Projekt: **680**

Antragszeitraum: **01.01.2011 - 31.12.2011**

Projekttitel:

Simulationen von Wirbelschleppen in der atmosphärischen Grenzschicht

**Dr.-Ing. habil. Frank Holzäpfel, Dr. Takashi Misaka,
Dr.-Ing. Ingo Hennemann, und Dipl.-Math. Anton Stephan**

Als unvermeidbare Folge des Auftriebs erzeugen Flugzeuge ein Paar gegensinnig rotierender langlebiger Wirbel, die eine potenzielle Gefährdung nachfolgender Flugzeuge darstellen. Die daher zwischen aufeinanderfolgenden Flugzeugen vorgeschriebenen Stafflungsabstände tragen maßgeblich zu Kapazitätsengpässen großer Flughäfen bei. Transport und Zerfall der sogenannten Wirbelschleppe werden durch die umgebenden meteorologischen Bedingungen kontrolliert. Die wichtigsten Parameter sind Wind, Windscherung, Turbulenz und Temperaturschichtung.

Der Endanflug ist unmittelbar vor der Landung besonders kritisch, da die Wirbelschleppen dann nicht mehr unter den Flugkorridor absinken, sondern im Gegenteil durch die Interaktion mit dem Boden auch wieder aufsteigen können. Zusätzlich sind in der geringen Flughöhe die Möglichkeiten des Piloten begrenzt kritische Rollmomente zu kompensieren.

Während des Aufrollvorgangs der Wirbelschleppe werden die Abgasstrahlen der Triebwerke in die Wirbelschleppe eingebunden. Auf Reiseflughöhe entstehen aus dem Wasserdampf der Abgasstrahlen Eiskristalle, die langlebige Kondensstreifen bilden bzw. Zirrus Wolken (contrail cirrus) induzieren können. Letztere beeinflussen den Strahlungshaushalt der Atmosphäre und leisten dadurch möglicherweise einen erheblichen Beitrag zur globalen Erwärmung.

Mischungsprozesse der in die Wirbelschleppe eingebundenen Eiskristalle bestimmen die vertikalen Abmessungen, die optische Dichte und die Lebenszeit der Kondensstreifen und indirekt der induzierten Zirrus Bewölkung. Da diese Mischungsprozesse in Simulationen bislang nur vereinfacht beschrieben wurden, ist eine umfassende Untersuchung des turbulenten Detrainments aus der absinkenden Wirbelschleppe nötig, um anschließende Abschätzungen des Beitrags der induzierten Zirrus Bewölkung zum Strahlungshaushalt zu initialisieren.

In diesem Projekt wird Rechenzeit für Large Eddy Simulationen mit dem Strömungslöser MGLT beantragt, um verschiedene Aspekte der Entwicklung von Wirbelschleppen und Kondensstreifen in der Atmosphäre zu untersuchen, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

Wirbelentwicklung in der atmosphärischen Grenzschicht

Bei Annäherung an den Boden induziert die Wirbelschleppe am Boden eine dünne Grenzschicht (Wirbelschicht), die im Gegenzug durch Geschwindigkeitsinduktion eine Divergenz der Primärwirbel bewirkt. Durch einen positiven Druckgradient in dieser Grenzschicht löst sich diese vom Boden ab und bildet Sekundärwirbel. Die Wechselwirkung der Primärwirbel und der abgelösten Sekundärwirbel führt dazu, dass sich die ersteren von der hyperbolischen Trajektorie der klassischen Theorie lösen und das neu gebildete ungleiche Wirbelpaar wieder aufsteigt.

In diesem Teilprojekt soll der Einfluss des Querwindes und des Gegenwindes sowie der Bodenrauigkeit auf das Verhalten der Wirbelschleppe in Bodennähe untersucht werden.

Dazu werden zunächst turbulente Grenzschichtprofile simuliert und die Wirbel werden anschließend überlagert. Von besonderem Interesse ist wie hoch die Wirbel wieder aufsteigen können und wie sich die Interaktion mit der atmosphärischen Grenzschicht auf den Wirbelzerfall auswirkt.

Räumliche Simulation der Wirbelentwicklung während des Landeanflugs

In diesem Teilprojekt soll der finale Landeanflug räumlich simuliert werden. Dies erfordert wesentliche Weiterentwicklungen des Strömungslösers. Es wird eine Methode entwickelt, die es erlaubt eine hochaufgelöste Flugzeugumströmung, die zuvor mit RANS Methoden (Input) erstellt wurde, durch das Rechengebiet der LES zu „fliegen“ und damit den Aufrollvorgang der Wirbelschleppe sehr genau zu beschreiben. Die Herausforderungen liegen hier einerseits in einem geeigneten Übergang des in Flugzeugnähe vorgegebenen Geschwindigkeitsfeldes und andererseits in einer geeigneten Formulierung der Randbedingungen, die die 3D Wirbelströmung möglichst wenig stört.

Die Simulation der Wirbelschleppenentwicklung während des Landevorganges soll in verschiedenen Stufen der Vereinfachung durchgeführt werden. Dies betrifft den Abfangvorgang während des Landens und die Beeinflussung des Wirbelaufrollens durch den Boden. Von besonderem Interesse ist es zu prüfen, ob und wie schnell sich die sogenannten Endeffekte entlang der Wirbel ausbreiten und dadurch die Wirbelschleppen schwächen. Endeffekte werden durch Störungen des Druckfeldes im Wirbel verursacht, die auftreten wenn das Flugzeug aufsetzt. Weiterhin sind Instabilitäts- und Zerfallprozesse der Wirbel von Interesse, die bei einer geeigneten Annäherung der Wirbelschleppe an den Boden auftreten.

Turbulente Austauschprozesse bei der Entstehung von Kondensstreifen

Hier ist vorgesehen die turbulenten Mischungsprozesse anhand von passiven Tracern zu untersuchen. D.h. die Mikrophysik der Eispartikel wird nicht explizit betrachtet und die Untersuchungen beschränken sich auf die dynamischen Austauschprozesse. Diese Austauschprozesse zwischen den Wirbeln und das Detrainment der Tracer in den sogenannten sekundären Nachlauf sollen als Funktion der atmosphärischen Turbulenz und Temperaturschichtung untersucht werden. Dazu werden Vorabsimulationen zur Bildung einer turbulenten stabil geschichteten Atmosphäre mit ausgebildetem Trägheitsbereich des Turbulenzspektrums durchgeführt. Anschließend werden Wirbelschleppen in Form von gegensinnig rotierenden Lamb-Oseen Wirbeln überlagert.

Jüngste Simulationen haben gezeigt, dass die Wechselwirkung zwischen Wirbelschleppe und Umgebungsturbulenz erst richtig beschrieben wird, wenn die umgebende Atmosphäre auch sehr große turbulente Wirbel enthält. Hier liegt also eine Herausforderung darin einerseits die kompakten Kerne der Wirbelschleppe hinreichend aufzulösen und andererseits große integrale turbulente Längenmaße der umgebenden Atmosphäre zu realisieren. Dies ist nur bei Verwendung sehr großer Rechnetze und mit massiv parallelen Rechnungen möglich.