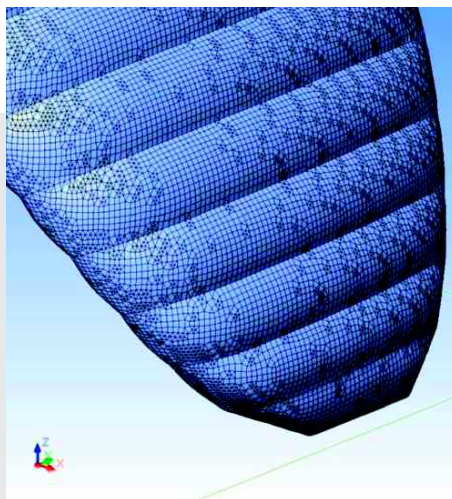


COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS SIMULATIONS

CFD in der Gleitschirm-entwicklung



Traditionellerweise werden Strömungsprobleme durch Experimente im Windkanal gelöst. In der Gleitschirmentwicklung sind solche Untersuchungen wegen den Schirmabmessungen und Kosten langfristig nicht realisierbar. Umso interessanter ist daher die numerische Simulation, die in den letzten Jahrzehnten Experimente im Windkanal zunehmend ergänzt und zum Teil ganz ersetzt. Ob solche Simulationen auch in der Gleitschirmentwicklung sinnvoll sind, sollte ein Benchmark-Test der Firma NUMECA an Hand eines Swing-Gleitschirms klären.

TEXT UND FOTOS TORSTEN SIEGEL

Eigentlich war es genau eine dieser E-Mails, die man normalerweise sofort löscht. Nicht weil der Absender Philippe Broers heiß und schon öfters mit phantastischen Ideen die Arbeitsstunden pulverisierte, sondern weil der Link zu einem 41-minütigen Video über Viktor Schaubberger und Vortex-Ringe führte. Das sofortige Löschen verhinderte nur Philippes Anmerkung, dass er während eines Überseeflugs Ivan Schrooyen, Mitarbeiter der Firma NUMECA, als Sitznachbar hatte und neben einer philosophisch geprägten Diskussion über Vortex-Ringe auch die Möglichkeit von CFD-Simulationen für Gleitschirme erörterte. Ivan Schrooyen lenkt seit 15 Jahren Powerkites und die Möglichkeit, textile Flächen zu untersuchen, faszinierte auch ihn.

NUMECA

1993 wurde NUMECA von Prof. Charles Hirsch als Spin-off-Unternehmen des „Fluid Mechanics Departments“ der Vrije Universität in Brüssel gegründet und entwickelte sich mit 300 Kunden (darunter Siemens, Rolls-Royce, GE und zahlreichen Universitäten in Deutschland) und über 3.000 verkauften Lizenzen zu einem der führenden Softwareunternehmen im Bereich der CFD-Simulationen. Der Hauptsitz von NUMECA befindet sich in Brüssel mit Niederlassungen in Russland, Japan, USA, Japan, China, Indien, Korea und weiteren Ländern. 1997 gründete Dr. Ing. Thomas Hildebrandt das NUMECA Ingenieurbüro als Niederlassung in Deutschland, dessen Geschicke er seitdem leitet.

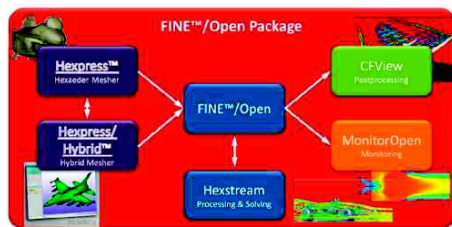
Auch wenn die numerische Strömungsmechanik eine kostengünstige Alternative zu Windkanal-Versuchen darstellt, so sind die Preise für das Gleitschirmbusiness nach wie vor erheblich: Eine jährliche Lizenz für eine einfache, auf zwei Prozessoren ausgelegte Berechnungssoftware liegt bei über 10.000 Euro. In der Regel werden bei genaueren Berechnungen über

8 Prozessoren eingesetzt, wodurch die Lizenzgebühr auf über 20.000 Euro im Jahr steigt. Die Beträge stellen ein hohes Investitionsvolumen für jede Gleitschirmfirma dar, welches nur gerechtfertigt ist, wenn die Ergebnisse der CFD-Simulationen auch einen Mehrwert für die Weiterentwicklung der Schirme liefern.

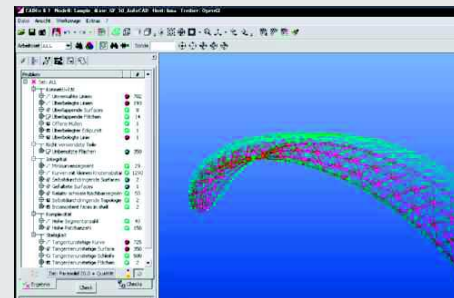
Bausteine der Strömungssimulation

Die Wunschvorstellung schwebt in vielen Köpfen: Einfach auf einen Knopf klicken und eine Strömungssimulation am Gleitschirm wird sichtbar. Schließlich gibt es genügend Programme und Apps, die Strömungen simulieren. Dabei handelt es sich aber meist um rein graphische Lösungen, die für Werbezwecke genutzt werden, aber keine quantitativen und somit technisch verwertbaren Ergebnisse liefern. Vielmehr benötigt man für eine vollständige CFD-Simulation ein ganzes Bündel an Programmen, die in zeitgemäßen kommerziellen CFD-Paketen aber mittlerweile nahtlos integriert sind.

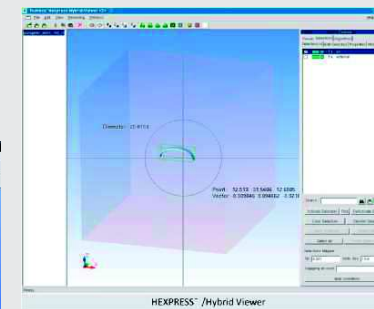
Die Entwicklung des CAD-Modells basiert meist auf eigenen Software-



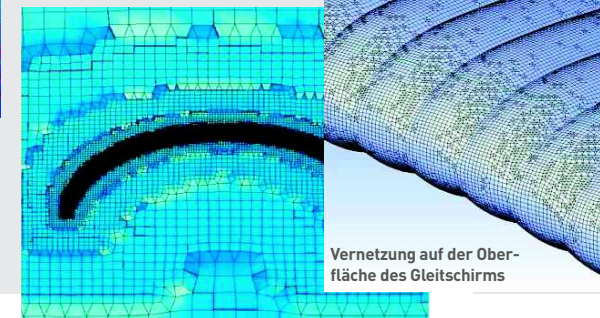
Programmaufbau einer Strömungssimulation



Überprüfung des CAD-Modells mit CADfix



CAD-Modell mit Randbedingungen und Wandfunktionen



Vernetzung auf der Oberfläche des Gleitschirms

Gitter-Anordnung im Strömungsraum um den Gleitschirm Intel® Core™ i7 CPU 950 @ 3.07 GHz

entwicklungen der Gleitschirmhersteller oder Konstruktionen, die sich auf AutoCAD und GliderPlan stützen. Programme wie CADfix überprüfen die Flächengüte dieser Modelle, bevor es an die Gitter-Erstellung geht. Hier kommen sogenannte „Mesher“ zum Einsatz, wie HEXPRESS™/Hybrid, der ein Hexaeder-dominantes Gitter erzeugt. Die eigentliche Strömungsberechnung findet im Anschluss statt. Hier werden „Solver“ wie FINE™/Open verwendet und erst im letzten Schritt werden die mathematischen Berechnungen in einem Post-Processing mittels Programmen wie CFView™ graphisch dargestellt.

CAD-Modell und Gitter-Erzeugung

Aktuelle Entwicklungsprogramme in der Gleitschirmkonstruktion liefern mittlerweile sehr exakte 3D-CAD-Modelle, die das Ballooning der Zellen abbilden und selbst Details wie den Versatz nicht aufgehängter Zellen berücksichtigen. Die Übereinstimmung mit den realen Schirmen ist mittlerweile sehr genau, so dass sich diese CAD-Modelle grundsätzlich für CFD-Simulationen eignen. Um den Arbeits- und Rechenaufwand für den Benchmark-Test zu reduzieren, wurden allerdings drei Vereinfachungen vorgenommen: Einlassöffnungen, Leinengeometrie und Pilot inklusive Gurtzeug sind in dem Modell nicht berücksichtigt. Durch die Einlassöffnungen entsteht eine innere Strömung durch die Schirmkammern, welche die Simulation und Gittererzeugung deutlich kompliziert. Das Gleiche gilt für die Leinengeometrie und Pilot/Gurtzeug.

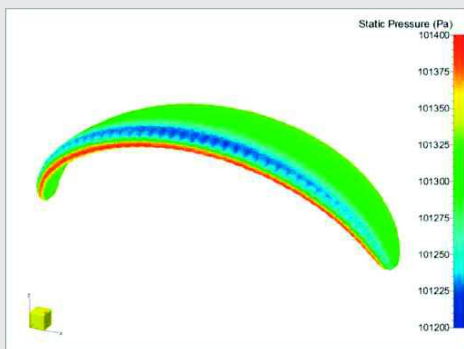
Das so vereinfachte Modell wird zuerst mit CADfix auf seine Flächenqualität und eventuelle Probleme überprüft. In dem Bild sind schwerwiegende Probleme rot markiert, dann folgen gelbe und cyan-farbige. Mit „Q“ sind Geometrieteile gekennzeichnet, die nicht unbedingt repariert werden müssen. Damit sind Probleme schon vor der zeitintensiven Simulation sichtbar und können einfach behoben werden.

Criteria	Value
Number of Cells	4.738.035
Number of hexahedrons	2.622.470
Number of prisms	1.736.405
Number of pyramids	226.064
Number of tetrahedrons	153.096
Minimal edge-length	1.8e-4
Average edge-length	0.023
Maximal edge-length	1.28

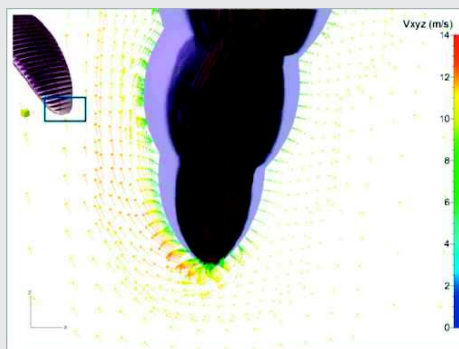
	HEXPRESS™/Hybrid
Meshing time (incl. viscous layers)	14 min*

*Intel® Core™ i7 CPU 950 @ 3.07 GHz

Zusammenfassung der Gitteranordnung und benötigte Rechenzeit



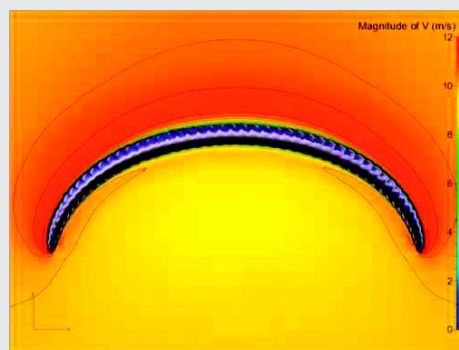
Statische Druckverteilung am Gleitschirm



Geschwindigkeitsverteilung am Außenflügel



Strömungslinien um den Gleitschirm



Geschwindigkeitsverteilung

Solver	FINE™/Open v. 2.11-2
Fluid & Physics	
Flow model	Turbulent Navier Stokes
Turbulence model	Spalart-Allmaras
Fluid	Air (Perfect Gas); $p_{ref} = 101325 \text{ Pa}$; $T_{ref} = 300 \text{ K}$
Boundary Conditions	
External	
Static Pressure	101.325 Pa
Static Temperature	293 K
Vx	0 m/s
Vy	9.85 m/s
Vz	1.74 m/s

Zusammenfassung der Solver Einstellungen

Für jede Schirmkonfiguration muss die Luftströmung um den Flügel berechnet werden. Mathematisch handelt es sich um ein Rand- und Anfangswertproblem, d.h. ein System von Differentialgleichungen muss in einem beschränkten Gebiet gelöst werden. Mit den aktuellen Programmen ist es heute vergleichsweise einfach, ein unstrukturiertes Tetraeder-Gitter zu erzeugen, welches bereits Struktursimulationen erlaubt. Für die Strömungssimulation, insbesondere in den wandnahen Bereichen der Strömung, sind diese Gitter aber wenig geeignet. Die Gittergenerierung außerhalb des Gleitschirms und der Grenzschichten ist maßgeblich für die spätere Genauigkeit der Strömungssimulation verantwortlich, da sie den durchströmenden Raum definiert, der später berechnet wird. Hier spielen Programme wie HEX-PRESS™ ihre Stärken aus, die mit reinen Hexaeder-Gittern deutlich genauere Rechnungen ermöglichen. Neben der Qualität des Gitters ist auch seine Größe, d.h. die Anzahl der Zellen, verantwortlich für die Rechengenauigkeit. Die Größe des Gitters jedoch beeinflusst den Rechenaufwand. Für komplexere Modelle und hochaufgelöste Rechnungen ist mit etlichen Stunden Rechenzeit auf PC-basierten Workstations zu rechnen.

Auswahl der „Solver“

Selbst bei anliegender und inkompressibler Strömung ist es oft schwierig, mit einem Verfahren, welches die strömungsmechanischen Grundgleichungen der Impuls-, Masse- und Energieerhaltung löst, die Turbulenz „richtig“ zu berechnen. Um die Rechenintensität auf ein anwendbares Maß zu reduzieren, muss man zu sogenannten Turbulenzmodellen greifen, die viel Spielraum für Ungenauigkeiten und Anwendungsfehler zulassen. Für inkompressible Strömungen gibt es über ein Dutzend sogenannter „Standard Solver“, die über K-Epsilon, K-Omega oder RSM-Modelle verfügen – hier ist man definitiv auf die Erfahrungen von CFD-Experten angewiesen.

Nachbearbeitung und Darstellungen

Die CFD-Simulation endet nicht mit der Strömungsberechnung. Der Nutzen dieser Berechnung wird vielmehr erst im „Post-Processing“ deutlich, das die graphische Darstellung der rechnerischen Ergebnisse liefert. Die Möglichkeiten, unterschiedliche Animationen zu erzeugen, sind vielfältig. Neben den reinen Strömungsbildern erwecken vor allem 3D-Clips mit geschwenkten Ansichten und Strömungslinien die CFD-Resultate zum Le-

ben. Geschwindigkeits- und Druckverteilung, unterschiedlichste Visualisierungsmöglichkeiten der Strömung und Darstellung der berechneten Daten fallen alle unter den Begriff „Post-Processing“ und werden mit CFView™ entsprechend aufgearbeitet. Die Bilder auf Seite 66 zeigen den Gleitschirm mit einem Anstellwinkel von zehn Grad und einer Strömungsgeschwindigkeit von zehn Metern pro Sekunde:

Fazit des Benchmark-Tests

CFD Lösungen spielen bereits jetzt eine wichtige Rolle in vielen Anwendungen, da die vollständige Information über das Strömungsfeld innerhalb des Berechnungsgebietes zur Verfügung steht. Bei der Reduzierung des Luftwiderstandes und gleichzeitiger Auftriebsverbesserung eines Tragflügels, der Optimierung des induzierten Widerstands und Auslegung neuer aerodynamischer Konzepte bieten CFD-Simulationen eine wichtige Entscheidungshilfe bei der Entwicklung neuer Prototypen. Da Gleitschirmmodelle zudem relativ einfache geometrische Strukturen haben, sind die Ergebnisse auch in der Praxis nachvollziehbar. Bei komplexeren Modellen benötigen CFD-Simulationen meist noch einen Abgleich mit der Praxis. Die Zeiten, in denen die Abkürzung CFD gerne als „Coloured Fluid Dynamics“ oder „Colours For Directors“ betitelt wurde, sind zwar Vergangenheit, aber nach wie vor ist der Test in der Praxis unverzichtbar. Je nach Anwendung bedeutet dies Untersuchungen im Windkanal, bzw. im Gleitschirmbereich Test- und Vergleichsflüge. CFD erlaubt in sehr viel kürzerer Zeit eine Vielzahl an Varianten im Rechner zu simulieren. Die Zahl der Versuchsflüge lässt sich mit CFD deutlich reduzieren. Meist müssen dann nur noch die letzten Varianten tatsächlich fliegerisch erprobt werden. Sicher ist, dass CFD-Simulationen den Weg in die Gleitschirmentwicklung finden werden. Die Möglichkeiten einer zielgerichteten Auslegung und aerodynamischen Optimierung liegen auf der Hand. Dadurch lassen sich Kosten für Prototypen und Testreihen sparen, was am Ende auch eine deutliche Reduzierung des Arbeitsaufwandes bedeutet. Und für die Entwicklung von flexiblen Flächen bietet NUMECA mittlerweile auch eine preislich attraktive Version an, die dem Budget der Gleitschirmhersteller entgegenkommt. Daher ist es wahrscheinlich, dass der nächste Powerkite von Ivan Schroyen mit seiner eigenen Software weiterentwickelt wurde. Ob das Resultat seinen Vorstellungen entspricht, wird er uns dann hoffentlich verraten. ☞

Anzeigen

PARAGLIDING ADVENTURE

Alles rund um's Fliegen!!

Im Soca-Tal

FLY ZONE

www.paragliding-adventure.com

Zimmervermietung
Parataxi im Hause

org. von Ausflügen
und viel mehr
ideal auch
für Gruppen

SLOVENIA

Mehr Infos!

S.Triebel / W.Reinelt
Tel.: +386-(0)41-810-999 http://www.paragliding-adventure.com
5220 Tolmin-Slowenien e-mail: paragliding-adventure@amis.net

Fly & Fly

Spain Aero Activites

Motorschirmfliegen

Denkst du an Deinen nächsten Urlaub?

Wir kümmern uns um alles
Transport, Unterkunft, Gastronomie
Motorschirm – Vermietung
Organisierte Touren, technische
Unterstützung und alternative Aktivitäten

fly-fly@live.com