CompressorSound

Modellierung und Simulation der Strömungsakustik von Verdichtern in Turboladern von Fahrzeugmotoren

Programm / Ausschreibung	Bridge, Brückenschlagprogramm, 27. Ausschreibung Bridge 1	**Status**	abgeschlossen
Projektstart	02.07.2018	**Projektende**	31.12.2021
Zeitraum	2018 - 2021	**Projektlaufzeit**	42 Monate
Keywords	Strömungsakustik; Numerische Simuation; Verdichter; Turbolader		

Projektbeschreibung

Eine effektive Technologie, um eine Reduktion von Emission und Kraftstoffverbrauch zu erzielen, ist der Einsatz von speziellen Turbolader-Konzepten. Bei der Abgasturboaufladung wird die Abgasenergie aus der Verbrennung mittels einer Strömungsturbine expandiert und die dabei entstehende mechanische Leistung wird für die Verdichtung der Ansaugluft benutzt. Neben der klassischen Anwendung von Turboladern in Verbrennungsmotoren, haben neue Einsatzgebiete in der Brennstoffzellentechnologie eine essentielle Bedeutung. Ähnlich dem Verbrennungsmotor benötigt die Brennstoffzelle verdichtete Luft, um eine hohe Leistungsdichte zu erzielen. Dazu kommt bei derartigen Systemen, dass die Schallemission des Turboladers nicht mehr durch den Verbrennungsmotor maskiert wird. Dabei ist im Betrieb der strömungsinduzierte Schall des Verdichters zur wesentlichen Lärmquelle geworden. Ein großes Potenzial in diesem Entwicklungsprozess ergibt sich durch den Einsatz von genauen Berechnungsverfahren, die es ermöglichen, das strömungsmechanische und das akustische Verhalten vorherzusagen. Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, den Erfordernissen hinsichtlich der Akustik dieser Systeme gerecht zu werden.

Die Strömungsakustik von Verdichtern stellt ein aktuelles Forschungsgebiet sowohl im Bereich der Grundlagen- als auch angewandten Forschung dar. Dabei kann festgehalten werden, dass die Schallmechanismen wie Dreh- und Pulsationsschall sowie das Zischen physikalisch im Detail noch nicht verstanden sind. Das Hauptziel des geplanten Forschungsprojektes ist die physikalisch korrekte Modellierung und effiziente numerische Simulation der Schallmechanismen im Verdichter und die Schallausbreitung innerhalb der wesentlichen Komponenten eines Turboladers. Im Detail soll das Simulationsverfahren folgende Bereiche umfassen: (1) Instationäre, kompressible Strömungsberechnungen des Verdichters mit LES (Large Eddy Simulation) / DES (Detached Eddy Simulation) Turbulenzmodellen; (2) Berechnung und Analyse der akustischen Quellterme basierend auf den durch die Helmholtz-Hodge Zerlegung erhaltenen Wirbelanteil der Strömungsge-schwindigkeit; (3) Berechnung der akustischen Schallausbreitung innerhalb der wesentlichen Komponenten eines Turboladers sowie der nach außen abgestrahlte Schall durch gekoppelte Mechanik-Akustik-Simulationen.

Initiator des Projekts ist Prof. Manfred Kaltenbacher vom Institut für Mechanik und Mechatronik an der TU Wien, dessen Fachbereich sich mit der Modellbildung und der numerischen Simulation von Vibro- und Aeroakustikproblemstellungen seit

vielen Jahren beschäftigt. Dabei konnte eine neues aeroakustisches Simulationsverfahren basierend auf der Finiten-Elemente-Methode unter Anwendung von nichtkonformen Gittern für rotierende Systeme entwickelt werden, welches in diesem Forschungsprojekt auf kompressible Strömungen erweitert und angewandt wird. Als einer der weltweit führenden Premium-Hersteller von Automobilen ist für die BMW Group Forschung und Entwicklung ein Kernthema der derzeitigen und zukünftigen Firmenstrategie. Die BMW Motoren GmbH Steyr, welche sich auf die Entwicklung neuer Antriebskonzepte fokussiert, verfügt über 66 Prüfstände (davon 41 Motorprüfstände und 25 Sonderprüfstände, darunter auch der in diesem Projekt erforderliche Heißgasprüfstände für Turbolader und hat hervorragende Expertise im Bereich der Strömungssimulation. Zusätzlich wird das Forschungsteam von Prof. Stefan Becker (Fachbereich Strömungsakustik und Fluidsystemtechnik am Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg) unterstützt, welcher einen in den letzten Jahren ausgereiften Kaltgasprüfstand entwickelt hat, an welchem die Validierungsdaten für das numerische Simulationsverfahren ermittelt werden.

Die in diesem Projekt erarbeiteten Erkenntnisse bezüglich der Ursachen aeroakustischer Verdichter-Störgeräusche wie Zischen und Drehklang sowie der thermodynamischen Vorteile werden in die zukünftige Motorenentwicklung einfließen, um effizientere und sauberere Antriebe anbieten zu können.

Abstract

An effective technology to reduce emission and fuel-consumption is the use of turbochargers. A turbocharger increases the air pressure at the inlet manifold of the engine by using the waste energy from the exhaust gas to drive a turbine wheel that is linked to the compressor through a shaft. Besides the use in combustion engines, fuel cell systems for vehicle applications also need compressed air to achieve high power densities. Thereby, in fuel cell systems the noise emission of turbochargers is no longer masked by the combustion engine. In operation, the main noise sources are generated by the flow in the compressor and the different noise phenomena need to be understood in order to efficiently reduce the emitted noise and increase comfort. A huge potential in order to achieve this goal is a simulation based investigation to study in detail the flow mechanism, the aeroacoustic sources and its sound propagation. The main goal of this research project is to develop a physical model and based on it an enhanced simulation environment, which is capable to compute the source mechanism in compressors and the sound propagation in the whole turbocharger.

Aeroacoustics of compressors is a quite new fundamental and applied research topic and strongly increases due to its practical relevance in turbomachinery. Thereby, the actual physical source mechanism as rotational and pulsation noise as well as hiss / whoosh noise is currently not fully understood. Therefore, the main goal of this research project is the physical correct modelling and numerical simulation of the aeroacoustics in compressors and the computation of the sound propagation in a whole turbocharger. In detail, the following steps will be performed. (1) instationary, compressible flow computations using LES (Large Eddy Simulation) / DES (Detached Eddy Simulation) turbulence models; (2) analysis of aeroacoustic sources computed by the pure solenoidal part of the flow velocity (vortex sound theory) applying a Helmholtz-Hodge decomposition on the compressible flow; (3) computation of the sound propagation within and outside the turbocharger based on coupled mechanical-acoustic simulations.

Initiator of this project is Prof. Manfred Kaltenbacher from the Institute for Mechanics and Mechatronics at Vienna University of Technology. The research group is concentrating on the modelling and numerical simulation of vibro- and aeroacoustics. Thereby, a new aeroacoustic simulation approach based on the Finite Element (FE) method using non-conforming grid

techniques has been established for rotating systems and will be extended in this research project for compressible flows. The BMW Group is one of the leading automobile companies with a strong focus on development and research. Thereby, BMW Motoren GmbH Steyr concentrates on the development of new engine generations with reduced emission and fuel consumption and high acoustic comfort. At BMW Steyr 66 test rigs (41 motor test rigs and 25 special developed engine test benches) are available including the hot gas test rig for turbocharges used for experimental investigations in this research project. Furthermore, the R&D centre has strong knowledge on the CFD (Computational Fluid Dynamics). In addition, the team of Prof. Stefan Becker (Aeroacoustics and Fluid Mechanics at the Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nurenberg) supports the research project with his expertise on turbomachinery, and in particular with his recently developed cold-gas test rig for turbocharges, which will be used to obtain the validation data for the new aeroacoustic simulation tool.

The findings of this research project towards the physics of aeroacoustic sources in compressors such as rotational and pulsation noise as well as hiss / whoosh noise, and a gain in thermodynamics will find their way to prospective motor generations to eliminate or at least strongly reduce disturbing noises and to provide more efficient and clean engines.

Projektkoordinator

- Technische Universität Graz Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik

Projektpartner

- BMW Motoren GmbH
- Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik