

# Über offene Probleme der Aeroakustik

Peter Költzsch

Institut für Akustik und Sprachkommunikation  
Technische Universität Dresden

Die wissenschaftlichen Entwicklungen im Fachgebiet Aeroakustik haben in den letzten Jahrzehnten einen erheblichen Erkenntnisfortschritt gebracht, und zwar auf den Gebieten der Theorie, der physikalischen Modellierung, in der analytischen und numerischen Akustik und Aeroakustik sowie in der Messtechnik und den experimentellen Untersuchungen. Bei zahlreichen Strömungslärmquellen wurden die Quellstärke und die Schallabstrahlung beträchtlich vermindert, so z. B. beim Strahlärm von Flugzeugtriebwerken. Diese Erfolge bei der Lärminderung einzelner, herausragender Schallquellen führten dazu, dass nunmehr andere, bisher verdeckte Lärmquellen in das Blickfeld der Forschung rückten, z. B. bei modernen Verkehrsflugzeugen das Umströmungsgeräusch einzelner konstruktiver Flugzeugkomponenten beim Landeanflug (z. B. Vorflügel, Klappen an der Tragflächenhinterkante, Fahrwerk), der Fanlärm von der Triebwerksvorderseite und der Turbinen- bzw. Brennkammerlärm von der Triebwerkshinterseite. Diese Forschungen haben in den letzten Jahren eine stürmische Entwicklung der Aeroakustik zur Folge gehabt, z. B. ist das generelle Problem der Vorausberechnung des strömungsmechanisch erzeugten Lärms als durchgängige Berechnung von den instationären Strömungen über die Schallausbreitung in der Strömung und die Schallabstrahlung bis hin ins akustische Fernfeld in Angriff genommen worden, auch die sich daraus ergebenden Möglichkeiten einer aeroakustischen Optimierung von Strömungsbauteilen, des weiteren im Zusammenhang damit die Weiterentwicklung der numerischen Aeroakustik CAA (Computational Aeroacoustics) sowie die Entwicklung von Verfahren zur vergleichenden aeroakustischen Bewertung von Strömungsbauteilen. Im Vortrag zur DAGA 2000 sind einige dieser Schwerpunkte der aeroakustischen Forschung zusammengestellt und diskutiert worden.

Darüber hinaus und in den Details aeroakustischer Phänomene und der entsprechenden physikalischen Mechanismen gibt es aber zahlreiche weitere offene Probleme, die neue und fokussierte Forschungsaktivitäten erforderlich machen. Beispiele dafür sind u. a.

- ob z. B. für das Problem der Schallerzeugung das Vernachlässigen der dissipativen Glieder bei hohen REYNOLDS-Zahlen und im wandnahen Bereich immer gerechtfertigt ist,
- welchen Einfluss beim Strahlärm die großskaligen, kohärenten Turbulenzballen und die kleinskaligen, stochastischen Turbulenzelemente auf die Spektralbereiche des abgestrahlten Lärms haben und ob dafür neuere Überlegungen aus der Turbulenztheorie zielführend sein könnten (aktuelle Probleme der Turbulenzmodellierung, z. B. J. T. C. LIU),
- welchen Einfluss verfeinerte Oberflächenstrukturen und Oberflächennachgiebigkeiten auf die Schallabstrahlung der Grenzschichtturbulenz bzw. auf die Verminderung der turbulenten Druckschwankungen (Pseudoschall) haben könnten,
- welchen vorausberechenbaren Einfluss die Schaufelbelastung, die Zuströmbedingungen, die turbulenten Strömungsphänomene in der Schaufelgitterströmung, die Gitterwechselwirkungen (Stochastik der Nachlaufströmung) und weitere Effekte auf den Breitbandlärm von Turbomaschinen (auch: Flugzeugtriebwerke, Ventilatoren) haben und wie aus der verfeinerten experimentellen Betrachtung dieser aeroakustischen Quellmechanismen an einer idealen Mustermaschine (mit „Spielmöglichkeiten“ hinsichtlich Geometrie und Strömung) bessere Quellmodelle für ingenieurtechnische Berechnungsverfahren entwickelt werden können,
- wie durchgängige Berechnungen in der Rotor-Aeroakustik durch Kopplung der 3d-Strömungsberechnung für Schaufelgitter mit den 3d-CAA-Codes der Schallausbreitung und Schallabstrahlung realisiert und damit validierte Auslegungsmethoden für eine aeroakustische Optimierung der Fans, der Propeller und der Turbomaschinen im Entwurfs- und Konstruktionsstadium geschaffen werden können (aeroakustische Optimierung),
- welche strömungsmechanischen und akustischen Messverfahren zur Lösung aeroakustischer Probleme neu geschaffen bzw. weiterentwickelt werden müssen (z. B. direkte Messung der Schallschnelle mit PIV-Verfahren (Particle Image Velocimetry)),

- wie aeroakustische Windkanäle verbessert (niedrigerer Störpegel) und ihre Ergebnisse durch Vergleichsmessungen mithilfe eines aeroakustischen Messnormals glaubwürdiger ausgewiesen werden können (z. B. Ringmessung zur Schallerzeugung an einem definierten Umströmungskörper),
- wie im Hinblick auf reale technische Probleme systematisch generische Modelle für den Strömungsschall, d. h. Definition einer Musterkonstruktion bzw. eines Modellströmungsvorganges geschaffen werden können und wie durch Vermessung dieser Modelle eine gültige Validierungsdatenbasis schrittweise erarbeitet werden kann,
- wie der Gesamtkomplex der thermischen Schallerzeugung (Brenner, Brennkammern, Triebwerke, Gasturbinen, Verbrennungsmotoren, Fackeln, Nachbrenner u. a.), d. h. zugehörige analytische und numerische Simulationen, Modellierungen des thermoakustischen Quellmechanismus, experimentelle thermoakustische Untersuchungen, ingenieurtechnische Berechnungsverfahren) zielgerichtet entwickelt und gestaltet werden sollte,
- wie für technischer Anwendungsfälle das Problem der Fluid (Strömung, Schall) – Struktur – Wechselwirkung hinsichtlich der physikalischen Mechanismen der Anregung der Struktur durch turbulente Strömungen und Schall bzw. der Schallabstrahlung der Struktur in Strömungen bzw. in das ruhende Fluid durch Kopplung numerischer Simulationen praxisnah gelöst werden kann.

Die o. g. Beispiele für den (hier dargestellten ungewichteten) Forschungsbedarf im Fachgebiet der Aeroakustik lassen sich in die folgenden Schwerpunktbereiche einordnen:

- objektorientierte Forschungsgebiete, z. B. Strahl, Schaufelgitter, Verbrennung bzw. physikalische Mechanismen der Schallentstehung
- methodenorientierte Forschungsgebiete, wie z. B. theoretische, analytische, numerische, experimentelle Verfahren, Modellierungen, Simulationen; durchgängige Simulation vom aeroakustischen Quellmechanismus bis zum Schalleinwirkungsort (Aufpunkt); aeroakustische Optimierung der Strukturform und -geometrie bzw. des Strömungsvorganges,
- strukturorientierte Forschungsgebiete, d. h. Glieder der Schallübertragungskette: Anregung, Übertragung, Abstrahlung, Ausbreitung, Bewertung

Es ist unübersehbar, dass einige der aufgeführten Forschungsprobleme und Schwerpunktbereiche

sowohl im Bereich der grundlagenorientierten als auch der anwendungsorientierten Forschung einer stärkeren, auch fokussierten Forschungsförderung bedürfen.

Für das aeroakustische Problemfeld beim Axialventilator sind z. B. folgende Teilgebiete weiter zu entwickeln:

- Schallerzeugung durch die Zuströmturbulenz, durch die instationären Strömungsvorgänge im unmittelbaren Schaufelbereich sowie durch die Nachlaufströmung
- Spektren dieser instationären Strömungsvorgänge; Turbulenz, Schwankungen der mittleren Strömungsgeschwindigkeit, Wirbelstärke, Wanddruckfelder, Maßstäbe der relevanten Strömungsstrukturen
- Kopplung von Strömungsberechnungsverfahren (CFD, LES, RANS, SNGR, Turbulenzmodelle u. a.) mit Schallberechnungsverfahren (CAA, FEM, BEM, MAE, Analogien, KIRCHHOFF-Verfahren u. a.)
- direkte aeroakustische Modellierungen (Multipole) mit den Strömungsfeldern als akustische Quellgrößen
- Überlegungen zur direkten numerischen Simulation: Strömungsfeld, Schallfeld
- Modenanalyse, -ausbreitung, -abstrahlung
- Überlegungen zur Energieverteilung im Schallspektrum, und zwar aus der Kopplung zum Strömungsspektrum und aus kinematischen Betrachtungen
- Schallausbreitung in der Maschine, Schallabstrahlung von der Maschine
- Schaffung einer Validierungsdatenbasis durch experimentelle Untersuchungen an einer idealen axialen Strömungsmaschine

#### Literatur:

- [1] Költzsch, P.: Strömungsakustik–Geschichte, Probleme, Perspektiven. Plenarvortrag DAGA 2000. 26. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Akustik, 20.-23. März 2000, Universität Oldenburg. Vortragsband „Fortschritte der Akustik“ S.48–58; ausführliche Fassung in: Strömungsakustik–eine aktuelle Übersicht. Preprint, TU-Information ET-IAS-01-2000, TU Dresden (67 S.)
- [2] Hardin, J. C. and M. Y. Hussaini (Eds.): Computational aeroacoustics. New York etc.: Springer-Verlag 1993
- [3] Glegg, S. A. L.: Recent advances in aeroacoustics: the influence of computational fluid dynamics. 6<sup>th</sup> ICSV Copenhagen 1999
- [4] Költzsch, P.; M. Blau und E. Sarradj: Akustische Aspekte bei der Auslegung von Maschinen. Plenarvortrag Tagung „Antriebstechnik / Zahnradgetriebe“, 14./15. September 2000, TU Dresden, Vortragsband S. 545 - 559