

## Untersuchungen zur Vibroakustik und Lärmreduzierung von Flugzeugabwassersystemen

Werner Hufenbach<sup>1</sup>, Olaf Täger<sup>1</sup>, Martin Dannemann<sup>1</sup>, Frank Kolbe<sup>1</sup>, Jürgen Pfennig<sup>2</sup>, Robert Klug<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Dresden, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK), 01062 Dresden, Deutschland,

Tel.: 0351-463-38134, E-Mail: m.dannemann@ilk.mw.tu-dresden.de

<sup>2</sup> AOA avionics dresden GmbH, Zum Windkanal 10, 01109 Dresden, Deutschland

### Einleitung

In modernen Flugzeugen stellen die Toilettenanlagen eine sensible Schnittstelle zwischen Passagier und Flugzeug dar. Um ein Wohlbefinden von Passagieren und Besatzung auch bei längeren Flugzeiten gewährleisten zu können, sind zuverlässig arbeitende Toiletten unerlässlich. Ebenso beeinflusst die im Passagierraum vorhandene Geräuschkulisse den Flugkomfort erheblich. Die Fluggeräusche werden in zunehmendem Maße erfolgreich reduziert und somit ein angenehmerer und vor allem geringerer Geräuschpegel im Flugzeug erzielt. Aufgrund dieser Entwicklung treten bislang unbedeutende Geräusche immer deutlicher in den Vordergrund. So werden beispielsweise die Geräusche beim Entleeren der Toiletten in steigendem Maße als unangenehm empfunden. Daher fordern die Flugzeugbauer von den Zulieferern zunehmend leisere Toilettenabwassersysteme. Durch die Minimierung der Geräuschemissionen von Flugzeugabwassersystemen kann somit ein deutlicher Wettbewerbsvorteil erreicht werden.

### Akustische Analyse eines Flugzeugabwassersystems

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurde ein Flugzeugabwassersystem mit vakuumunterstützter Spülung in Serienausführung hinsichtlich des vibroakustischen Verhaltens analysiert. Auf Basis der Intensitätsmethode ist eine Schallkartierung des Systems durchgeführt worden. Die Messungen erfolgten anhand eines speziell konzipierten Prüfstandes, der die Geräuschenstehung durch die Vakuumpülung praxisgerecht abbildet. Die auf Basis der Kartierung ermittelte Gesamtschallabstrahlung der einzelnen Projektionsflächen zeigt deutlich, dass der Hauptanteil des Schalls nach oben aus der Toilettenschüssel heraus abgestrahlt wird. (Abbildung 1).

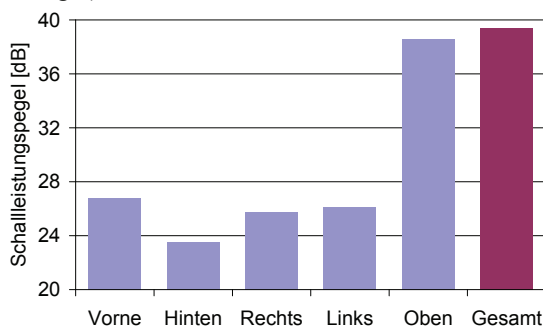


Abbildung 1: Verteilung der Schallemission einer Flugzeugtoilette auf eine kubische Umhüllungsfläche

Insbesondere die Schallverteilung gemäß der Schüsselgeometrie kann durch die Kartierung sehr gut nachgewiesen werden (Abbildung 2).

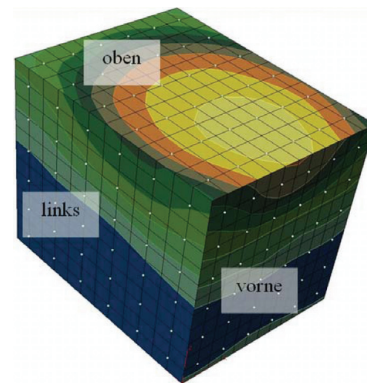


Abbildung 2: Gemessenes Intensitätsfeld der Toilettenschüssel (Gesamtspektrum 100 bis 6300 Hz)

Gut zu erkennen ist ebenfalls, dass die seitliche Schallabstrahlung der Toilettenschüssel infolge strömungsinduzierter Strukturschwingungen im Vergleich zur Hauptschallabstrahlung vernachlässigbar ist. Daher kann die Toilettenschüssel als Schalltrichter angesehen werden, durch den bereits zuvor, z.B. im Bereich des Ventils oder der angeschlossenen Verrohrung, entstandene Geräusche verstärkt werden.

### Lärmreduzierung durch Anpassung des Systemunterdrucks

Während am Boden der Differenzdruck durch einen intelligenten Vakuumgenerator erzeugt wird, ergibt sich der Differenzdruck im Flugbetrieb durch den Unterschied zwischen Kabineninnendruck und Luftdruck in der jeweiligen Flughöhe. Dieser beträgt bei einer Reiseflughöhe von 10.000 m ca. 550 mbar und liegt somit deutlich über dem zum Abtransport notwendigem Differenzdruck von ca. 200 mbar.

Abbildung 3 zeigt den gemessenen Schalldruckpegel in Abhängigkeit vom angelegten Systemunterdruck. Anhand des Diagramms wird der nichtlineare Zusammenhang zwischen angelegtem Systemunterdruck und dem aufgezeichneten Schalldruckpegel deutlich. So ist erkennbar, dass eine Druckreduktion von 600 mbar auf 500 mbar eine Abnahme des Schalldruckpegels um ca. 1 dB ermöglicht, wohingegen die Differenz beim Übergang von 300 mbar auf 200 mbar bereits mehr als 3 dB beträgt. Insgesamt lässt sich bei einer Differenzdruckreduktion von 600 mbar auf 200 mbar eine Pegelreduktion von mehr als 6 dB erzielen.

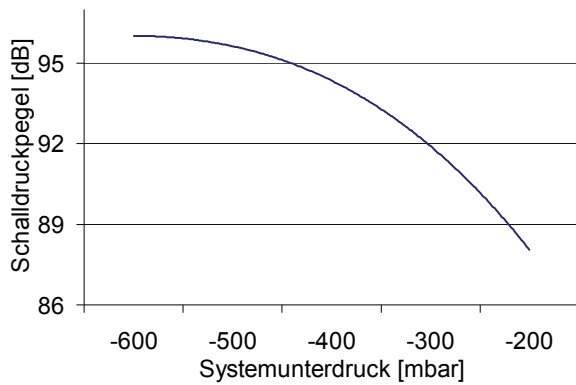


Abbildung 3: Einfluss der Druckdifferenz auf die Gesamtschallemission

### Schallreduktion durch Toilettenabdeckung

Des Weiteren wurde das akustische Potential einer geschlossenen Toilettenabdeckung eingehend untersucht. In Abbildung 4 sind die gemessenen Schalldruckpegel für verschiedene Deckelvarianten und Öffnungszustände dargestellt.

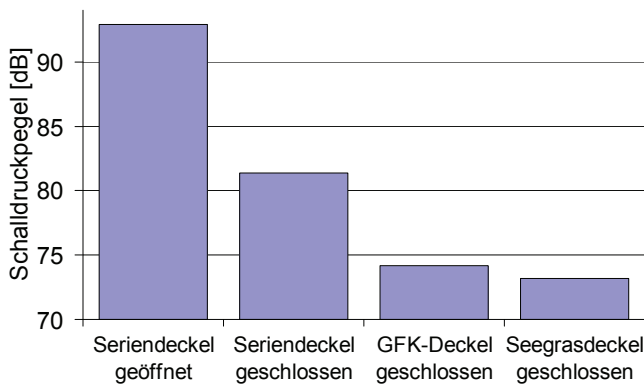


Abbildung 4: Äquivalenter Schalldruckpegel der Deckelvarianten bei 600 mbar Unterdruck

Zu erkennen ist, dass bereits der aktuelle Seriendeckel im geschlossenen Zustand eine Pegelreduktion um mehr als 10 dB gegenüber einem geöffneten Deckel ermöglicht. Daher wurde eine automatische Schließvorrichtung konzipiert, welche den Deckel vor dem Spülvorgang selbstständig unter Berücksichtigung gegebener Sicherheitsmaßnahmen schließt (vgl. Abbildung 5). Hierbei wird dem Deckel durch einen Stößel ein kurzer Impuls gegeben, woraufhin sich der Deckel selbstständig infolge seiner Gewichtskraft schließt. Zur Dämpfung des Schließvorganges werden spezielle Rotationsgedämpfte Deckelscharniere eingesetzt.

Um das Potential des Deckels weiter zu verbessern, sind unterschiedliche Materialien hinsichtlich ihres Dämmverhaltens untersucht worden. Die entsprechenden Deckel wurden durch die Professur für Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung der Technischen Universität Chemnitz gefertigt. Insbesondere faserverstärkte Kunststoffe bieten aufgrund ihres Aufbaus ein hohes akustisches Dämpfungspotential (vgl. [1], [2], [3]). Neben den üblichen luftfahrtzugelassenen Werkstoffen, wie Glasfaser-Epoxidharzverbunden, wurden insbesondere verschiedene alternative Naturfaserverbunde

betrachtet. Hierbei hat sich gezeigt, dass mit geeigneten GFK-Verbunden die Schallpegelemission um mehr als 6 dB gegenüber dem Seriendeckel reduziert werden kann, ohne dass das Gewicht des Deckels zunimmt.

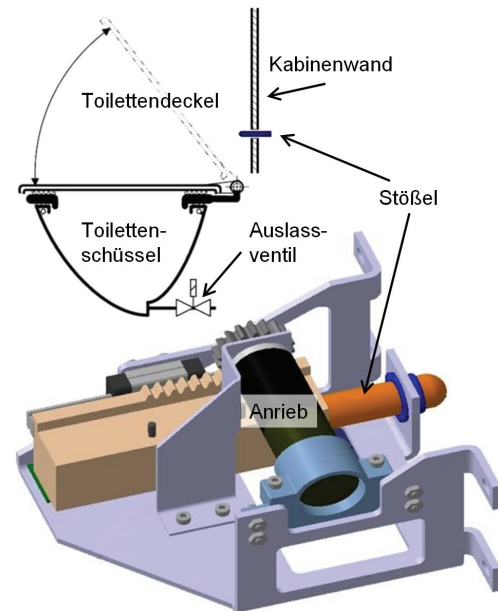


Abbildung 5: Prinzip des automatischen Deckelschließers

Die Verwendung alternativer Naturfasern, wie beispielsweise Seegras, ermöglicht aufgrund der besseren Dämpfungs- und Dämmeigenschaften nochmals eine Pegelreduktion bei gleichzeitiger Masseabnahme.

### Fazit

Im Rahmen der durchgeführten Arbeiten konnte ein erhebliches akustisches Verbesserungspotential an heutigen Flugzeugtoiletten durch Anpassung des Systemunterdruckes sowie Verwendung geeigneter Toilettenabdeckungen aufgezeigt werden. Die daraus gewonnen Erkenntnisse können einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung, Auslegung und Dimensionierung von Flugzeugabwassersystemen neuer Generation leisten.

### Literatur

- [1] Täger, O.: Beitrag zur Analyse der Strukturmechanik und Schallabstrahlung hybrider anisotroper Mehrschichtverbunde. Dissertation, TU Dresden, 2003
- [2] Hufenbach, W.; Kroll, L.; Täger, O.: Structural-dynamic and damping analysis of textile-reinforced multilayered shells and plates considering acoustic excitation. Proceedings of the European Conference on Spacecraft Structures, Materials and Mechanical Testing, Toulouse, 11.-13.12.2002 (auf CD-ROM)
- [3] Hufenbach, W.; Kroll, L.; Zhou, B.; Täger, O.: Vibroakustik von mehrschichtigen Verbundkomponenten in Leichtbauweise. Tagungsband des 14. DGM-Symposiums Verbundwerkstoffe, Wien, 2.-4. Juli 2003 (CD-ROM)