

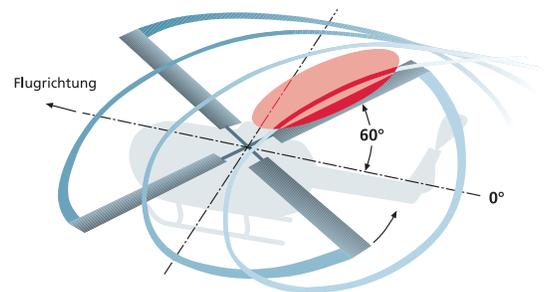
Das Ohr fliegt mit

- **Lärmreduktion mit dSPACE Prototypen**
- **Fluglärmreduktion um 50%**
- **Wichtiger Schritt zur Serienreife**

Wer schon einmal die Landung eines Hubschraubers hautnah erlebt hat, kennt möglicherweise den Effekt: Zusätzlich zum „normalen“ Hubschrauberlärm entsteht gerade beim Landeanflug ein unangenehmes, rhythmisches Dröhnen. Eurocopter Deutschland hat in Zusammenarbeit mit der European Aeronautic Defence and Space Company (EADS), ZF Luftfahrttechnik und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) eine Regelung zur Lärminderung realisiert: Mit Hilfe von dSPACE Prototypen wird der Anstellwinkel der Rotorblätter derart verändert, dass sich der entstehende Fluglärm wegen der geänderten Strömungsverhältnisse halbiert.

Luftwirbel als Ursache des Fluglärms

Den beim Sinkflug eines Hubschraubers entstehenden zusätzlichen Lärm bezeichnet man als BVI-Lärm (Blade Vortex Interaction). Diese Blatt-Wirbel-Interferenzen entstehen, wenn ein von einem Rotorblatt abgehender Wirbel mit einem nachfolgenden Rotorblatt kollidiert. Solche Blatt-Wirbel-Interferenzen können in vielen Flugsituationen auftreten; besonders stark sind sie jedoch während des Sinkflugs bei ca. 120 km/h und einem Gleitwinkel von 6–8 Grad. Unter diesen Bedingungen kann ein Rotorblatt komplett in die Wirbelschlepe des vorhergehenden Rotorblattes eintauchen und in voller Breite mit dessen Luftwirbeln kollidieren – die Folge sind große Drucksprünge und somit



▲ In dem rot markierten Bereich treffen die Rotorblätter frontal in voller Breite auf die Luftwirbel. Dort entsteht ein Großteil des Fluglärms.



▲ Der Hubschrauber vom Typ BO 105. An den Landekufen befinden sich Mikrofone zur Schallmessung.

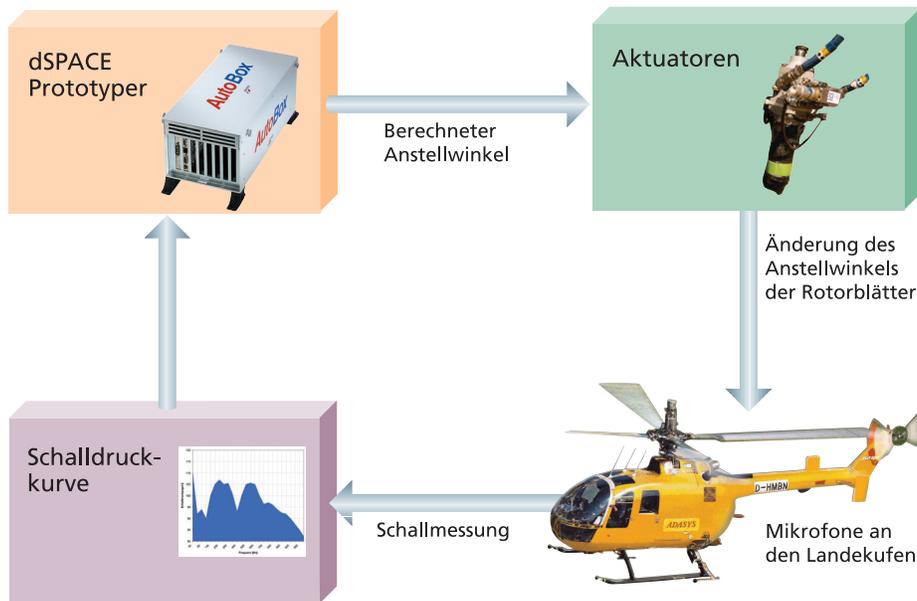
eine hohe Lärmentwicklung. In anderen Flugsituationen verfehlen die Wirbel das nachfolgende Rotorblatt größtenteils, so dass dann auch der entstehende Lärm merklich geringer ist.

Wie der Lärm vermieden wird

Weil ein Hubschrauber ein System ist, bei dem sich die Drehbewegung der Rotorblätter und die geradlinige Bewegung des Hubschraubers überlagern, ergeben sich besondere Strömungsverhältnisse. Vom Piloten aus gesehen entsteht hinten rechts im Rotorkreis eine Zone, in der sich Rotorblätter und Wirbel frontal aufeinander-

zubewegen und kollidieren. Dies führt zu besonders hoher Lärmentwicklung. Schafft man es, die Kollision von Rotorblatt und Luftwirbeln in dieser Zone zu unterdrücken, so wäre dadurch schon ein großer Teil des gesamten Fluglärms beseitigt.

Dazu wird mit Hilfe von dSPACE Prototypen der Anstellwinkel der Rotorblätter während des Umlaufs zu bestimmten Zeitpunkten für Sekundenbruchteile geändert. Dadurch ändern die abgehenden Wirbel ihre Flugrichtung und verfehlen größtenteils das nachfolgende Rotorblatt – die Lärmentwicklung wird minimal. Bei einem Hubschrauber mit 4 Rotorblättern ist es wichtig, dass der Anstellwinkel synchron für 2 Rotorblätter erhöht und gleichzeitig für 2 Rotorblätter verringert wird. Nur dann entstehen insgesamt keine zusätzlichen Schübe. Der Hubschrauber verhält sich dann für den Piloten genauso normal wie ohne die zusätzliche Rotorblattsteuerung. Die Anstellwinkeländerung beträgt dabei lediglich maximal 1,4 Grad – sehr wenig im Vergleich zu den Anstellwinkeln von bis zu 30 Grad, die für die üblichen Flugmanöver erreicht werden können.



◀ Der Schallpegel wird über 6 Mikrofone an den Landekufen gemessen. Aus dem Schallverlauf wird dann derjenige Anstellwinkel für die Rotorblätter berechnet, bei dem Blatt-Wirbel-Kollisionen und damit der Fluglärm minimal sind.

dSPACE Prototyper als Schalldämpfer

Um die prinzipielle Wirkungsweise der individuellen Rotorblattsteuerung zu testen, wurde ein Hubschrauber vom Typ BO 105 modifiziert:

- An den Landekufen wurden insgesamt 6 Mikrofone zur Messung des Schallverlaufes angebracht. Aus dem Schallverlauf wird anschließend die optimale Ansteuerung der Rotorblätter berechnet, um den Lärm zu minimieren.
- Anstelle der üblichen starren Steuerstangen an den Rotorblättern wurde an jedem der 4 Rotorblätter ein Aktuator eingebaut, der eine zusätzliche Verstellung des Anstellwinkels individuell für jedes Rotorblatt ermöglicht.
- An den Rotorblättern wurden Drucksensoren montiert, um die Drucksprünge beim Auftreffen eines Wirbels zu messen.

Die hohen Anforderungen an die dSPACE-Hardware ergeben sich daraus, die von den Mikrofonen und Blatt-drucksensoren kommende Flut an Messsignalen schnell zu verarbeiten und aus ihnen ein Signal für die Ansteuerung der Rotorblätter zu errechnen. Die Rotorblätter rotieren mit ca. 7 Umdrehungen pro Sekunde. Dabei werden 512 Mal pro Umlauf u. a. der Schallpegel an den Landekufen und die Drucksprünge an den Rotorblättern gemessen. Um eine vernünftige Ansteuerung für die Rotorblätter zu berechnen, sind hohe Abtastfrequenzen

von bis zu 5 kHz nötig, weswegen wir uns für dSPACE Prototyper entschieden haben. Das gesamte Experiment wurde mit MATLAB®/Simulink® konfiguriert und mit Hilfe von ControlDesk überwacht.

Fluglärm halbiert

Bei Flugversuchen im November 2001 wurde mit der beschriebenen Anordnung im Landeanflug bei einem Gleitwinkel von 6 Grad eine Reduktion des Lärmpegels von 6,8 dB erreicht. Dies entspricht einer Halbierung des am Boden wahrgenommenen Lärms.

In neuen Versuchsanordnungen wird zusätzlich zu diesem Lärmregelkonzept ein moderner Vibrationsregler erprobt. Beide Systeme werden dann auf den derzeit bei Eurocopter entwickelten Klappenrotor adaptiert und getestet. Beim Klappenrotor mit seiner neuen Aktuatorgeneration (schnellere Piezotechnik statt langsamerer Hydraulik) werden anstelle des gesamten Rotorblattes lediglich im Rotorblatt integrierte Klappen bewegt, um die Luftwirbel zu verändern. Dies stellt einen bedeutenden Schritt in Richtung Serialisierung solcher Systeme in naher Zukunft dar.



▲ An jedem der 4 Rotorblätter befindet sich ein Aktuator zur Anstellwinkeländerung.

Dieter Roth
Eurocopter Deutschland GmbH
Deutschland