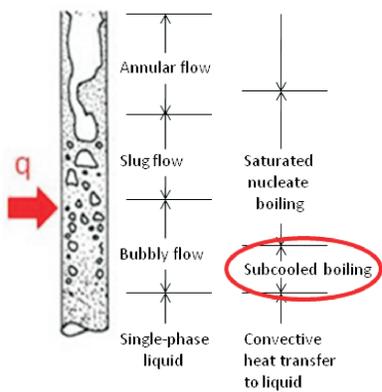


CFD-Modellierung eines Siedewasserreaktors

Nachrechnung der Wärmeübertragung im Unterkanal und Simulation der Durchströmung eines Abstandhalters

Zwei-Phasen-Strömung tritt im Brennelement des Siedewasserreaktors auf und hat großen Einfluss auf das Verhalten des Reaktors während des regulären Betriebs und im Störfall. Darüber hinaus bildet sie sich auch im Falle eines Kühlmittelverluststörfalls (LOCA) im Druckwasserreaktor aus. Aus diesem Grund ist das Ziel vieler Sicherheitsuntersuchungen Modelle zu erstellen, die eine zuverlässige Vorhersage von Zwei-Phasen-Strömungsphänomenen, wie Kondensation und Sieden, ermöglichen.



Allgemein:

Die Wärmeübertragung an das Fluid führt zur Entwicklung einer Zwei-Phasen-Strömung. Vorhandene numerische Modelle gelten nur für den Bereich des unterkühlten Siedens (subcooled boiling; s. Abb. 1). Dieser Bereich wird durch große Wärmeübertragungskoeffizienten charakterisiert und setzt ein, sobald die Temperatur der Flüssigkeit in Wandnähe größer ist als die Sättigungstemperatur ($T_1 > T_{sat}$).

Abbildung 1: Wärmeübertragungsregime

Probleme bei der Erzeugung eines Abstandhalters :

- Aus numerischen Gründen ist die genaue Reproduzierung der Abstandshaltergeometrie nicht möglich, da auftretende infinitesimal kleine Fluidbereiche nicht oder kaum erfasst werden können.
- Die Generierung einer vereinfachten Geometrie und des dazugehörigen Gitters erfordert sehr viel Zeit und erhöht den Rechenaufwand sehr.

Aus diesem Grund wird versucht die typischen Strömungszustände, welche durch einen Abstandshalter generiert werden, mittels "künstlicher" Abstandshalter nachzubilden. Die vier wesentlichen Strömungsveränderungen sind :

Stromlinienverwirbelung, Druckverlust, Geschwindigkeitserhöhung, Turbulenzerzeugung

Ergebnisse :

Die Simulation der ein- und zweiphasigen Durchströmung eines Brennstabsegments (s. Abb. 2) führte zu qualitativ guten Ergebnissen. Als Beispiel dient hier der Vergleich zwischen den simulierten Temperaturverläufen (einphasig; s. Abb. 3) und dem aus der Theorie bekannten Temperaturverlauf eines Druckwasserreaktors (s. Abb. 4).

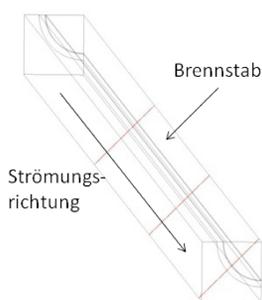


Abbildung 2: Brennstabsegment und Unterkanaldiagonalen (rot)

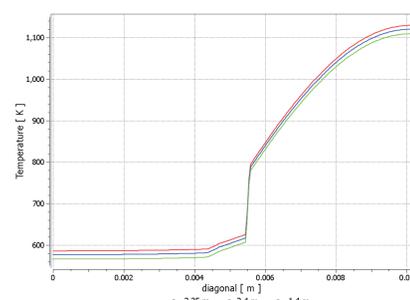


Abbildung 3: Radiale Temperaturprofile in verschiedenen Höhen

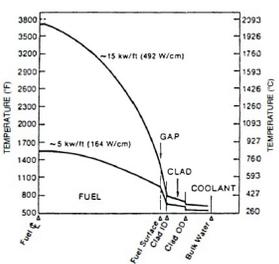


Abbildung 4: Typische Temperaturprofile eines Druckwasserreaktors

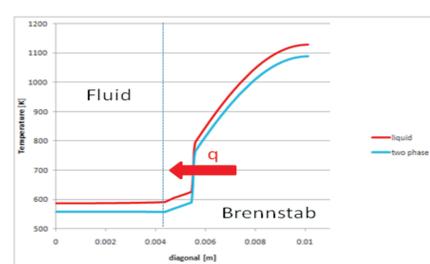


Abbildung 5: Radiale Temperaturprofile für ein- und zweiphasige Durchströmung

Ergebnisse :

Sowohl die Stromlinienverwirbelung als auch der Druckverlauf über die Unterkanallänge konnten erfolgreich durch den Einsatz eines "künstlichen" Abstandhalters nachgebildet werden. Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die Stromlinienverwirbelungen, welche durch den vereinfachten Abstandshalter und dem "künstlichen" Abstandshalter verursacht werden. Im ersten Fall kann die Geschwindigkeitserhöhung durch die Kanalverengung

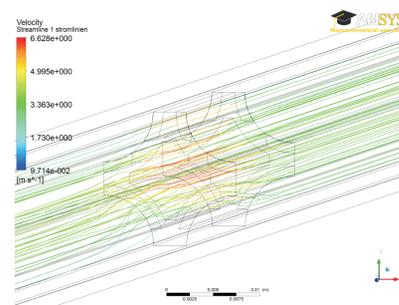


Abbildung 6: Einfluss der vereinfachten Abstandshaltergeometrie auf die Stromlinien

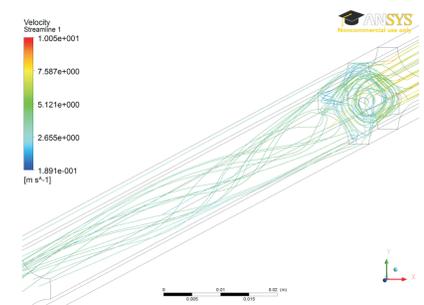


Abbildung 7: Einfluss des "künstlichen" Abstandhalters auf die Stromlinien

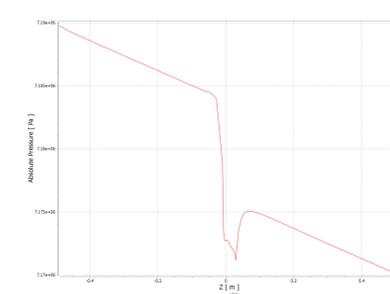


Abbildung 8: Entwicklung des absoluten Drucks über die Höhe (vereinfachter Abstandshalter)

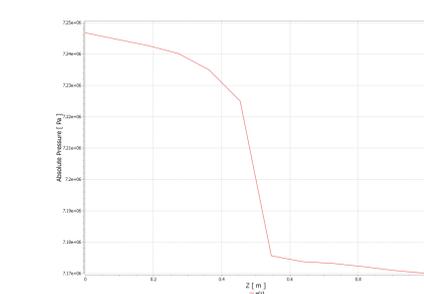


Abbildung 9: Entwicklung des absoluten Drucks über die Höhe ("künstlicher" Abstandshalter)

Darüber hinaus wird aus Abbildung 5 ersichtlich, dass das Temperaturprofil der flüssigen Phase bei zweiphasiger Umströmung unterhalb des einphasigen Temperaturprofils liegt. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Wärmeübertragung im Bereich des unterkühlten Siedens höher ausfällt, als bei einphasiger. Der Grund dafür ist, dass die Wärme nicht nur durch einphasige Konvektion abgeführt wird, sondern auch durch Blasensieden.

gut nachgebildet werden. Im zweiten Fall kann durch den Einsatz eines künstlichen Abstandhalters die Stromlinienverwirbelung realistischer reproduziert werden. Der Druckverlust über die Rohrlänge kann aus den Abbildungen 8 und 9 entnommen werden. Der Verlauf kann mittels eines "künstlichen" Abstandhalters gut reproduziert werden. Weitere (nicht dargestellte) Simulationsergebnisse zeigten, dass das Einfügen eines künstlichen Abstandhalters sehr wenig bis keinerlei Turbulenz erzeugt. Durch weitere Arbeiten muss versucht werden eine Turbulenzquelle innerhalb des künstlichen Abstandhalters zu implementieren.

Ansprechpartner : Dipl.-Ing. Filippo Pellacani
e-mail : Filippo.Pellacani@ntech.mw.tum.de
Telefonnummer : 089/ 289 156 24
Raum : MW 0430

Ausblick :

Die nächste Herausforderung ist, den Einsatz eines porösen Mediums durch die Ergänzung der Schließungsbedingungen für die Wärmeübertragung zu ermöglichen. Dadurch erhofft man sich einen genaueren Geschwindigkeitsverlauf über den Abstandshalter nachbilden zu können. Des Weiteren muss die Knotenanzahl im Brennstab durch Sensibilitätsanalysen stark reduziert werden, um den Rechenaufwand minimieren zu können. Dies ist von besonderem Interesse, da in Zukunft die Durchströmung des gesamten Brennelements simuliert werden muss.