

# Konventionelle CFD für strömungsakustische Optimierung

Frank Kameier<sup>\*)</sup>, Igor Horvat<sup>\*\*)</sup>, Klaus Becker<sup>\*\*\*)</sup>

<sup>\*)</sup>Fachhochschule Düsseldorf, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Fachgebiet Strömungstechnik und Akustik, Josef-Gockeln-Str. 9, 40474 Düsseldorf, Deutschland, Email: [frank.kameier@fh-duesseldorf.de](mailto:frank.kameier@fh-duesseldorf.de)

<sup>\*\*)</sup>Hako-Werke GmbH, Bad Oldesloe, <sup>\*\*\*)</sup>Fachhochschule Köln, Institut für Fahrzeugtechnik

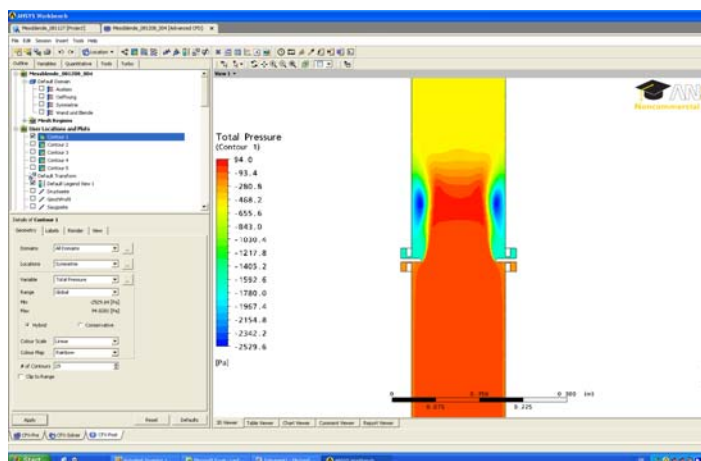
## Einleitung

Strömungsakustische Berechnungen stehen im Fokus einer Reihe von Forschungsprojekten. In der industriellen Praxis ist es bisher eher nicht möglich, die Schallabstrahlung strömungsakustischer Quellen mit vertretbarem Aufwand zu berechnen. Goldstein hat zwar bereits 1976 Grundlagen dafür gelegt, die physikalischen Quellen und ihre Quellstärke müssen aber bekannt sein. Semiempirische Ansätze helfen, die Größenordnung einer möglichen Schallausbreitung abzuschätzen.

Zur konstruktiven Verbesserung technischer Anwendungen ist es aber bereits möglich, konventionelle CFD-Rechnungen durchzuführen, um die Strömungstopologie zu verstehen und um Optimierungsansätze zu entwickeln. Am Spalteffekt axialer Strömungsmaschinen, einer Zylinder-Platte-Konfiguration und der Staulippe eines Personenkraftwagens werden Beispiele zeitlich unkontrollierter Berechnungen („Physical Time Steps“ als automatische Vorgabe) mit kommerzieller CFD-Software gezeigt, die sich auch mit akustischen Messergebnissen bewerten lassen. Zunächst wird an Hand einer Kalibrierungssimulation die Genauigkeit des Verfahrens für stationäre Berechnungen unter Verwendung von ANSYS Workbench betrachtet. Ein Ausblick auf eine Grundlagenanwendung zu strömungsinduzierten Schwingungen wird gegeben.

## Kalibrierung des numerischen CFD Verfahrens

Zur Überprüfung der numerischen Berechnungsgenauigkeit für stationäre Testfälle wird eine Messblende gemäß DIN EN ISO 5167 (Abb. 1) zur Bestimmung von Massen- und Volumenströmen simuliert. Der Vorteil dieses Testfalls ist, dass zur Validierung kein Experiment durchgeführt werden

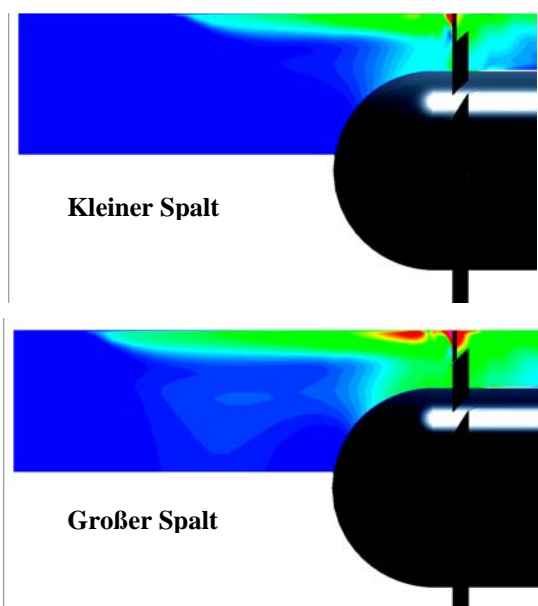


**Abbildung 1:** Numerische Berechnung einer Messblende gemäß DIN EN ISO 5167 – experimentelle Validierung ist ohne Experiment möglich.

muss, da sich sämtliche integrale Werte aus den Formeln der DIN-Norm berechnen lassen. Ferner beinhaltet der Testfall sowohl eine abgelöste Wandgrenzschicht als auch eine Strömungsablösung an einer scharfen Kante. Die Vernetzung erfolgt mit dem automatischen Netzgenerator für Tetraeder-Netze unter ANSYS Workbench. Die Rohrwand wird mit einer sogenannten Inflation Layer belegt, die für eine feinere Berechnung in Wandnähe sorgt, um dem logarithmischen Wandgesetz zu genügen. Verwendet wird des Weiteren das Shear-Stress-Transport Turbulenzmodell, das selbständig die wandnahe Strömungsberechnung mit dem  $k-\omega$ -Modell und die Kernströmung mit dem  $k-\epsilon$ -Modell schließt. Bei 10 Millionen Elementen ergibt sich somit eine Berechnungsgenauigkeit für eine inkompressible Strömung von  $\pm 3\%$  oder einem absoluten Fehler von  $6\%$  zum DIN-Experiment.

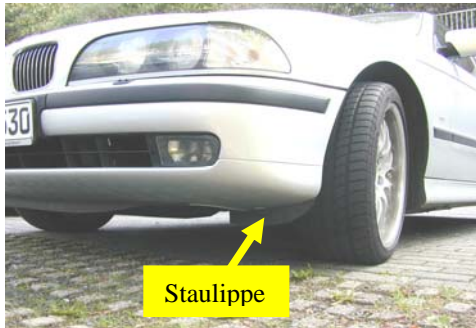
## Beispiele von Strömungsberechnungen im Kontext von Strömungstechnik und Akustik

Bereits 2004 hat Haukap [1] den Spalteffekt einer axialen Strömungsmaschine mit CFX Task-Flow, das mittlerweile in ANSYS Workbench integriert ist, berechnet. Das für den akustischen Spalteffekt entscheidende Sekundärströmungsgebiet stromauf des Laufrades tritt nur bei genügend weitem Spalt auf, vgl. Abb. 2. In den 90er Jahren waren umfangreiche Experimente mit Hochgeschwindigkeitskamera zur Strömungssichtbarmachung notwendig, um zu dem in Abb. 1 gezeigten Kenntnisstand zu gelangen. Die akustische Verstärkung bei Öffnung des Kopfspaltes ist assoziiert mit der in Abb. 5 gezeigten Wirbelinteraktion.



**Abbildung 2:** CFX-Simulation des Spalteffekts axialer Strömungsmaschinen aus dem Jahr 2004 [1].

Wagner nutzt in [2] eine CFD-Simulation zur Identifikation der optimalen Messpositionen für Brüel&Kjær Oberflächenmikrofone Typ 4949 für eine experimentelle Untersuchung zur Strömungsakustik der Staulippe an einem 3er BMW. Die in Abb. 3 gezeigte Staulippe stromauf der Radkästen ist ein akustisches Bauteil, deren Funktion erst durch die Arbeit von Wagner vollständig geklärt wird [2], [4].



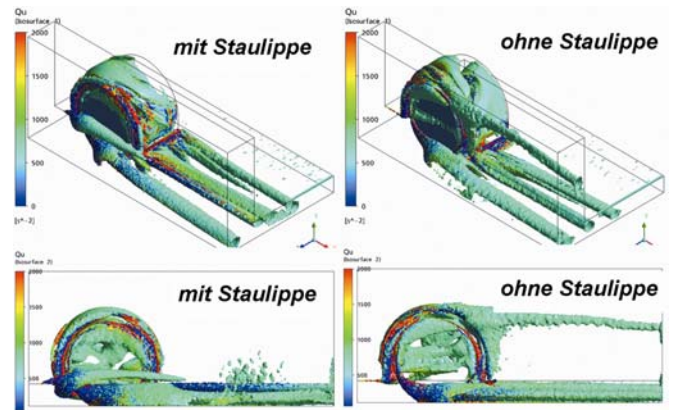
**Abbildung 3:** Staulippe an einem 3er BMW, vgl. [2], [4].

Die Messungen mit den Oberflächenmikrofonen ergeben Aufschluss zu Frequenzkomponenten und Ausbreitungsgeschwindigkeiten instationärer Phänomene. Hingegen kann mittels der Strömungssimulation und der Darstellung von Wirbelzöpfen gemäß dem Q-Kriterium deutlich gemacht werden, welches Strömungsphänomen (hier ein Wirbelzopf) für eine schlechte Innenraumakustik verantwortlich ist, vgl. Abb. 4. Der messtechnisch ermittelten akustischen Wirkung wird durch die CFD-Simulation als physikalische Ursache ein Wirbelzopf, der sich auf die Karosserie im Bereich der Tür bewegt, zugeordnet.

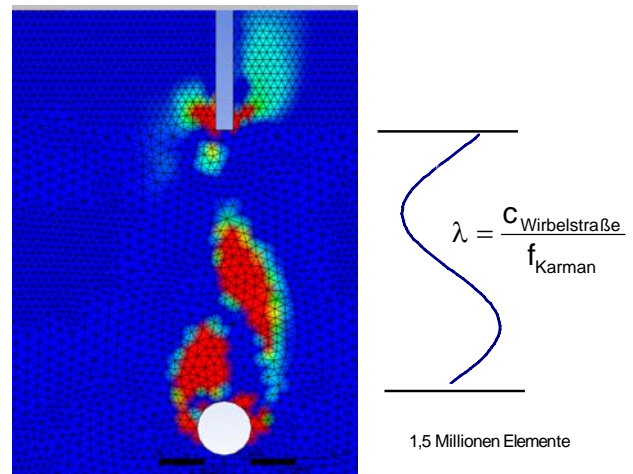
Abb. 5 zeigt die Strömungssimulation einer Zylinder-Platte-Konfiguration, wie Sie auch von [4], [5], [6] behandelt wird. Bei einem Abstand zwischen Zylinder und Platte von einer aerodynamischen Wellenlänge, definiert als die konvektive Geschwindigkeit der Kármánschen Wirbelstraße bezogen auf die Wirbelablösefrequenz, ergibt sich eine massive Verstärkung des Schalldruckpegels von mehr als einer Größenordnung ( $> 20$  dB). Ist der Zylinder einseitig eingespannt, tritt nur bei einem Abstand von genau einer Wellenlänge eine strömungsinduzierte Schwingung auf. Da die Schwingung nur bei vorhandener Platte zu beobachten ist, handelt es sich um eine klassische Feedback-Loop-Konfiguration.

## Zusammenfassung

Zur Klärung der physikalischen Ursachen von strömungsinduzierten Geräuschen waren in der Vergangenheit aufwändige Methoden zur Visualisierung von Strömungen sehr hilfreich. Mittels vergleichsweise einfacher und automatisierter stationärer CFD-Berechnungen unter ANSYS Workbench auf einem PC (8 GByte, 1 Prozessor 2,4 GHz) lassen sich weitaus aussagekräftigere Strömungstopologien bestimmen, als dies mit experimentellen Methoden möglich ist. Das grundsätzliche Vorgehen und die Genauigkeit des CFD-Verfahrens wurde anhand der Simulation einer Messblende nach DIN EN ISO 5167 erprobt, für die keine experimentelle Validierung notwendig ist.



**Abbildung 4:** ANSYS Workbench Simulation eines PKW Radkastens mit und ohne Staulippe, Darstellung des Q-Kriteriums [2], [4].



**Abbildung 5:** ANSYS Workbench Simulation einer Zylinder-Platte-Konfiguration, vgl. auch [5], [6], [7].

## Literatur

- [1] Haukap, C.: Zur Korrelation von Schaufelschwingungen und rotierenden Strömungsphänomenen in Axialverdichtern, Dissertation, TU München, 2005.
- [2] Wagner, T.: Experimentelle und numerische Untersuchung zur Strömungsakustik der Staulippe eines 3er BMWs. Master Thesis, Fachhochschule Düsseldorf, 2008.
- [3] Kameier, F.; Horvat, I.; Wagner, T.; Ullrich, F.: Experimental and numerical investigation of the air dam aeroacoustics, In: ATZ 7-8 (2009), S. 562 - 567.
- [4] Winkler, M.; Becker, K.; Kameier, F.: Experimentelle Untersuchung von Einflüssen auf die Strömungsakustik einer Zylinder/Platte-Konfiguration, DAGA 2010.
- [5] Kornhaas, M.; Sternel, D.C.: Ein integrierter Code zur Simulation strömungsinduzierten Lärms im Nahfeld, DAGA 2010.
- [6] Sternel, D.C.; Kornhaas, M.: Gekoppelte Simulation von Strukturbewegung, Akustik und Strömungsfeld, DAGA 2010.