

Strömungssimulation einer Cessna 177

Mit geeigneter Computersoft- und Hardware und Know-How im Bereich Strömungssimulation ist es möglich Flüssigkeits- oder Gasströmungen zu simulieren. So können unter anderem Prozesse und Geometrien ausgelegt oder optimiert werden. Ausserdem werden auf diese Art Schadensanalysen (z.B. die Ermittlung von Kavitation) durchgeführt. Zudem stellen Strömungssimulationen eine kostengünstige Alternative zu aufwändigen Prototypen oder Windkanalversuchen dar. Auch die empirische Ermittlung von Prozessparametern kann durch Strömungssimulation ersetzt werden. Mit der Simulation werden in unserem Fall die aerodynamischen Eigenschaften einer Cessna 177 bestimmt. Der Ablauf einer Simulation, Ergebnisse, Allgemeines über Strömungssimulation und was sie dazu benötigen, erfahren sie in folgendem Bericht.

Was ist CFD?

Der Begriff Computational Fluid Dynamics (CFD) bezeichnet die numerische Simulation von Strömungen. Dabei werden in Computerprogrammen mit Hilfe geeigneter Algorithmen mathematische Modelle gelöst. Das grundlegende Modell der Strömungsmechanik sind die Navier-Stokes-Gleichungen, erweitert um die Kontinuitätsgleichung und um die Energiegleichung. Dieses Modell wird auf eine zwei- oder in diesem Fall auf eine dreidimensionale Geometrie angewendet und dann gelöst. Nach erfolgreichem Lösen des mathematischen Modells, kann mit einem Postprocessingprogramm das Resultat welches in Text-Files vorliegt, graphisch ausgewertet werden.

Zu den Strömungssimulationen gibt es noch folgendes zu sagen: Es existieren kommerzielle Programme und Open Source Programme. Durch die Lizenzkosten der kommerziellen Codes ist die Anwendung im privaten Bereich eigentlich ausgeschlossen. Das bekannteste Open Source Programm für Strömungssimulationen ist OpenFOAM. Dies wurde hier verwendet.

Geometrie und Netz

Beim Flugzeug handelt es sich wie schon erwähnt um eine Cessna 177 mit einer Spannweite von ca. 1.2 Meter und einer Länge von 0.9 Meter. Um die Strömung ums Flugzeug simuliert zu können, bedarf es einem Volumen welches von der Form her dem strömenden Medium (Luft) entspricht. Das Flugzeug wird also wie in Abb. 1 ein Hohlkörper in einem grösseren Volumen sein, welches mit einem 3D-CAD-Programm erstellt wird. Damit die Strömung im Volumen berechnet werden kann, muss die Geometrie in kleine Rechenzellen unterteilt werden. Dieses Unterteilen nennt man Vernetzen. Das Volumen hier wurde mit snappyHexMesh, einer Vernetzungsvariante die in OpenFOAM integriert ist, vernetzt. Das Netz besteht aus gut 10 Mio. Rechenzellen. Mit dem mathematischen Modell werden in jeder Rechenzelle die physikalischen Werte wie Geschwindigkeit, Druck und von der Modellwahl abhängig, andere Parameter berechnet. Der Algorithmus rechnet dann das ganze Netz durch und ist für die Weitergabe der Werte zu den Nachbarzellen verantwortlich.

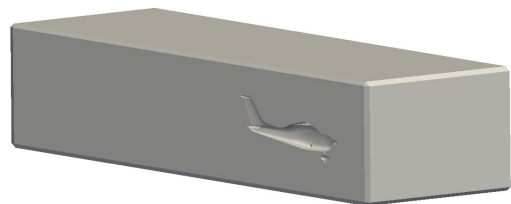
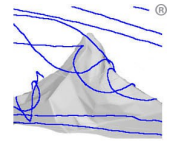


Abb.1: Modell zur Simulation

Solvereinstellungen und Randbedingung

In OpenFOAM sind mathematische Modelle und Algorithmen in sogenannte Solver zusammengefasst. Das Programm beinhaltet einige Standardsolver. Diese Simulation wurde mit MRFSimpleFoam berechnet. Der Solver ist für inkompressible Medien ausgelegt. Luft ist zwar ein kompressibles Medium, bei den vorhandenen Druckbedingungen ist die Kompressibilität jedoch vernachlässigbar.



Die Simulation ist analog zu einem Windkanalversuch. Das bedeutet, dass das Flugzeug an Ort und Stelle steht und von Luft umströmt wird. Die strömende Luft wird an der Randfläche vor dem Flugzeug initialisiert. Da die Fläche hinter dem Flugzeug als Ausgang definiert ist, strömt die Luft durch das Volumen. (Abb. 2.)



Abb.2: CFD Modell

Zum Propeller: Es gibt zwei Möglichkeiten wie die Rotation des Propellers simuliert werden kann. In beiden Fällen wird ein Zylinder um den Propeller definiert (Abb. 2.) Dieser Zylinder kann nun mit einer Winkelgeschwindigkeit um seine Rotationsachse gedreht werden, die der Drehzahl des Propellers entspricht. Hierbei muss mit beweglichen Netzen gearbeitet werden. Die zweite Möglichkeit besteht darin, im Zylinder einen Drehimpuls zu initialisieren. Der Drehimpuls erzeugt dann das Moment, welches eigentlich der Propeller erzeugen würde. Bei dieser Methode wird der Zylinder als MRF-Zone (multiple-reference frame) definiert. Wie sich am ausgewählten Solver erkennen lässt, wurde diese Möglichkeit gewählt. Der Hauptgrund liegt darin, dass das Arbeiten mit beweglichen Netzen um Faktor Zehn aufwändiger ist. Apropos Aufwand: Die gesamte Rechenzeit belief sich auf 45 Stunden.

Ergebnisse

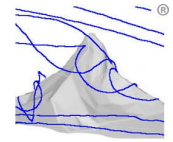
Mit Hilfe von ParaView, einem Postprocessingprogramm welches standartmässig bei OpenFOAM dabei ist, hat man die Möglichkeit

die Simulationsergebnisse grafisch darzustellen. Das Programm liefert diverse Filter mit denen es unter anderem möglich ist Schnittflächen, Teilvolumen, Konturen, oder Pfadlinien anzeigen zu lassen. Wenn eine Schnittfläche durch das Volumen gelegt wird, werden Rechenzellen durchtrennt. ParaFoam zeigt dann z.B den Druck- oder Geschwindigkeitswert der geschnittenen Zellen als Farbe an. Je gröber das Netz ist, umso verpixelter wirkt das Ergebnis. Um dem entgegenzuwirken, besteht die Option die Zellenwerte mit den Nachbarzellen zu interpolieren und so eine feinere Abstufung der Wertveränderung zu erhalten. Auf Abbildung 3 sehen sie eine Schnittfläche durch die Tragfläche des Flugzeugs. Als Erstes wurde das Netz angezeigt, dann die Zellenwerte Geschwindigkeit und am Ende die interpolierten Werte davon. Darauf zeigt sich dann die Geschwindigkeitsverteilung um den Tragflügel. Ersichtlich ist der Standpunkt (blau:0-10m/s) sowie die Geschwindigkeitsüberhöhung im vorderen Bereich der Flügeloberseite.

Da die Druckwerte an der Oberfläche des Flugzeuges bekannt sind, kann der Auftrieb errechnet werden. In Abbildung 4 ist der Auftrieb in Abhängigkeit der Fluggeschwindigkeit aufgeführt. Die Formel [1] zeigt, dass der Auftrieb von der Anströmgeschwindigkeit im Quadrat abhängt und somit den Graphen bestätigt. Bei einer Fluggeschwindigkeit von 15m/s (54km/h) ergibt sich ein Auftrieb von ca. 21 Newton, was auf der Erde ca. 2.1 Kilogramm entspricht. Anhand des Graphen kann also das maximale Gewicht bei einer bestimmten Geschwindigkeit oder die erforderliche Geschwindigkeit bei gegebenem Gewicht bestimmt werden.

Weiter wurden Pfadlinien vor dem Flugzeug initialisiert (Abb. 5). Diese Linien beginnen an einem vorgegebenen Punkt und folgen dann, tangential dazu ausgerichtet, dem Geschwindigkeitsvektor. So kann die Strömung sichtbar gemacht werden. Schön zu sehen sind hier die Wirbelschleppen an den Tragflächenrändern.

Wenn man detaillierte Informationen über eine Komponente des Flugzeuges, sagen wir das starre Fahrwerk, auswerten will, ist es von



Vorteil, wenn die betroffenen Flächen schon vor der Simulation definiert werden, damit man sie in ParaView einfach aufrufen kann. Sie sehen also, dass mit geplantem Erstellen der Simulation, die Auswertungsmöglichkeiten sehr vielfältig sind.

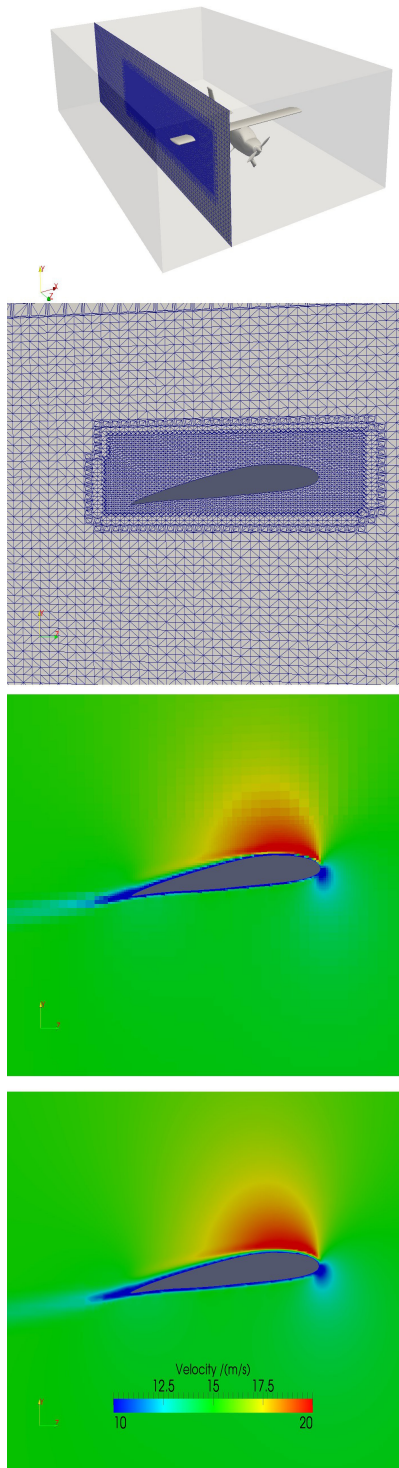


Abb.3: Querschnitt Tragflügel

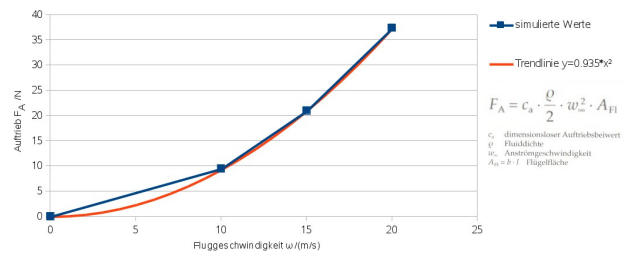


Abb.4: Auftrieb des Flugzeuges

Nutzen einer Simulation

Das Berechnen von Kräften auf einzelne Bauteile oder aufs ganze Flugzeug, stellt wohl den grössten Nutzen der Simulation dar. Belastungen oder Auftrieb bei vorgegebener Geschwindigkeit können berechnet werden. Somit können die aerodynamische Eigenschaften eines beliebigen vernetzbaren Objekts untersucht werden, ohne dass dieses in der Realität existiert. Vernetzbar heisst, dass das Geometrievolumen in sich Geschlossen sein muss.

Auch der Einfluss von Geometrieänderungen kann errechnet werden, wie zum Beispiel der Unterschied von ein- und ausgefahrenem Fahrwerk. Phänomene wie Strömungsabriss oder Wirbelschleppen werden durch die Simulation sichtbar.

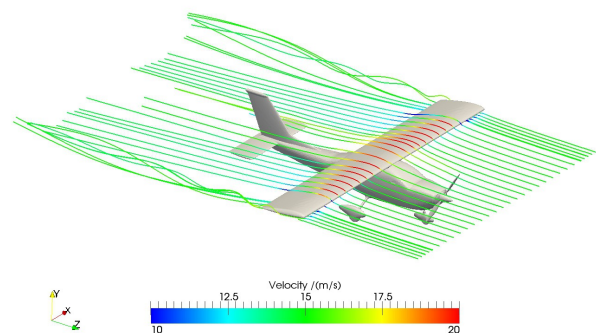
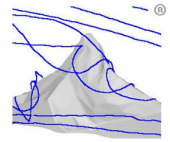


Abb.5: Pfadlinien mit Randwirbel

Wenn sie selber simulieren wollen

Die Voraussetzungen um eine Simulation durchzuführen, kann in drei Bereiche eingeteilt werden. Know-How, Computerhardware und Software.



Zum Know-How sollte gesagt werden, dass ein gewisse Begabung im Bereich der Informatik vorhanden sein sollte. Da vor gut 10 Jahren ein GB RAM Arbeitsspeicher in Heimcomputern noch viel war, wird noch nicht so lange im privaten Bereich simuliert. Das ist mit ein Grund, dass OpenFOAM nicht wirklich Benutzerfreundlich ist und der Einstieg am Anfang sehr hart sein kann. Wer aber der englischen Sprache mächtig ist und sich gewohnt ist in Internet-Foren Hilfe zu suchen, hat durchaus gute Voraussetzungen um eine Simulation aufsetzen zu können.

Bei der Hardware empfiehlt sich ein Minimum von 8GB RAM Arbeitsspeicher und ein Mehrkernprozessor. Als Faustregel gilt, dass 2 GB RAM Arbeitsspeicher pro 1 Mio. Rechenzellen benötigt werden. Im Fall dieser Cessna wurden also 20 GB RAM benötigt. Sie können aber auch gröber vernetzen und erhalten somit weniger Rechenzellen, was zu einer geringeren Auflösung des Strömungsfeldes führt. Simulationen können in OpenFOAM parallelisiert werden. Das heisst, dass z.B. das Netz von 10 Mio Rechenzellen auf 6 Rechenkerne (CPU-Cores) aufgeteilt werden kann. Jeder Kern berechnet dann ein Teilnetz von durchschnittlich 1.67 Mio Zellen. Deshalb ist es auch sinnvoll einen Mehrkernprozessor zu besitzen.

Bei der Software benötigen sie OpenFOAM. Kostenlos ist es für Linux erhältlich. Sie können aber auch Windows besitzen und mit Hilfe von VirtualBox eine Linuxversion auf ihrem Windows installieren. Zusätzlich brauchen sie noch das zu simulierende Modell als 3D-CAD-File.

[1] Bohl/Elmendorf: Technische Strömungslehre. 14., überarbeitete und erweiterte Auflage.
Vogel Buchverlag, 2008,
ISBN 978-3-8343-3129-8

OpenFoam: www.openfoam.org
Paraview: www.paraview.org