

3D-Surface Engineering für Werkzeug- systeme der Blechformteilefertigung

- Erzeugung, Modellierung, Bearbeitung -

Finite Elemente Simulation des Lichtbogenspritzprozesses

M. Gurriss, R. Münster, D. Kuzmin, S. Turek, Z. Cui

TP B7

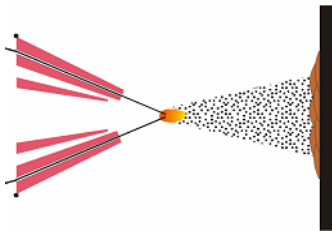
2. öffentliches Kolloquium

21. November 2008



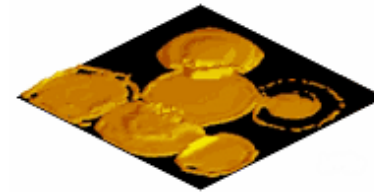
Unterprojekt I

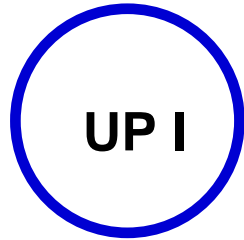
- Simulation der kompressiblen Gas-Partikel-Strömung
- Makroskopisches 2-Fluid-Modell
- Implizite Verfahren zur effizienten Berechnung stationärer Lösungen
- TVD-Verfahren
- Randwertbehandlung



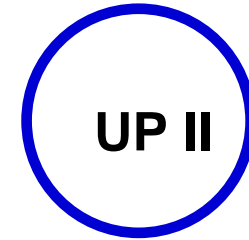
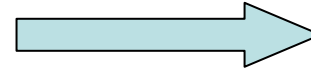
Unterprojekt II

- Partikel-Substrat-Interaktion
- Inkompressible Navier-Stokes-Gleichungen
- Mikroskopisches Modell
- Level-Set-Methode
- Wärmeaustausch und Erstarrung



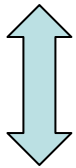


Geschwindigkeiten
Volumenanteile
Temperaturen

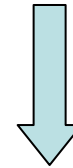


Simulationsergebnisse

Simulationsergebnisse zur
Erstellung eines
stochastischen Modells



Randwerte & Spritzparameter

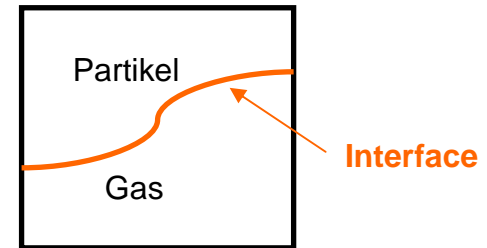




Wesentliche Modellannahmen

- Beide Phasen sind kontinuierlich
- Die einzelnen Phasen können durch die Gleichungen für Massen-, Impuls- und Energieerhaltung beschrieben werden
- Die Wechselwirkung der Phasen untereinander erfolgt lediglich über den Druck, die Widerstandskraft und den Temperaturaustausch
- Gesamtimpuls und Gesamtenergie werden erhalten
- Molekulare Diffusion sowie die übrigen Phasenwechselwirkungskräfte können vernachlässigt werden
- Beide Phasen haben denselben Druck (Gasdruck)
- Ideales Gas

Kontrollvolumen



Druck

$$P = (\gamma - 1)\rho_g \left(E_g - \frac{\|u_g\|^2}{2} \right)$$

Phasenwechselwirkungskräfte

$$F_D = \alpha_p \gamma_D (u_p - u_g)$$

$$Q_T = \alpha_p \gamma_T (T_p - T_g)$$



Gasphase:

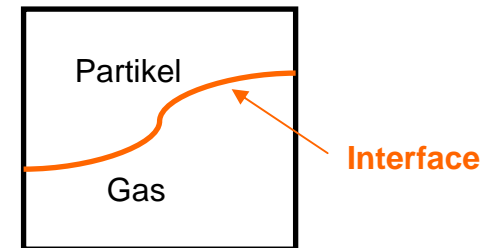
$$\begin{aligned}\partial_t(\alpha_g \rho_g) + \nabla \cdot (\alpha_g \rho_g u_g) &= 0 \\ \partial_t(\alpha_g \rho_g u_g) + \nabla \cdot (\alpha_g \rho_g u_g \otimes u_g + \alpha_g PI) &= P \nabla \alpha_g + F_D \\ \partial_t(\alpha_g \rho_g E_g) + \nabla \cdot (\alpha_g u_g (\rho_g E_g + P)) &= PV_i \cdot \nabla \alpha_g + V_i \cdot F_D + Q_T\end{aligned}$$

Partikelphase:

$$\begin{aligned}\partial_t(\alpha_p \rho_p) + \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p u_p) &= 0 \\ \partial_t(\alpha_p \rho_p u_p) + \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p u_p \otimes u_p + \alpha_p PI) &= P \nabla \alpha_p - F_D \\ \partial_t(\alpha_p \rho_p E_p) + \nabla \cdot (\alpha_p u_p (\rho_p E_p + P)) &= PV_i \cdot \nabla \alpha_p - V_i \cdot F_D - Q_T\end{aligned}$$

Sättigungsgrad:

$$\alpha_g + \alpha_p = 1$$



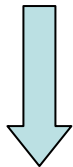


$$\partial_t \begin{bmatrix} U_g \\ U_p \end{bmatrix} + \nabla \cdot \begin{bmatrix} F_g \\ F_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_g \\ S_p \end{bmatrix}$$



1. Hyperbolischer Schritt

$$\begin{aligned} \frac{U_g^{n+1/2} - U_g^n}{\Delta t} + \nabla \cdot F_g^{n+1/2} &= 0 \\ \frac{U_p^{n+1/2} - U_p^n}{\Delta t} + \nabla \cdot F_p^{n+1/2} &= 0 \end{aligned}$$

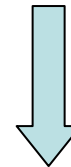


Semidiskrete hyperbolische Systeme



2. Quellterme

$$\begin{aligned} \frac{U_g^{n+1} - U_g^{n+1/2}}{\Delta t} &= S_g^{n+1} \\ \frac{U_p^{n+1} - U_p^{n+1/2}}{\Delta t} &= S_p^{n+1} \end{aligned}$$



Punktweise ODE-Systeme, die auch semi-analytisch gelöst werden können

UP I: Diskretisierung der hyperbolischen Anteile

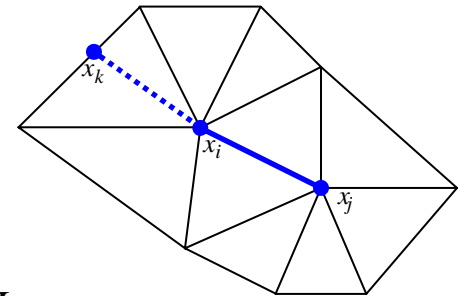


Galerkin-Diskretisierung:

$$\sum_j \int_{\Omega} \varphi_i \varphi_j dx \frac{dU_j}{dt} = \sum_j \int_{\Omega} \varphi_j \nabla \varphi_i dx \cdot F_j - \sum_j \int_{\partial\Omega} \varphi_i \varphi_j n ds \cdot F_j, \quad \forall j \quad \longrightarrow \quad M_C \frac{dU}{dt} = KU$$

Künstlicher Diffusionsoperator:

$$n \cdot F =: F(n) = \frac{\partial F(n)}{\partial U} U =: AU, \quad |A_{ij}| := R_{ij} |\Lambda_{ij}| L_{ij}$$



Hochauflösendes Verfahren (Slope Limiter)

$$\text{Limited slope: } \bar{s}^l_{ij} = \min \text{mod} \left(2 \frac{|x_i - x_k|}{|x_i - x_j|} (w_k^l - w_i^l), w_i^l - w_j^l \right), \quad W = L_{ij} U$$

$$\text{Antidiffusive Flüsse: } f_i^l = |\hat{c}_{ij}| \bar{s}^l_{ij} |\lambda_{ij}^l|, \quad f_j^l = -f_i^l$$

$$\underbrace{\left(K^* U \right)_i}_{(KU)_i} = \underbrace{- \sum_{j \neq i} c_{ij} \cdot (F_j - F_i)}_{(KU)_i} + \underbrace{\sum_{j \neq i} |\hat{c}_{ij}| \hat{A}_{ij} (U_j - U_i)}_{(DU)_i} + \sum_{j \neq i} R_{ij} f_i \quad \longrightarrow \quad M_L \frac{dU}{dt} = K^* U = LU + \bar{f}$$

$$\underbrace{\hspace{15em}}_{(LU)_i}$$



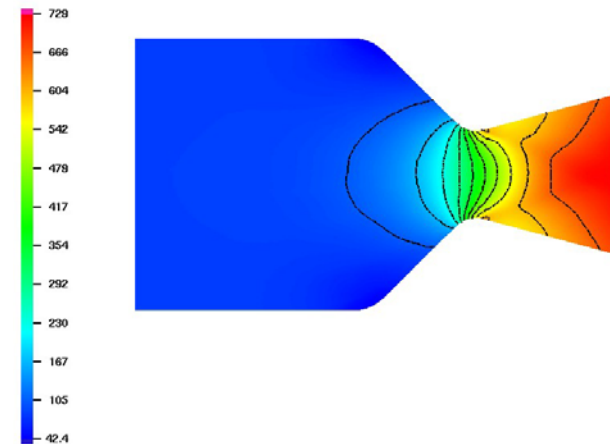
Partikelbeladene Düsenströmung

- Gekrümmte Ränder
- Alle Machzahlbereiche
- Subsonischer Einflussrand
- Kompressible und inkompressible Bereiche
- Hohe Steifheit

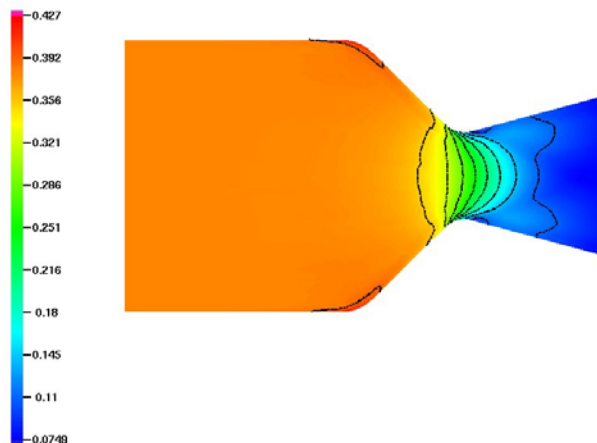


Sehr schwieriges Problem

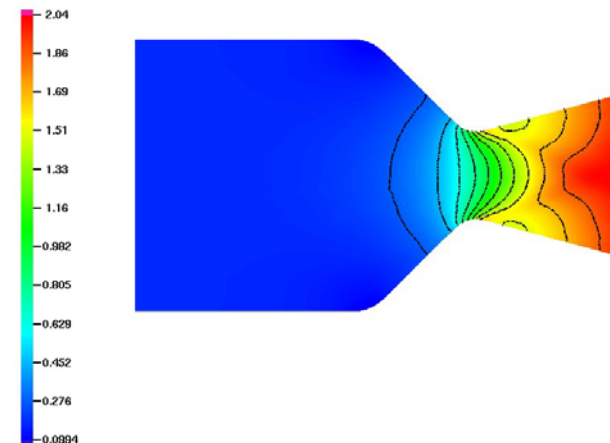
Partikelgeschwindigkeit



Effektive Partikeldichte



Machzahl





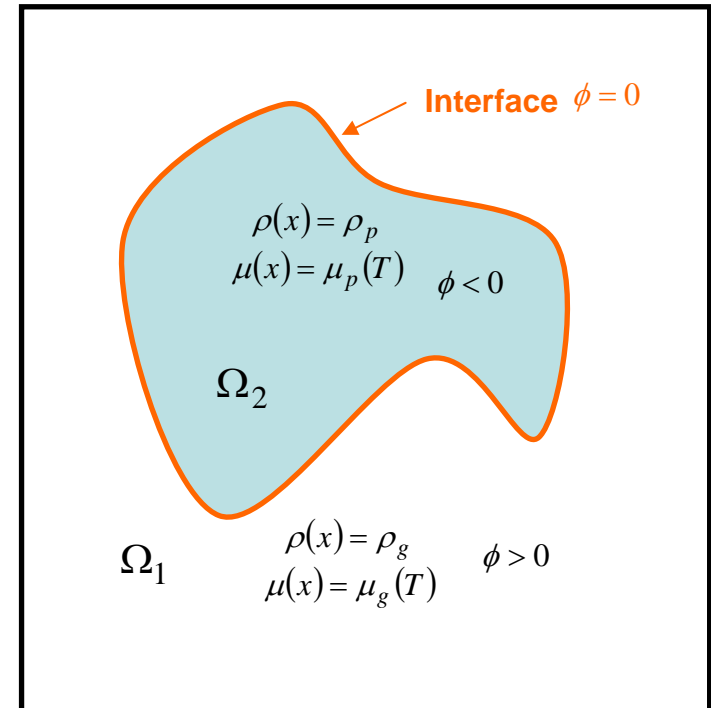
Modellannahmen

- Beide Phasen sind inkompressibel
- Die Temperaturen befinden sich im Gleichgewicht
- Die Phasen sind nicht mischbar
- Beide Phasen besitzen denselben Druck (Gasdruck)
- Massenerhaltung, d. h. $\int_{\Omega_2(t)} 1 dx = const, \quad \forall t \geq 0$

Inkompressible Navier-Stokes Gleichungen:

$$\begin{aligned} \rho(x)(\partial_t u + (u \cdot \nabla)u) &= -\nabla p + \nabla \cdot (\mu(x)(\nabla u + \nabla u^T)) + f \\ \nabla \cdot u &= 0 \end{aligned}$$

Level-Set-Funktion: $\partial_t \phi + (u \cdot \nabla)\phi = 0$

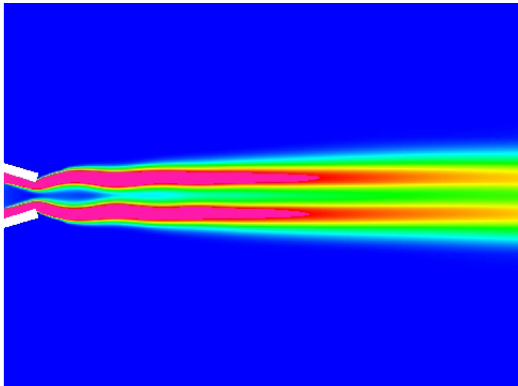


- In der Praxis ist eine genaue Kenntnis des Interfaces erforderlich. Deshalb werden adaptive Gitterdeformationsmethoden und die Reinitialisierung zur Erhaltung der Distanzfunktionseigenschaft von ϕ zur besseren Auflösung des Interfaces, bei nahezu gleichem Aufwand, angewandt.



Unterprojekt I

- Modellierung mittels 2-Fluid-Modell ist vorerst abgeschlossen
- In der Zukunft soll die Leistungsfähigkeit stationärer Rechnungen verbessert werden, evtl. durch ein Mehrgitter
- Einen großen Fortschritt in diesem Bereich hat die schwache Behandlung der Randbedingungen erbracht
- Die Erweiterung auf 3D ist problemlos möglich



Unterprojekt II

- Zur Zeit wird der Code auf 3D erweitert
- In 2D ist eine verbesserte Auflösung des Interfaces durch Gitterdeformation realisiert
- Später sollen auch beliebige (nicht glatte) Substratoberflächen betrachtet werden

