

## Teilprojekt B6

### **Titel**

Dreidimensionale Modellierung und effiziente numerische Beschreibung des Kontakts zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten

### **Projektleitung**

Sauer, Roger A.  
AICES Graduiertenschule

### **Projektbearbeitung**

Harmel, Maximilian  
AICES Graduiertenschule

### **Aufgabenstellung**

1. Modellentwicklung
  - 1.1. Entwicklung von Kontaktmodell und Kontaktalgorithmus Fest-Flüssig-Kontakt
  - 1.2. Modellierung der Oberflächenrauheit
  - 1.3. Formulierung geeigneter Konstitutivmodelle für die erstarrende Schmelze
2. Kontaktsimulation
  - 2.1. Integration der Kontaktmodelle in die Programmpakete anderer Teilprojekte
  - 2.2. Integration der Erkenntnisse anderer Teilprojekte (TP)

### **Vorgehensweise**

Nach einer Einarbeitungsphase wurden erste Finite-Elemente (FE) Simulationen eines Fest-Flüssig-Kontaktes durchgeführt. Dazu wurde die Benetzung einer Kavität durch eine Flüssigkeit abgebildet. Die Simulationen wurden in unseren hauseigenen FE-Code implementiert und nutzen eine stabilisierte Membranformulierung zur Beschreibung von Flüssigkeiten.

Im Rahmen des Arbeitskreises (AK) ‚Modellierung des Energietransfers an Grenzflächen‘ wird eine Berücksichtigung der Oberflächenrauheit mittels Homogenisierung präsentiert. Literatur über bestehende Modelle wurde recherchiert.

Eine Auseinandersetzung mit den komplexen und vielfältigen Vorgängen während der Erstarrung fand unter anderem im AK ‚Modellierung der Erstarrung‘ und im Rahmen der Seminarreihe statt.

Um die zukünftige Berücksichtigung von Fluidmechanik, Erstarrung und Wärmeleitung zu ermöglichen wurden Langrangsche, Eulerische und ‚Arbitrary Lagrangian Eulerian‘ Betrachtungsweise verglichen und verschiedene Diskretisierungsmöglichkeiten identifiziert. Darüber hinaus wurden pure und hybride Diskretisierungen mit linearen und isogeometrischen Elementen untersucht. Eine hybride Methode zur automatischen Erzeugung von volumetrischen Rechengittern mit stetigen Oberflächen aus T-Splines wurde entwickelt.

Es wurden Kontakte zu anderen TP geknüpft um den Erkenntnisaustausch anzutreiben und kommende Kollaborationen vorzubereiten.

### **Ergebnisse**

Der hauseigene FE-Code bietet aktuell die Möglichkeit den Kontakt zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten zu simulieren. Es können sowohl Lagrangesche als auch Isogeometrische finite Elemente verwendet werden. Die Verwendung der Membranformulierung ermöglicht die effiziente numerische Beschreibung von Flüssigkeiten anhand ihrer Oberfläche.

Der Einblick in die Erstarrung von Schmelze offenbart die hochgradige Komplexität dieses Prozesses. Bereits bestehende Modelle decken nur einen Teilbereich der Erstarrung ab, sind nur für wenige Materialien anwendbar und zeigen häufig große Ungenauigkeiten. Der Erstarrungsvorgang ist heute noch nicht vollständig verstanden und zeigt bei Reproduktion oft große Abweichungen im Endergebnis. Eine Kombination mehrerer Erstarrungsmodelle und ggf. die Interpolation zwischen ihnen könnte ein Gesamtmodell für den vollständigen Erstarrungsvorgang ergeben.

Zunächst soll auf eine volumetrische Diskretisierung der Flüssigkeit verzichtet werden. Die Nutzung der Boundary-Element Methode (BEM) ermöglicht eine effiziente numerische Handhabung, beschränkt den Strömungszustand allerdings auf kleine Reynoldszahlen ( $Re < 1$ ). Eine mögliche Alternative für höhere Reynoldszahlen stellt eine ALE-Betrachtung der Oberfläche und eine Eulerische Betrachtung des Volumens dar.

Die Methode zur volumetrischen Netzerzeugung aus T-Splines wurde auf der IGA 2015 präsentiert. Die Methode wurde zur Simulation der Wärmeleitungsgleichung verwendet und validiert.

Im ersten Jahr haben sich bereits erste Kooperationen innerhalb des SFB ergeben. So besteht eine Zusammenarbeit mit TP B7 in Hinblick auf die theoretische Ermittlung, die praktische Messung und die Modellierung des Wärmeübergangs. Diese wird unter anderem im Rahmen der gemeinsamen Treffen der AK ‚Modellierung des Energietransfers an Grenzflächen‘ und ‚Modellierung der Erstarrung‘ realisiert.

Um die Vergleichbarkeit mit Methoden aus anderen TP zu gewährleisten soll ein Füllvorgang abgebildet werden, der auch von TP B5 simuliert wird. Hierbei soll eine Stokes-Strömung mittels BEM erstmals berücksichtigt werden. Auch mit TP A10 wurde eine mögliche zukünftige Zusammenarbeit identifiziert. Dabei geht es um eine Simulation des Aufpralls eines Flüssigkeitstropfens beim thermischen Spritzen. Des Weiteren haben Mitarbeiter aus B1 und B3 Interesse an Kontakt-Simulationen im Spritzgussbereich signalisiert.

### **Zusammenfassung und Ausblick**

Die geplanten Arbeitspunkte wurden im großen Maße erfüllt. Während die Implementierung der Oberflächenrauheit noch nicht durchgeführt wurde, ist die Berücksichtigung der Fluidmechanik (AP 1.5, 2. Jahr) bereits vorbereitet. Außerdem soll das Kontaktmodell im nächsten Jahr um Erstarrung und Wärmeleitung erweitert werden. Letztere wurde mit hybriden Diskretisierungsverfahren simuliert und lieferte teilweise viel versprechende Ergebnisse die in naher Zukunft veröffentlicht werden.

Um die Erstarrung der Schmelze zu berücksichtigen, soll im betreffenden AK zunächst ein möglichst flächendeckendes Modell erarbeitet werden. Sollte dies in der nächsten Zeit nicht möglich sein, sind ein oder mehrere Materialmodelle für den entsprechenden Anwendungsbereich zu wählen.

Die Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten soll erweitert und intensiviert werden. Als nächster kooperativer Schritt werden die Randbedingungen und Modellparameter der Ausfüllsimulation mit TP B5 genau definiert um vergleichbare Bedingungen zu erhalten.

### **Veröffentlichungen**

HARMEL, M.; SAUER, R.A; BOMMES, D.: Volumetric Mesh Generation from T-Spline Surface Representations.

*Proceedings of the III International Conference on Isogeometric Analysis*. 2015, Trondheim.