

# Aerodynamik bei hohen Anstellwinkeln

Bereits zum zweiten Mal durfte der Akademische Aviatikverein Zürich Prof. Dr. Leonardo Manfrani von der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) an der ETH Zürich für einen wissenschaftlichen Vortrag begrüßen. Diesmal lag der Fokus auf den Eigenheiten des Fluges bei hohen Anstellwinkeln und den Methoden, wie Flugzeuge hinsichtlich dieses Flugzeugzustands konstruiert werden.

Wenn ein bestimmter Winkel zwischen Luftströmung und Flügelprofil (Anstellwinkel) überschritten wird, kann die Strömung der Flügelkontur nicht mehr folgen – sie löst sich ab. Der Auftrieb bricht zusammen, während der Luftwiderstand stark zunimmt. Piloten ist dies als «Stall» (Strömungsabriss) bekannt. Dabei ändern sich die Flugeigenschaften der meisten Flugzeugtypen markant. Wie sich ein Flugzeug im Strömungsabriss verhält, ist also von grosser Bedeutung für die Flugsicherheit. Das Grundproblem abgerissener und damit turbulenter Luftströmung ist ihre höchst anspruchsvolle bis unmögliche Berechenbarkeit. Selbst mit modernsten Methoden der numerischen Strömungsmechanik (engl. Computational Fluid Dynamics, CFD) kann eine turbulente Strömung nicht exakt berechnet werden. Dies stellt Flugzeugkonstrukteure vor einige Herausforderungen. Vielfach bleiben nur empirische Methoden und die Erfahrung des Konstruktionsteams.

## Stall: Wichtiger Aspekt in der Flugzeugentwicklung

Professor Manfrani hat die nötige Erfahrung durch seine langjährige Tätigkeit in der Luftfahrtbranche: Pilatus PC-24, PC-21, PC-12 – Manfrani war bei der Entwicklung und Zertifizierung involviert. Dabei standen naturgemäss unterschiedliche Flugeigenschaften im Vordergrund. Während bei Kunstflugzeugen sowie militärischen Trainingsflugzeugen die Möglichkeit zu einem stabilen Trudeln erwünscht ist, unterscheiden sich die Voraussetzungen z.B. für den PC-24 als Reiseflugzeug. Gemein ist allen, dass dieser Grenz-Flugzustand von Anfang an in die Entwicklung miteinbezogen werden muss. So wurde für den PC-21 ein PC-9 umgebaut und im Flug getestet: Eine stärkere Turbine und gekürzte Flügel halfen, die Flugeigenschaften des zukünftigen PC-21 vorauszusagen.

## Auftrieb durch Wirbelsysteme

Die speziellen Eigenschaften abgelöster Strömung machen sich manche Flugzeuge zu Nutzen. Beim Deltaflügel löst die Strömung an der Flügelvorderkante ab, wobei ein stabiles Wirbelsystem über den Tragflächen entsteht. Dies ermöglicht sehr hohe Anstellwinkel bei gleichzeitig gut beherrschbaren Flugeigenschaften, was insbesondere bei Militärflugzeugen von Vorteil ist. Derselbe Effekt wird bei der F/A-18 Hornet in Form einer nach vorne gezogenen Vorderkante des Flügel-Rumpfübergangs (engl. Strake) genutzt. Bei hohem Anstellwinkel produziert der Strake einen starken Wirbel, der weiterhin Auftrieb produziert. Unglücklicherweise wurde erst bei der Flugerprobung festgestellt, dass diese Wirbel zu starken Vibrationen an den Seitenleitwerken führen und deren Material vorzeitig ermüden lassen.



Foto: Simeon Lüthi, Akademischer Aviatikverein Zürich (AAZ)

Professor Manfrani von der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) erklärte in seinem Vortrag an der ETH, wie Flugzeuge auf die gewünschte Verhaltensweise beim Strömungsabriss konstruiert werden.

Bei hohem Anstellwinkel löst die Luftströmung nicht nur an der Flügelvorderkante ab, sondern auch an der Flugzeugnase. Seitlich des Buges bilden sich unstete Wirbel, welche die Anströmung des Seitenleitwerks stören. Dadurch wird dieses weniger effektiv; im Extremfall bricht das Flugzeug seitlich aus. Eine rundliche Nasenkontur (z.B. F-15) macht diesen Effekt besonders unberechenbar. Hier können eine abgeflachte Nase (z.B. F-5) oder kleine Strakes an der Flugzeugnase (franz. «Moustaches») wie bei der Concorde oder die Canards bei der Rafale helfen.

Professor Manfrani legte dar, dass die Flugeigenschaften im Strömungsabriss eine Kernqualität jedes Flugzeugs sind. Aufgrund der speziellen Eigenschaften abgelöster Strömung ist dieser Flugzustand jedoch eine besondere Herausforderung für das Konstruktionsteam. Hierbei helfen vielfältige Methoden wie horizontale und vertikale Windtunnels, Wasserkanäle sowie experimentelle Flugtests und diverse konstruktive Elemente. **cp**

**Flurin Schwerzmann, Akademischer Aviatikverein Zürich (AAZ)**

## Kontakt

Akademischer Aviatikverein Zürich  
Severin Siegrist  
c/o ETH Zürich  
Institut für Fluidodynamik, Sonneggstrasse 3, ML-H35  
8092 Zürich  
info@aviatikverein.ch / www.aviatikverein.ch