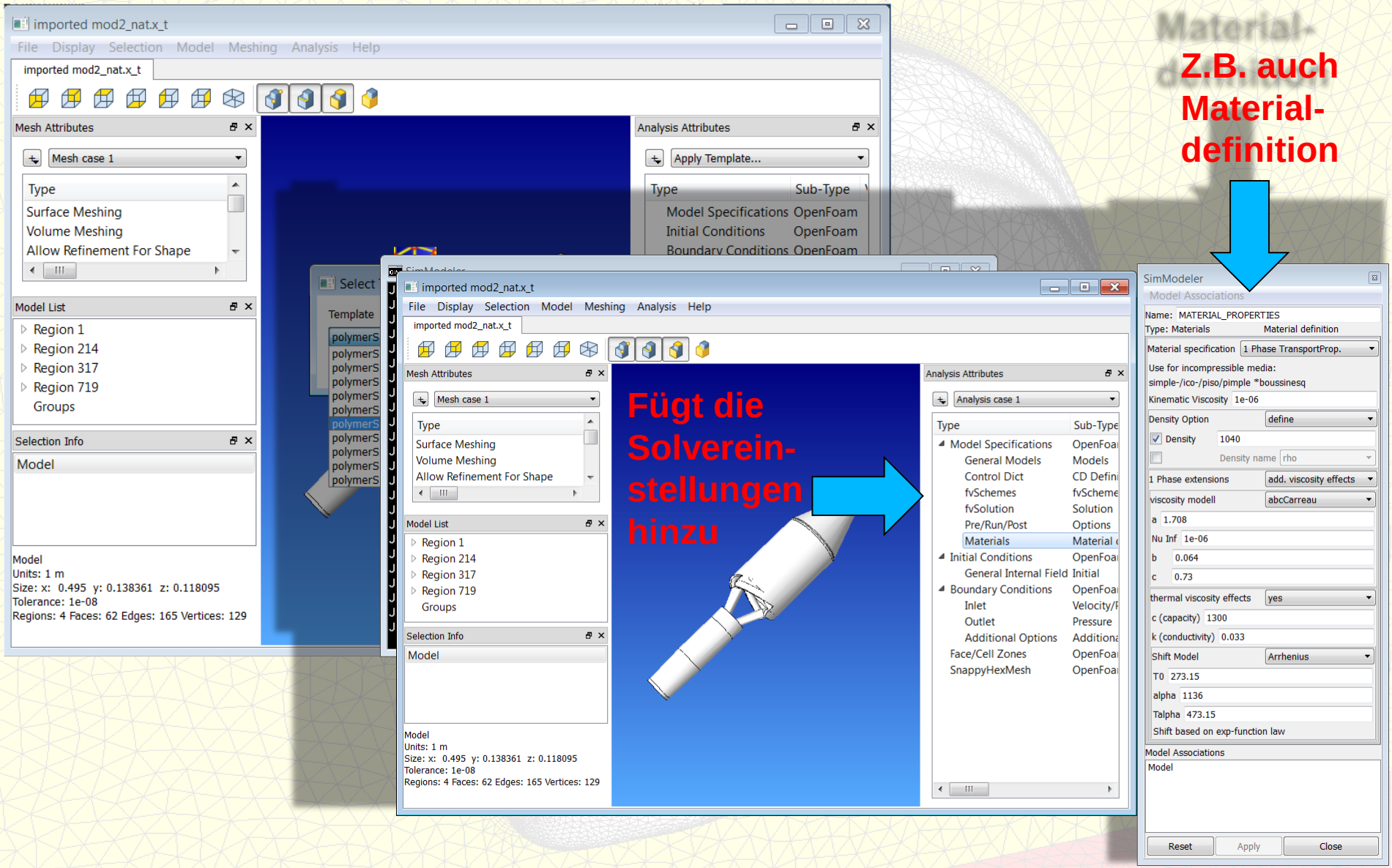
- Unabhängig vom CFD-Solver
- Abhängig von
  - Bevorzugter Arbeitsweise Text vs. GUI
  - CAD Umgebung
  - CFD-Kenntnisse
  - IT Infrastruktur: Linux oder Windows

Typischerweise:

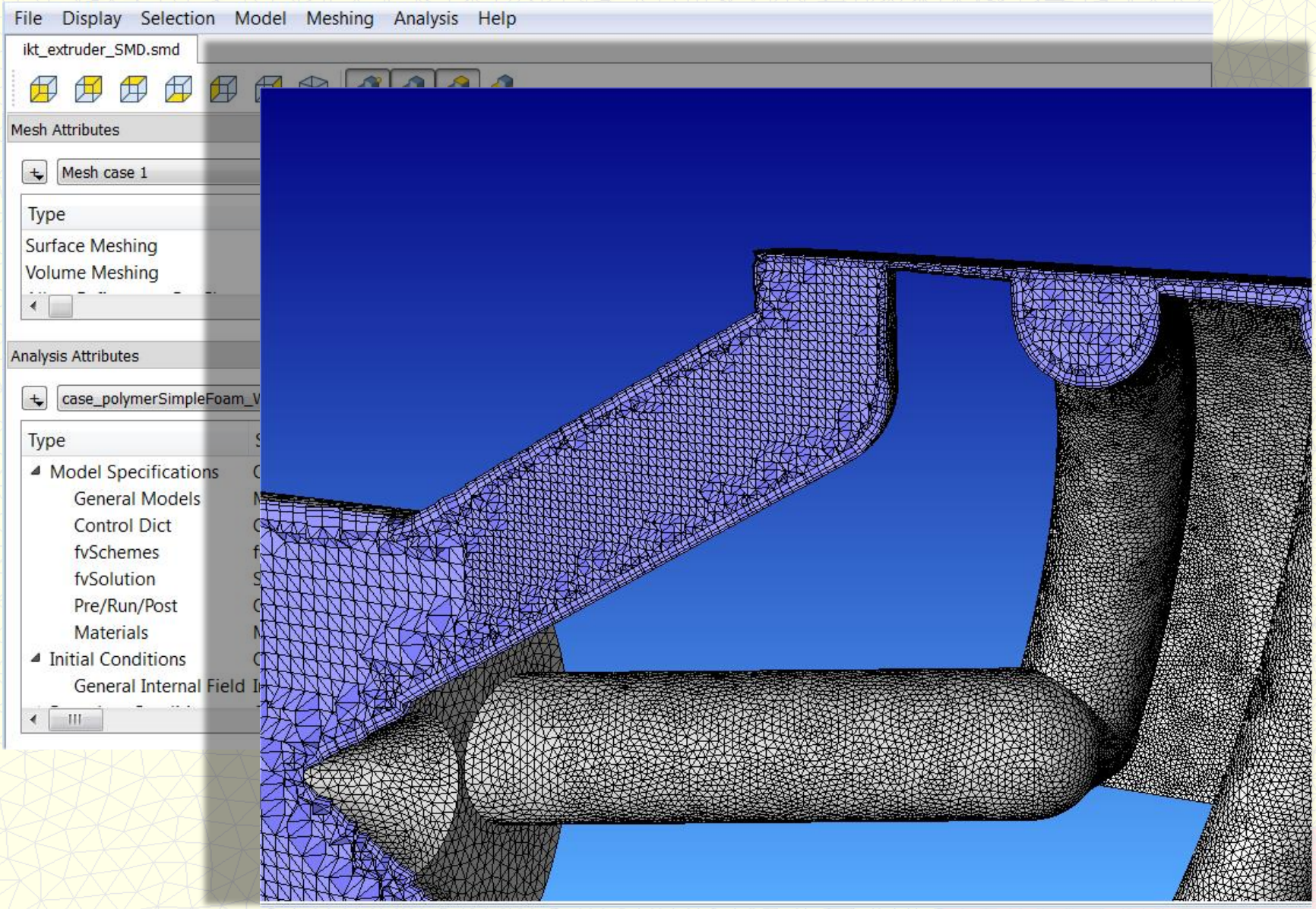
- GUI basiertes Arbeiten bevorzugt vom Design-Engineer
- Möglichst einfaches Aufsetzen der Berechnung

Bereitstellung einer CAD-basierten Vernetzung und Case-Setup Umgebung mit kundenangepassten Templates für Solvereinstellungen

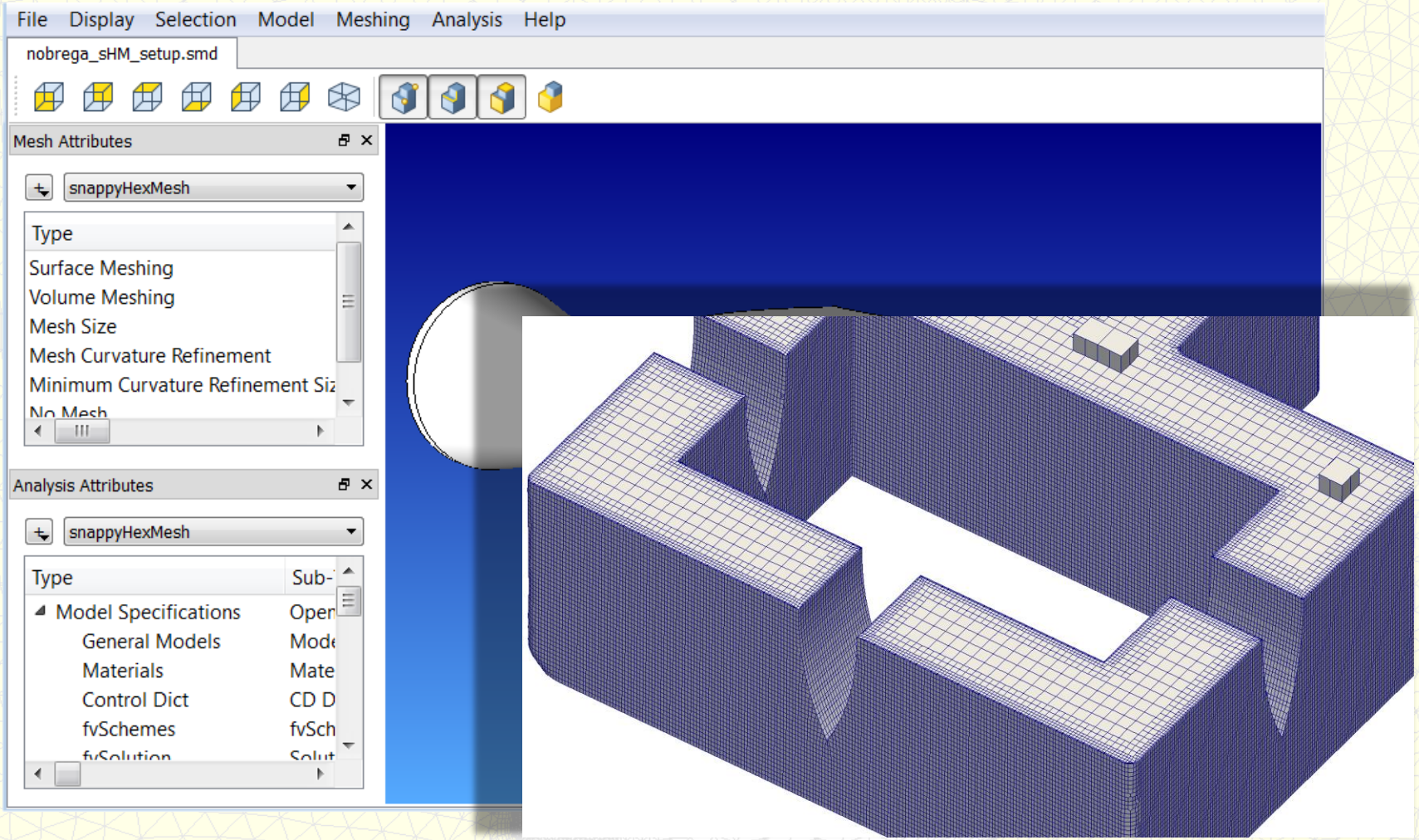
Template für Solvereinstellungen



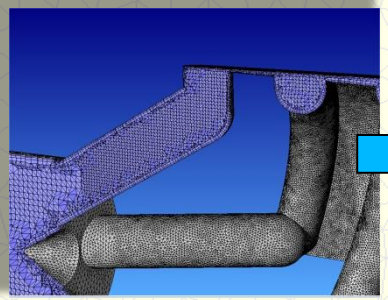
Vernetzungsoptionen: Hybride Vernetzung

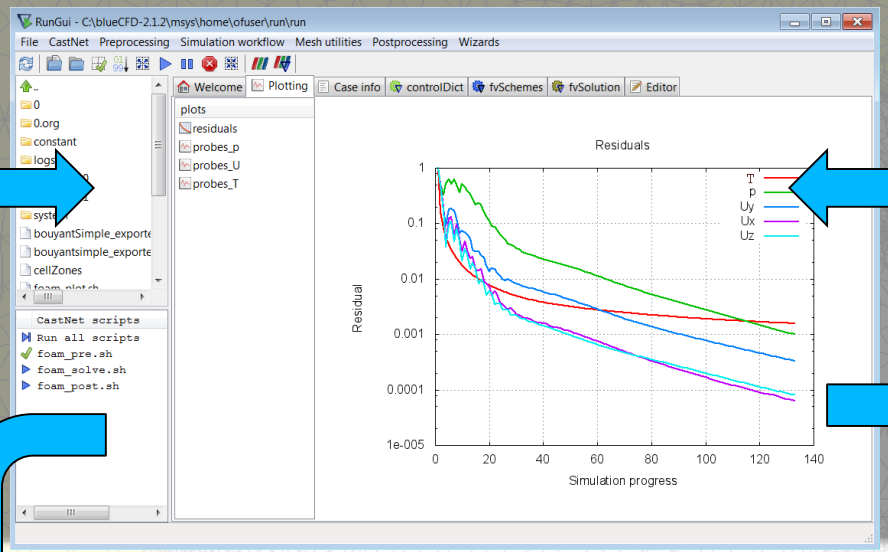


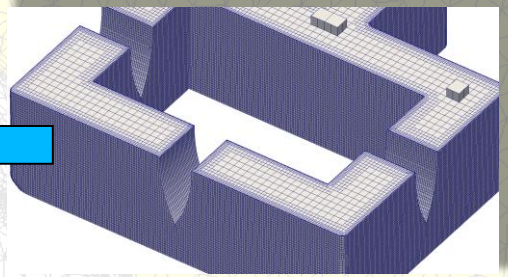
Vernetzungsoptionen: Hex-dominante Polyedergitter

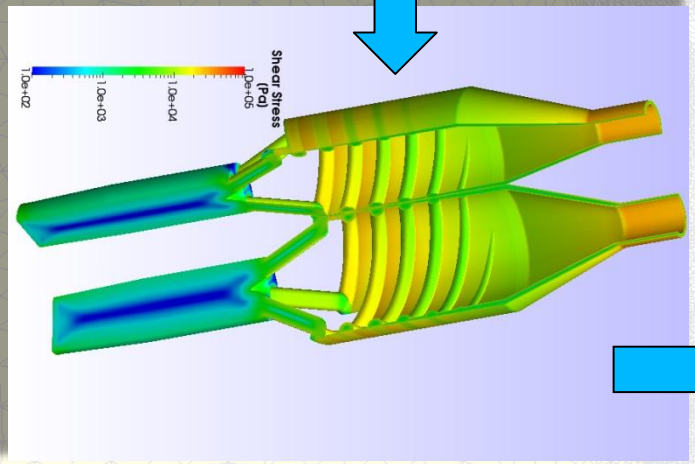


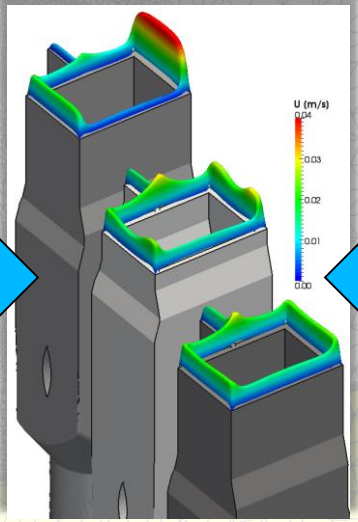
Workflow zur Lösung

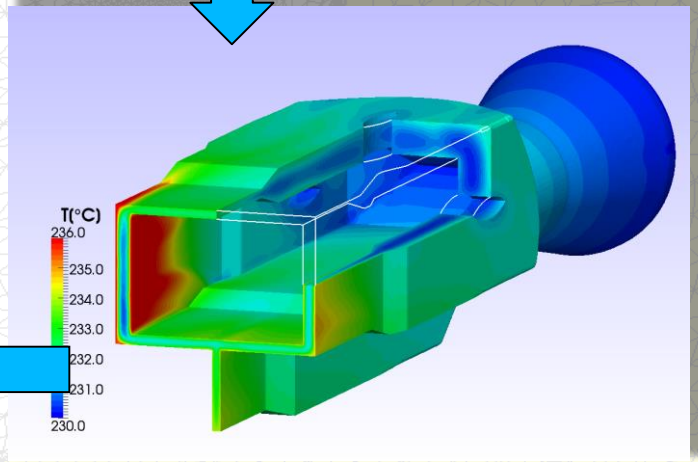












Zusammenfassung

OpenFOAM®:

- Frei verfügbares CFD-System nach dem Stand der Technik
- Transparent in den Lösungsmethode
- Bietet sehr gute Möglichkeiten für angepasste Lösungen

Kombination mit Zusatztools:

- Effizienzsteige

Adaptiert **endungen**

- Hochwe verlässige CFD Lösung
- Angepasst an das Strömungsverhalten von Kunststoffen
- Validiert
- Gute Integrationsmöglichkeiten in den Workflow
- Kosteneffizient durch frei verfügbare Solvertechnologie

Besuchen Sie uns:
Halle 11.0 Stand F102