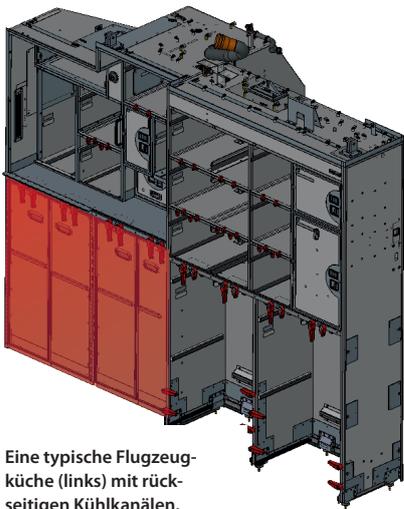


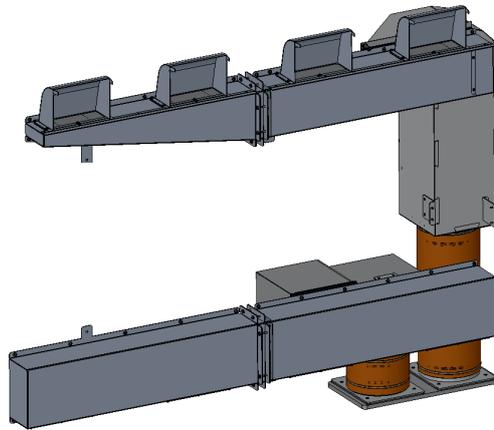
LUFTKANÄLE IN FLUGZEUGKÜCHEN OPTIMIEREN

Effizient gekühlt

Verderbliches muss gekühlt werden – auch an Bord des Airbus A330. Die nötigen Kühlluftführungen in der Bordküche durchlaufen bis dato nach der Konstruktion aufwendige, iterative Tests, bis die notwendigen Kühlfunktionen erreicht werden – neue Methoden können helfen, Kosten zu sparen. DR. HANS-JÖRG DENNIG, REMO JUD UND PATRICK SPIELBERGER



Eine typische Flugzeugküche (links) mit rückseitigen Kühlkanälen.



Die Trolleys (Servicewagen) mit der Verpflegung für die Passagiere parken in isolierten Kühl-Fächern, den sogenannten Compartments. Darin strömt gekühlte Luft entweder durch die Trolleys hindurch oder um sie herum, um die geforderten Temperaturen zu halten. Prinzipiell strömt die Kühlluft durch die oberen Einlässe in den Trolley-Bereich ein und verlässt diesen im unteren Bereich. Die untersuchte Bordküche nimmt bis zu vier Trolleys auf, wobei eine Wand die beiden linken von den beiden rechten abtrennt, sodass zwei Kühlräume entstehen.

Ein Kühlgerät in unmittelbarer Nähe stellt die gekühlte Luft bereit, die teilweise durch isolierte Kanäle geführt wird. Die Auslegung solcher Aggregate und vor allem der Kühlkanäle erfolgt meist auf Basis von Erfahrungen aus früheren Projekten. Sind die Kühltemperaturen in den Trolleys nach dem Aufbau der Bordküche nicht im richtigen Bereich, werden im Nachhinein Strömungsquerschnitte und/oder Aggregateleistung angepasst oder Luftleit-schau-feln in den Strömungskanal integriert. Solche Anpassungen sind nicht selten, da die

ersten Tests häufig eine unzureichende und ungleichmäßige Kühlung der Trolleys aufdecken. Dies kann im Allgemeinen zwei Ursachen haben.

Zum einen kann die Luftmenge zu ungleichmäßig verteilt sein, um alle Trolleys auf die geforderte Temperatur zu bringen. Zum andern kann der Druckverlust im Luftkreis zu hoch sein, um eine effiziente Kühl-

luftförderung zu ermöglichen. In der Nähe angeordnete Wärmequellen wie Öfen, Kaffeemaschinen und auch undichte Türen verschärfen die Problematik.

phi Engineering Services, ein Ingenieursdienstleister in diesem Bereich, nutzt daher seit kurzem eine frühzeitige Strömungssimulation der Luftkanäle in der Entwicklung, um Kosten zu sparen. Der Simulationsaufwand ist im Vergleich zu der iterativen Anpassung am bereits fertigen Produkt sehr gering. Das zeigt sich auch am Beispiel der Bordküche des Airbus A330. Die Ingenieure nutzen für die Simulation Software von Ansys über den Software-on-Demand-Service www.ecadfem.com.

Simulations-Workflow

Das Ziel der phi-Ingenieure war, die Strömungsverhältnisse im ursprünglichen Modell der Bordküche zu simulieren, auszuwerten und im Anschluss eine optimierte Kühlluftführung zu modellieren. Anschließend haben sie die Simulationen der neuen und der ursprünglichen Geometrie verglichen und bewertet. Dazu hat phi den Gesamtdruckverlust und die Gleichmä-

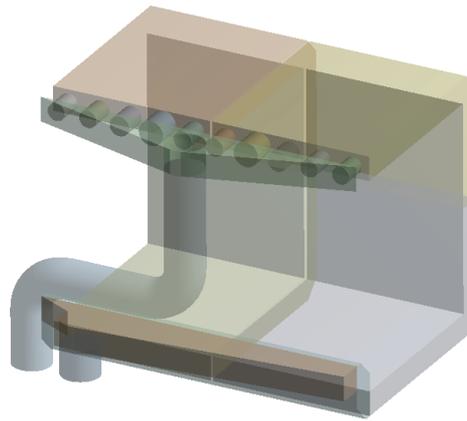
FLUGZEUGTEILE AUS DEM 3D-DRUCKER

Simulation ist eine Quelle, die angezapft wird, wenn es um die Suche nach weiteren Potenzialen im Flugzeugbau geht. Dazu kommen Additive Fertigungsverfahren (Additive Manufacturing – AM), die mehr Freiraum bei der Gestaltung als traditionelle Verfahren lassen und zudem Gewicht sparen. Vielversprechend ist neben dem Selektive-Laser-Sintern (SLS) mit einer vergleichsweise hohen Festigkeit der gedruckten Teile auch das Fused Deposit Modeling (FDM), ein Verfahren, mit dem sich Teile aus dem PEI-Kunststoff Ultem 9085 drucken lassen, der bereits für die Luftfahrtbranche zertifiziert ist.

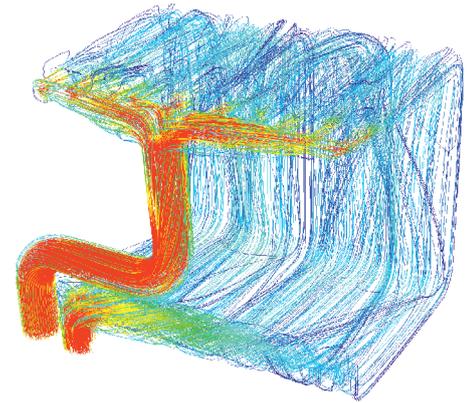
Das große Plus von AM ist die schnelle und flexible Herstellung von Bauteilen mittels werkzeugloser Fertigung direkt aus den CAD-Daten. Verbreitet sind die Verfahren bereits, um Prototypen, Kleinserien und Werkzeuge für die Serienfertigung herzustellen. In der Luftfahrt stehen besonders nichtkritische Teile auf dem Prüfstand und werden teils bereits mit AM hergestellt. Ein gutes Beispiel zeigt ein Boeing-Spin-Off, das komplexe Luftkanäle für Militärflugzeuge und die neue Boeing 787 fertigt. Durch den Einsatz von SLS gelang es, Luftkanäle auf ein Teil zu reduzieren, die bislang aus 20 Teilen bestanden.

ENGINEERING SOFTWARE ON DEMAND

Der Service eCADFEM bietet per Internetverbindung schnellen Zugriff auf Ansys und weitere Simulationsprogramme für die Produktentwicklung von der High-End-FEM-Berechnung bis zur Kühlungssimulation elektronischer Geräte. Dabei bietet der Service eine größere Flexibilität und Kostenkontrolle als lokal installierte Software. Die Abrechnung erfolgt sekundengenau und ermöglicht sicheres Arbeiten hinter einer Firewall.



Simulation am ursprünglichen Modell.



Bigkeit der Strömung am ursprünglichen Modell bestimmt. Optimierungskriterium sind die Volumenströme in den einzelnen Einströmkanälen beziehungsweise deren Gleichmäßigkeit. Im ersten Schritt deckten die Ingenieure auf, dass bei dem Ursprungsmodell die Kühlung vor allem wegen der ungleichmäßigen Luftverteilung unbefriedigend funktionierte.

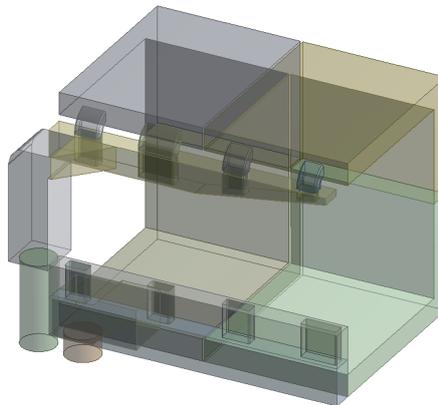
Simulation des bestehenden Modells

Um dies herauszufinden, untersuchten die Ingenieure die ursprüngliche Anordnung und führten eine Simulation mit einem vereinfachten Modell des luftführenden Raumes durch. Das reduzierte Modell erlaubte eine effizientere Berechnung, ist aber immer noch hinreichend detailliert. oberes Bild rechts zeigt dieses Modell und überlagert die Stromlinien aus der Simulation.

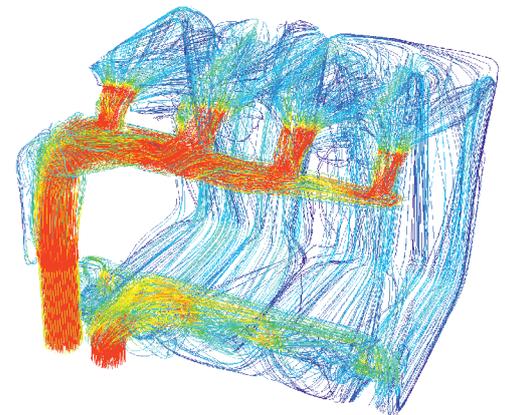
Mehrere Verengungen und Aufweitungen in den Luftkanälen stören im Ursprungsmodell den Luftfluss: An diesen Stellen sorgen Wirbel und Stauungen für Druckverluste. Das führt dazu, dass sich der Luftstrom ungleichmäßig auf die vier Einströmöffnungen verteilt und die Verteilung zudem vom aktuellen Gesamtvolumenstrom abhängt. Die Optimierung hat einige fixe Gegebenheiten zu berücksichtigen. Zunächst ist der Bauraum stark eingeschränkt; zudem sind die Positionen der Anschlüsse vom Klimagerät an die Bordküche und auch die Einleitungspunkte zu den Trolleys vorgegeben.

Optimiertes Modell im Vergleich

Mit den genannten Randbedingungen berechneten die Ingenieure eine neue Strömungskanalgeometrie und achteten dabei darauf, dass die neuen Kanäle auch einfach und günstig herzustellen sind.



Simulation am optimiertem Modell.



Der Druckverlust in dieser Bordküche beträgt nach der beschriebenen Optimierung statt 430 Pascal nur noch 290 Pascal – also eine prozentuale Absenkung um 30 Prozent. Der reduzierte Druckverlust bedeutet nicht nur weniger Strömungsgeräusche, auch das Kühlaggregat kann eine Nummer kleiner und damit auch leichter ausfallen.

Das Diagramm zeigt die Volumenströme an den vier alten beziehungsweise an den zehn neuen Lufterlässen. Dies lässt sich in den Bildern oben rechts nachvollziehen. Zu erkennen ist, dass die Luftverteilung im Bereich der Trolleys nun deutlich gleichmäßiger ist und das bedeutet, dass alle Trolleys nahezu gleich gut gekühlt werden.

Interpretation der Ergebnisse

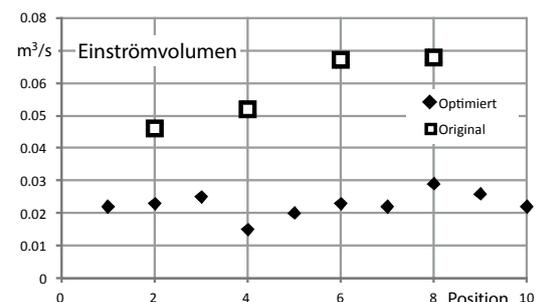
Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Strömungssimulation ein beträchtliches Potenzial zur Optimierung der Kühlung von Bordküchen aufweist. Sieht man einmal von den besseren Strömungswerten ab – was eventuell auch durch das gängige iterative Verfahren hätte erreicht werden können – lassen sich gerade die Anpassungsschleifen in der Fertigung vermeiden, da die zu erwar-

tenden Strömungsverhältnisse bereits während der Konstruktion bekannt sind. Im Vergleich zu den Kosten durch die bisherige schrittweise Anpassung im Nachhinein in der Fertigung sind die Aufwände für die Berechnung in der Entwicklung gering. **JB |**

Dr.-Ing. Hans-Jörg Dennig ist Dozent für Produktentwicklung an der Züricher Hochschule für angewandte Wissenschaften.

Remo Jud, M.Sc. ETH ist Projektingenieur und Verantwortliche für Berechnung und Simulation bei phi Engineering Services in Schwerzenbach.

Patrick Spielberger, B.Eng. ist Projektingenieur bei phi Engineering Services GmbH in Landau.



Vergleich zwischen ursprünglichem und optimiertem Modell anhand der Volumenströme.