

Konzept und Aufbau eines Mock-ups einer Flugzeigröhre zur Untersuchung verschiedener Lärmreduzierungsverfahren

Norbert Hövelmann¹, Delf Sachau

¹ Institut für Mechatronik, Helmut-Schmidt-Universität, 22043 Hamburg, E-Mail: hoevelmann@hsu-hh.de

Einleitung

Propellerantriebe verursachen hohe, tonale Lärmpegel in der Flugzeugkabine im tieffrequenten Bereich. Hierdurch entsteht ein erhöhtes Interesse an Maßnahmen der aktiven Schallreduktion (ANR). Um die Leistungsfähigkeit einer ANC-Maßnahme (Active Noise Control) in einer Flugzeugkabine experimentell zu untersuchen, wird eine Testumgebung benötigt. Diese soll kostengünstig sein, reproduzierbare Bedingungen bieten und die erzielte Schallreduktion in Echtzeit erlebbar machen. Zu diesem Zweck ist ein Mock-up gebaut worden.

Konzept und Entwurf des Mock-ups

Bei einem ANC-System werden als Aktoren Lautsprecher und als Sensoren Mikrofone eingesetzt, mit denen über einen Regler versucht wird, den Schalldruckpegel in einem Raum zu reduzieren. Die Auslegung eines solchen Systems kann man numerisch durchführen. Hierbei bereitet besonders die Abbildung nichtlinearer Effekte Schwierigkeiten, die vor allem bei den Aktoren auftreten. Für experimentelle Untersuchungen bieten sich Holz-Mockups im Maßstab 1:1 an, mit denen in den vergangenen Jahren grundsätzlich gute Erfahrungen an der HSU gesammelt worden sind [1].

Als Testumgebung für ein ANC-System ist ein Mock-up ausreichend, das die wesentlichen akustischen Eigenschaften einer Flugzeugkabine aufweist. Die Abbildung von Schall-Transmissionspfaden wird vernachlässigt, sie ist aber generell bei einer Erweiterung des Teststandes möglich.

Mit diesem Versuchsstand werden für ein ANC-System die benötigte Anzahl und Position von Lautsprechern und Mikrofonen ermittelt. Auch wird die generelle Eignung der Komponenten nachgewiesen. Von besonderem Interesse ist der global erzielbare Regelungserfolg in einem derartigen Volumen, der mit Hilfe der potentiellen Energie gemessen wird.

Die akustischen Eigenschaften der Cavity werden vor allem durch ihre Geometrie bestimmt, so dass im tieffrequenten Bereich Holz bzw. das plexiglasähnliche Makrolon als Rumpfmateriale generell zulässig sind. Es bilden sich bereits bei tiefen Frequenzen (< 500 Hz) stehende Wellenfelder in einer Kabine aus. Die Kenntnis dieser Moden ist für die wirksame Positionierung von Aktoren und Sensoren wichtig.

Die Form einer typischen Kabine ergibt sich aus der Flugzeug-Rumpfgeometrie, die man vereinfacht als einen Zylinder mit eingelassener Bodenfläche ansehen kann. Bei großen Wellenlängen hat diese Vereinfachung kaum Auswirkungen auf die Raummoden.

In Bezug auf die Form und Abmessungen orientiert sich das Mock-up an einem typischen Kurzstreckenflugzeug, so weit es die Labordimensionen zulassen. Es hat einen Durchmesser von 4 m und eine Länge von 15 m. Rechnungen ergeben für solch ein Volumen in einem Frequenzband von 0-100 Hz über 30 Eigenfrequenzen bzw. Eigenmoden.

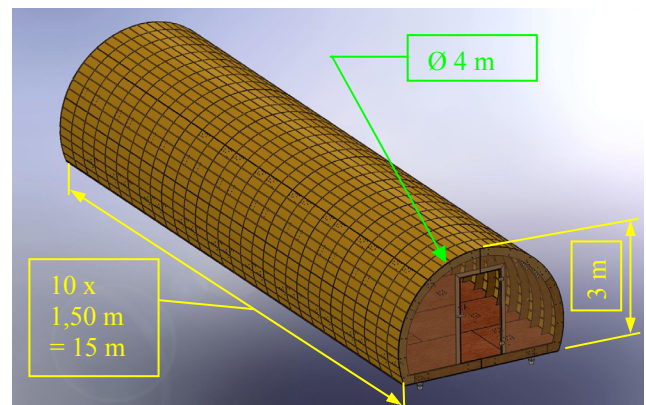


Abbildung 1: Mock-up mit den Hauptabmessungen

In Abbildung 1 ist das CAD-Modell des Mock-ups mit seinen Hauptabmessungen dargestellt. Es bilden 10 Module gleicher Länge und mit konstantem Durchmesser den Teststand. Als Schottwände dienen flache Abschlüsse an den Enden. Die Stringer und Spanten sind in regelmäßigen Abständen angeordnet.

Durch diese Bauweise lassen sich zum einen verschiedene Längen einstellen, zum anderen ist es möglich, partiell Holzteile/ Module durch originale Strukturen zu ersetzen, um vibro-akustische Effekte nachzubilden. Die flugzeugähnliche Struktur des Holzkörpers mit Spanten, Stringern und der dünnen Außenhaut erlaubt generell den Einbau von Kabineninterieur. Hierdurch kann man die akustischen Eigenschaften denen einer realen Kabine weiter annähern.

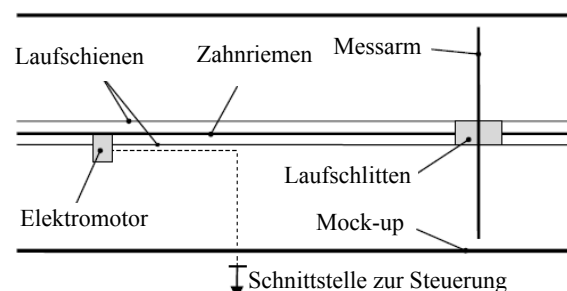


Abbildung 2: Prinzipskizze der Messrobotik [2]

Die Messung der potentiellen Energie im Volumen erfordert eine Vielzahl von Sensorpositionen. Zu diesem Zweck steht ein Messroboter zur Verfügung, dessen Prinzipskizze in Abbildung 2 dargestellt ist. Er besteht aus einem Schienensystem, auf dem sich ein Laufschlitten mit Mikrofonen bewegt. Der Schlitten wird mit Hilfe eines Zahnriemens von einem Elektromotor angetrieben. Mit diesem System wird die zeit- und arbeitsaufwändige Messung weitestgehend automatisiert.

Schallfeldmessungen im Mock-up

In Abbildung 3 ist das Mock-up nach der Montage in der Laborzelle dargestellt. In diesem Zustand beträgt die gemessene Nachhallzeit in der Röhre ca. 1.8 s.



Abbildung 3: Aufgebautes Mock-up innerhalb der Laborzelle

Für den experimentellen Nachweis stehender Wellenfelder ist das Mock-up teilweise kartiert worden. Zunächst ist die linke Seite, wie in Abbildung 4 dargestellt, aus Gründen der Begehrbarkeit, der Kabelzuführung und der Belüftung offen gelassen worden.

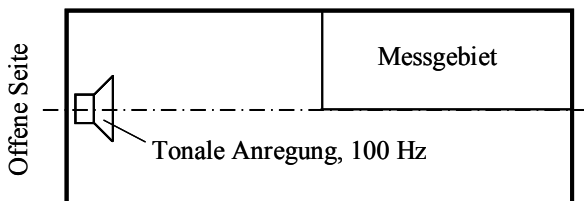


Abbildung 4: Skizze z. Versuchsaufbau z. Schallfeldmessung

Ein mittig platzierter Lautsprecher hat bei einer Frequenz von 100 Hz ein Schallfeld mit einem maximalen Pegel von 100 dB in der Röhre erzeugt. Als Messgebiet ist in einer Ebene in einer Höhe von 1 m über dem Boden ein Viertel kartiert worden. Aufgrund der Symmetrie wird ein spiegelbildliches Schallfeld auf der gegenüberliegenden Seite angenommen.

In Abbildung 5 wird das Schallfeld mit dem verwendeten Messraster dargestellt. Der Abstand der Gitterlinien beträgt 0.5 m. Damit liegen bei dieser Frequenz etwa 6 Messpunkte pro Wellenlänge. Der an diesen Punkten gemessene

Schalldruckpegel ist über das Gebiet interpoliert worden. Man erkennt eine Mode mit Knotenlinien in Längs- und Querrichtung.

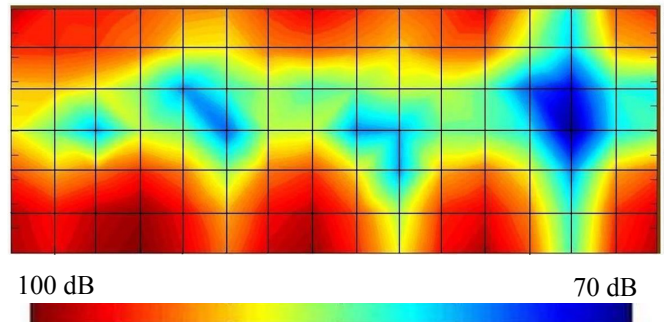


Abbildung 5: Gemessenes Schallfeld mit Messraster

Zusammenfassung

Im Hinblick auf ANC-Studien wird ein Kabinen-Mock-Up konzeptioniert und gebaut. Der Versuchsstand steht damit bereit für die Einrüstung eines derartigen Systems. Zukünftig kann der globale Regelungserfolg nachgewiesen und die Dimensionierung von Aktoren und Sensoren optimiert werden.

Literatur

- [1] Kochan, Kay: Robuste aktive Schallreduktion in Flugzeugen, Dissertation Fachbereich Maschinenbau, Helmut-Schmidt-Universität, 2009
- [2] Fischer, Florian Sebastian: Programmierung und Inbetriebnahme einer Positionierungseinheit für ein mobiles Messsystem zur Schallfeldkartierung, Bachelorarbeit Fachbereich Maschinenbau, Helmut-Schmidt-Universität, 2009