Grundlagen der CFD-Simulation

Im letzten Kapitel werden die physikalischen Grundlagen der Strömung, Turbulenz sowie die Turbulenzmodellierung vorgestellt. Jetzt werden die beschriebenen Grundregel verwendet, um ein räuliches Fluidvolumen unter bestimmten Bedingungen simulieren zu können. Dies bedeutet, dass für jeden Kontinuum des Fluidvolumen die Temperatur, Druck, Dichte, Dissipation, TKE usw. gefunden werden soll. CFD wie jede numerische Methode beginnt immer mit einem mathematischen Modell. Das mathematische Modell ist ein System von partiellen Differentialgleichungen und die dazugehörige Randbedingungen. Als nächstes soll ein optimales numerisches Gitter erstellt und diskretisiert werden. Für jedes individuelle Kontrollvolumen dieses Gitters wird das mathematische Modell angewandt(angewendet). Der letzte Schritt ist die Lösung der diskretisierten Differenzengleichungen. Im nächsten Unterkapitel werden alle Komponenten, Eigenschaften und Schritte einer numerischen Lösungsmethode zur Berechnung von Fluidströmungen genau betrachtet und erläutert.[Peric]

**Komponenten eines CFD-Modells**

Mathematiches Modell

Ein mathematisches Modell besteht hauptsächlich aus den partiellen Differenzialgleichungen, die das physikalische Modell eines System beschreiben. Die Differenzialgleichungen und die dazugehörige Randbedingungen sind eine Interpretation der Naturgesetze, die eigentlich nicht völlig in der Natur stimmen. Trotzdem der Abweichungsfehler(auch modellfehler genannt) in den meisten Fälle(n) zu vernachlässigen.[Modellbildung und Simulation, Thomas Westermann]

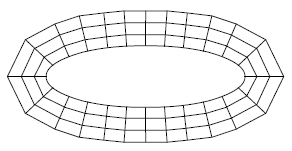
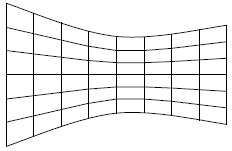
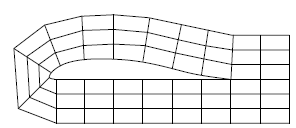
**Numerisches Gitter**

Durch das numerische Gitter (oder auch Rechengitter) wird das Strömungsgebiet lückenlos und ohne Überlappung in eine Menge von Gitterzellen oder Kotrollvolumen KV zerteilt. Zu jedem KV gehört außerdem ein charakteristischer Punkt, zum Beispiel der Zellmittelpunkt, in dem die Strömung sgrößen gespeichert werden. Anhang der einzelnen KV und Topologie(den Nachbarschaftsbeziehungen) zwischen den KV werden die Gitter in zwei unterschiedlichen Hauptkategorien, die strukturirten und unstrukturierten Gitter, eingeteilt.[ Modellbildung und Simulation, Thomas Westermann]

Strukturiertes Gitter

Regelmäßige oder strukturierte Gitter bestehen aus Sätzen von Gitterlinien mit der Eigenschaft, dass die Mitglieder eines Satzes sich nicht kreuzen und jedes Mitglied eines anderen Satzes nur einmal schneiden. Dies ist die einfachste Gitterstruktur, da sie topologisch dem kartesischen Gitter äquivalent ist.[Peric]

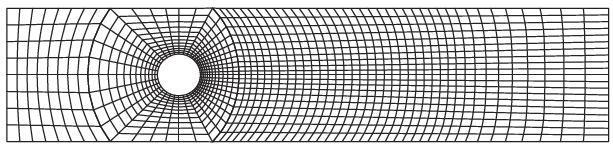
Abbildung 3-... Beispiel für eine 2D strukturiertes, nicht-orthogonales Gitter

[cfd]

Der Nachteil von strukturierten Gitter besteht darin, dass sie nur in geometrisch relativ einfachen Lösungsgebiet einsetzbar sind. Ein weiterer Nachteil ist, dass es schwierig sein kann, die Verteilung von Gitterpunkte zu kontrollieren. Die aus genauigkeitsgründe notwendige Konzetration von Punkten in einem Gebiet führt zu unnötig kleinen Abstände in anderen Teilen des Lösungsgebietes und damit zu Verschwendung von Resourcen. Strukturierte Gitter können H-, O- oder C-Typ sein. Die Bezeichnungen wurden von der Form der Gitterlinien hergeleitet.[Peric]

Blockstrukturiertes Gitter

In einem blockstrukturierten Gitter gibt es eine zwei- (oder mehr) stufige Unterteilung des Lösungsgebietes. Auf diese Weise können Strömungsgebiete komplizierter Form gehandhabt werden, wobei die Gitterqualität besser optimiert werden kann, als bei nur einem Block.

[Peric]

In Abbildung ist ein blockstrukturiertes Gitter mit drei Blöcken gezeigt, bei dem an den internen Blockgrenzen die Gitterauflösung von beiden Seiten identisch ist.[Peric]

Unstrukturiertes Gitter

Für sehr komplizierte Geometrien ist der flexibelste Gittertyp derjenige, der sich bestmöglich an die beliebige Geometrie des Lösungsgebietes anpasst. Solche Gitter einigen sich für alle Diskretisierungsmethoden. Trotzdem sind die am meisten geeignet für Finite-Voliumen und Finite-Elemente-Verfahren. In der Praxis werden normalerweise im 3D-Fall Hexaeder(n) oder Tetraeder(n) verwendet.[Peric]

Hybrides Gitter

**Bewertung der Gitterqualität(Forderung)**

Finite Approximationen

Nach der Wahl des Gittertyps muss man die Approximationen aussuchen, die im Diskretisierungsprozess angewendet werden. In einer Finite-Differenzen-Methode müssen Approximationen für die Ableitungen in den Gitterpunkten ausgewählt werden. In einer Finite-Volume-Methode müssen Approximationen für die Flächen- und Volumenintegrale, Gradienten und Interpolation zwischen den Stützstellen ausgesucht werden. In einer Finite-Elemente-Methode müssen die Formfunktionen(Elemente) und Gewichtungsfunktionen ausgewählt werden.[Peric]

**Diskretisierungverfahren**

**Diskretisierung des Raumes**

Finite-Differenzen-Methode

Finite-Volumen-Methode

Finite-Elemente-Methode

**Diskretisierug der Zeit**

Lösungsmethode

Die Diskretisierung ergibt ein großes, nichtlineares algebraisches Gleichungssystem. Die Lösungsmethode maßgeblich hängt vom Problem ab. [Peric]

Konvergenzkriterien

Schließlich müssen die Konvergenzkriterien für die iterativen Methoden festgelegt werden. Normalerweise gibt es zwei Iterationsebenen: innere Iterationen, in denen die linearen Gleichungssysteme gelöst werden, und ein äußere Iterationen, mit denen die Nichtlinearität und die Kopplung der Gleichungen erfasst werden. Die Entscheidung, wann der Iterationsprozess auf jeder Ebene gestoppt werden soll, ist sowohl in Hinsicht auf die Genauigkeit als auch die Effizienz wichtig.[Peric]

Eigenschaften eines CFD-Modells

Konsistenz

Stabilität

Konvergenz

Conservation

Boundedness

Realizability

**Genauigkeit**

Numerische Lösungen von Strömungs- und Wärmeübergangsproblemen sind nur Näherungslösungen. Zusätzlich zu den Fehler, die im Laufe der Entwicklung der Lösungsverfahren, beim Programmieren oder bei der Festlegung der Randbedingungen eingeführt werden können, beinhalten numerische Lösungen immer drei Arten von systematischen Fehler.[Peric]

**Modellfehler**, die als Differenz zwischen der tatsächlichen Strömung und der genauen Lösung des mathematischen Modells definiert sind.[Peric]

**Diskretisierungsfehler**, die als Differenz zwischen der genauen Lösung der Erhaltungsgleichungen und der genauen Lösung der durch Diskretisierung dieser Gleichungen entstandenen algebraischen Gleichungssysteme.[Peric]

**Iterationsfehler**, definiert als die Differenz zwischen der iterativen und genauen Lösung der algebraischen Gleichungssystem[Peric]

Prozessablauf einer kommerziellen CFD-Simulation