

Experimentelle Untersuchung der Schalldruckverstärkung an einer Zylinder/Platte-Konfiguration mit Hilfe statistischer Methoden

Till Biedermann¹, Robert Heinze¹, Frank Kameier¹, Oliver Paschereit²

¹ Fachhochschule Düsseldorf, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Fachgebiet Strömungstechnik und Akustik, Josef-Gockeln-Str. 9, 40474 Düsseldorf, Deutschland, Email: till.biedermann@fh-duesseldorf.de

² TU Berlin, 10623 Berlin, E-Mail: oliver.paschereit@tu-berlin.de

Einleitung

Im Nachlauf eines Zylinders bildet sich abhängig von der Anströmgeschwindigkeit eine periodische Wirbelschlepe aus, die auch als Kármánsche Wirbelstraße bekannt ist. Die Wirbelablösung verursacht Druckschwankungen auf der Zylinderoberfläche, die sich mit Schallgeschwindigkeit ausbreiten und die Charakteristik eines Dipols aufweisen. Das Einbringen eines Interferenzkörpers, wie bspw. einer Platte, in den Zylindernachlauf, kann die Schallabstrahlung signifikant verstärken. Dieses Phänomen ist als Schalldruckverstärkung (SDV) bekannt [3]. Ein besseres Verständnis der zu Grunde liegenden Effekte dieses Verstärkungsmechanismus sollen Untersuchungen an einem horizontal in eine Strömung eingebrachten Kreiszyinders mit einer Plattengeometrie in dessen Nachlauf liefern. Trotz der geringen geometrischen Komplexität des Interferenzkörpers treten bei Variation der Plattengeometrie sowie der Strömungsparameter verschiedene akustische Effekte auf, welche strukturiert erfasst und analysiert werden. Zur Minimierung des im Normalfall erheblichen Versuchsaufwandes wird sich der statistischen Methodik des *Design of Experiments* (DoE) bedient. Die Anzahl der notwendigen Versuchspunkte wird in diesem Fall von der dritten auf die erste Potenz reduziert.

Experimentelle Vorbereitung

Variiert wurden fünf verschiedene Faktoren auf jeweils fünf Einstellstufen. Durch die Wahl eines pseudoorthogonalen und drehbaren Versuchsplanes wird der Versuchsraum durch Zentral-, Eck- und Sternpunkte definiert [2]. Die Anzahl der notwendigen Versuchspunkte orientiert sich an der Anzahl der zu bestimmenden Regressionskoeffizienten und ist mit 43 festgelegt.

Tabelle 1: Definition der Faktor-Einstellstufen. Normierung durch Bezug auf den Zylinderdurchmesser ($d_{\text{Zyl}}=3\text{mm}$).

Re	Tu	l_platte	d_platte	h_versatz
--	%	--	--	--
2252	2,40	0,67	0,17	-0,50
3199	3,96	1,63	0,50	-0,21
3886	5,10	2,33	0,75	0,00
4573	6,24	3,03	1,00	0,21
5520	7,80	4,00	1,33	0,50

Zur Auswertung des DoE-Versuchsplanes ist es notwendig Zielgrößen zu definieren, welche das untersuchte System möglichst präzise beschreiben und von den gewählten Faktoren beeinflusst werden [2].

Somit existieren fünf Zielgrößen bezüglich des Gesamtpegelverlaufs (vgl. Abb.1) und eine weitere Zielgröße in Bezug auf das lokale Schmalbandspektrum (vgl. Abb.2).

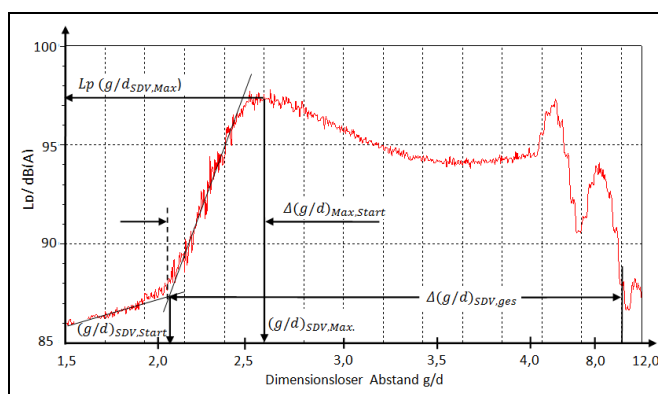


Abbildung 1: A-bewerteter Schalldruckpegel (L_p) über dimensionsloser Abstandsvariation von Platte und Zylinder bei Zylinderdurchmesser $d_{\text{Zyl}}=3\text{mm}$. Definition von Zielgrößen zur Systemdefinition.

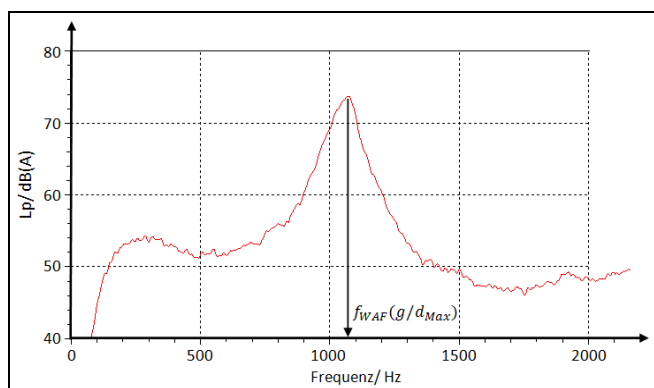


Abbildung 2: Lokales Schmalbandspektrum an der Stelle der maximalen SDV (vgl. Abb. 1). Definition der lokalen Wirbelablösefrequenz (WAF) als Zielgröße.

Einsetzen und Maximum der SDV

Der Effekt der SDV setzt bereits bei geringen Zylinder/Platte-Abständen von $g/d \approx 1,8$ ein. Kriterium ist die *vortex formation length*, welche die notwendige Ausbildungsstrecke der Wirbel nach der Ablösung von der Zylinderoberfläche beschreibt [3]. Die *vortex formation length* weist wiederum eine Abhängigkeit von verschiedenen Einflussparametern, wie dem Zylinder/Platte-Abstand, dem Turbulenzgrad, der Reynoldszahl und der Plattendicke auf.

Das Maximum der SDV ist definiert als Punkt des maximalen Schalldruckpegels, charakterisiert durch einen dimensionslosen Zylinder/Platte-Abstand (vgl. Abb.1). Das Erreichen des SDV-Maximums erfolgt mit steigender Plattendicke erst bei erhöhtem g/d -Abstand (vgl. Abb.3).

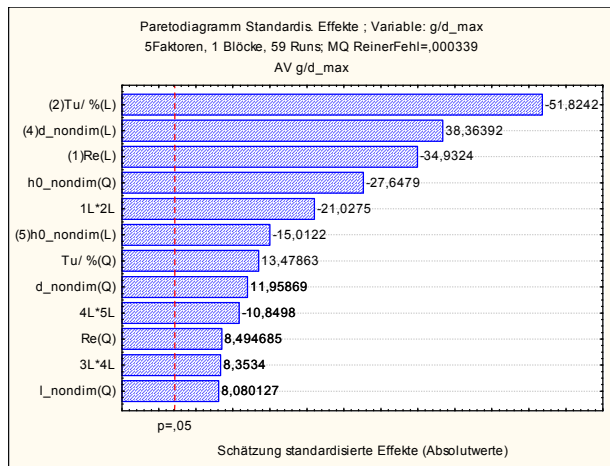


Abbildung 3: Pareto diagramm der Zielgröße der maximalen SDV. Signifikanzgrenze bei 5%. Positive Koeffizienten haben eine verstärkende, negative Koeffizienten eine hemmende Wirkung der Faktoren auf die Zielgröße zur Folge.

Begründet liegt dies in der Verschiebung des Punktes der Strömungsablösung von der Zylinderoberfläche. Die Platte hat eine Stromaufwirkung mit einem Hystereseeffekt auf den Zylinder [3] und verschiebt den Ablösepunkt der Strömung von dessen Oberfläche entgegen der Strömungsrichtung, was zu einem Sinken der WAF und somit zu einer steigenden Wellenlänge der Wirbel führt. Analog des Erreichens einer maximalen SDV nach Gleichung (1) führt eine steigende aerodynamische Wellenlänge zu einem SDV-Maximum bei hohen Zylinder/Platte-Abständen (siehe dazu auch [1]).

$$(g/d)_{SDV,Max.} = (2 \cdot \lambda_{WAF} \cdot n - d_{Zyl.}) / (2 \cdot d_{Zyl.}) \quad (1)$$

Lp und WAF am Maximum der SDV

Die Analyse des Einflusses der Faktoren auf den Schalldruckpegel am Punkt der maximalen SDV ergibt eine Dominanz der Reynoldszahl.

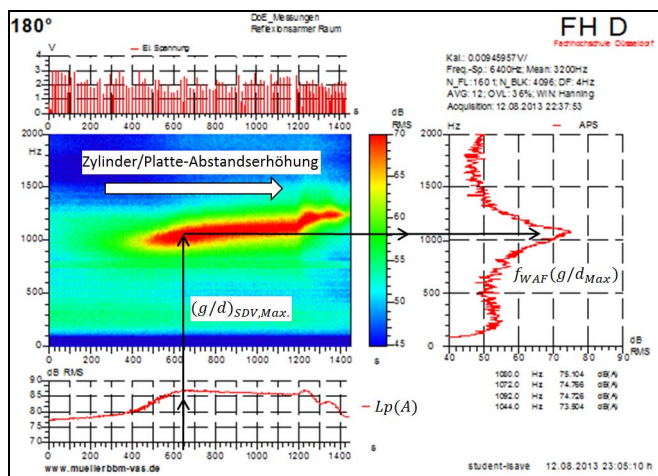


Abbildung 4: Spektrogramm einer Versuchspunktmessung. Markiert ist das Maximum der SDV sowie die zugehörige lokale WAF.

Eine steigende Reynoldszahl verschiebt den Ablösepunkt der Strömung von der Zylinderoberfläche in Strömungsrichtung. Folglich steigt die WAF und es ergibt sich eine erhöhte Energieabgabe der Wirbel an die Plattenoberfläche, was zu einem Anstieg des Schalldruckpegels führt. Die Wirbelablösefrequenz eines umströmten Zylinders ist durch die Strouhalbeziehung definiert, wobei die Strouhalzahl in einem großen Reynoldszahl-Intervall nahezu konstant ist.

$$f_{WAF} = Sr \cdot c_{Ström} / d_{Zyl.} \quad [\text{Hz}] \quad (2)$$

Bei einer Zylinder/Platte-Konfiguration ist die Strouhalzahl nicht als konstant anzusehen. Je geringer der Abstand zwischen Zylinder und Platte ist, desto geringer ist die WAF (vgl. Abb.4). Weiterführend stellt sich eine sinkende WAF mit steigender Plattendicke ein, da die auf die Platte auftreffenden Wirbel einer Umlenkung unterworfen sind und somit an kinetischer Energie einbüßen (vgl. Abb.5).

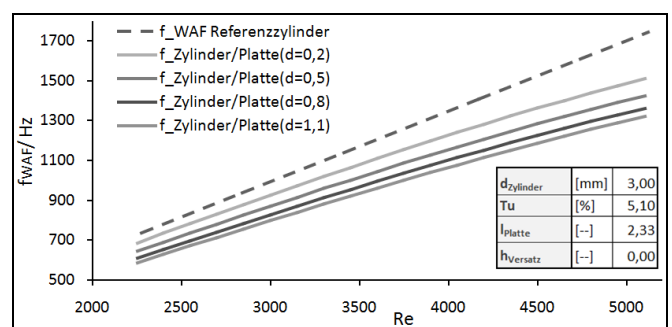


Abbildung 5: Abhängigkeit der WAF von Reynoldszahl und Plattendicke im SDV-Maximum bei gegebenen Einstellwerten der übrigen Faktoren. Darstellung des Verlaufs eines einzelnen Referenzzylinders bei gleicher Reynoldszahl.

Zusammenfassung

- Einsetzen der SDV ist erst mit Überschreiten eines durch die *vortex formation length* definierten Zylinder/Platte-Abstandes möglich.
- Der maximale Schalldruckpegel wird maßgeblich durch die Reynoldszahl bestimmt.
- Eine erhöhte Plattendicke bewirkt eine Umlenkung der stromab fließenden Wirbel vor der Platte und reduziert die Schallabstrahlung. Zudem wird der Hystereseeffekt beeinflusst.
- Für jede Zielgröße stehen Regressionsfunktionen zur Verfügung um den Einfluss der verschiedenen Parameter auf die Zielgröße zu prognostizieren.

Literatur

- [1] Heinze, R.: Modellbildung der Schalldruckverstärkung an einer Zylinder-Platte-Konfiguration, FH Düsseldorf, Düsseldorf, 2014
- [2] Siebertz, K.: Statistische Versuchsplanung, Springer-Verlag, Berlin, 2010
- [3] Winkler, M.: Experimentelle Untersuchung aeroakustischer und strukturendynamischer Effekte an einer Zylinder/Platte-Konfiguration, Technische Universität Berlin, Berlin, 2011