

## Alternative Anordnungen von Kulissenschalldämpfern

Wolfgang Herget<sup>1</sup>, Karlheinz Bay<sup>2</sup>, Peter Brandstät<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart, E-Mail: wolfgang.herget@ibp.fraunhofer.de

<sup>2</sup> Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart, E-Mail: karlheinz.bay@ibp.fraunhofer.de

<sup>3</sup> Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart, E-Mail: peter.brandstaett@ibp.fraunhofer.de

### Einleitung

Kulissenschalldämpfer erfüllen nach wie vor eine zentrale Aufgabe in der Anlagentechnik. In verschiedenen industriellen Anwendungen mit hohen Anforderungen an die Dämpfung kommen spezielle Schalldämpfer zum Einsatz. Eine bereits in der Vergangenheit untersuchte und in der Literatur bekannte Variante sind versetzte Kulissenanordnungen [1]. Diese Einbauvariante, sowie Stabkulissenanordnungen, wurden im Rahmen eines Industrieprojektes im Schalldämpfer-Prüfstand getestet. Hierbei wurden mehrere Kulissenkonfigurationen unter verschiedenen Ausstellungsverhältnissen auf die Einfügungsdämpfung, den Druckverlust und das Strömungsrauschen hin untersucht. Da recht wenige Werte derartiger Kulissenanordnungen in der Literatur vorhanden sind, konnte mit diesen gewonnenen Messdaten die Wirkung von versetzten und stabförmigen Kulissen überprüft werden. Ziel war es die Vor- und Nachteile solcher alternativen Kulissenanordnungen zu ermitteln um für die Praxis Empfehlungen abzuleiten.

### Schalldämpfer-Prüfstand

Die Untersuchungen wurden im Schalldämpfer-Prüfstand nach Abb. 1 am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Stuttgart durchgeführt.

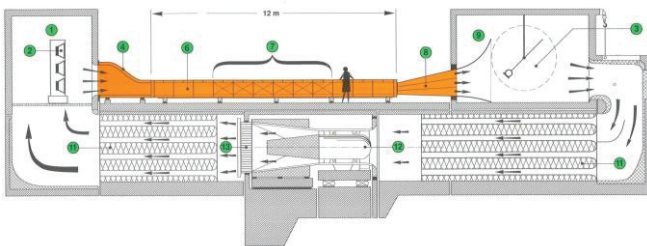


Abbildung 1: Schalldämpfer-Prüfstand am Fraunhofer IBP.

In diesem Prüfstand erfolgt eine Bestimmung der charakteristischen Messgrößen an Kulissenschalldämpfern (Einfügungsdämpfung, Druckverlust und Strömungsrauschen) nach der Norm DIN EN ISO 7235 [2]. Die Messungen erfolgen nach dem in der Norm beschriebenen Substitutionsverfahren.

Der Prüfstand verfügt über eine in der Breite variablen Messstrecke. Vor und nach der Messstrecke (orangener Bereich in Abb. 1) ist jeweils ein Hallraum angeschlossen. Das Gebläse zur Erzeugung der Strömung mit einer Leistung von 130 kW liegt eine Etage unter dem eigentlichen Messkanal und ist vom restlichen Gebäude körperschallentkoppelt. Im Weiteren befinden sich vor und nach dem Axialgebläse jeweils Kulissenschalldämpfer. Diese Maßnahme und die Entkopplung des

Trägerfundamentes dienen dazu, dass eine „leise“ Luftströmung ohne überlagertes Turbinengeräusch erzeugt werden kann. Dies ist entscheidend für die Messung der Strömungsgeräusche von Testobjekten. In dem Messkanal kann bei einer Querschnittsfläche von 1000 x 500 mm<sup>2</sup> eine maximale Strömungsgeschwindigkeit von 70 m/s erzeugt werden.

### Alternative Kulissenschalldämpfer

Alternative Kulissenschalldämpfer kommen dann zum Einsatz, wenn spezielle Anforderungen zu erfüllen sind. Eine Hauptanwendung von alternativen Kulissenanordnungen ist die Unterdrückung der Durchstrahlung, die bei hohen Frequenzen einsetzt. In Abb. 2 sind drei Anordnungen von Kulissenschalldämpfern exemplarisch dargestellt.

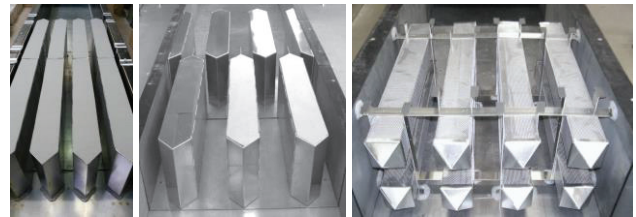


Abbildung 2: Verschiedene Kulissenanordnungen.

Das linke Bild zeigt eine Standard-Kulissenanordnung mit unversetzten Kulissen. Dies bedeutet eine durchgehend gleichbleibende Kulissendicke und einen ebenfalls gleichbleibenden Kulissenspalt. Im mittleren Bild ist eine versetzte Kulissenanordnung dargestellt, bei der die zweite Kulissenreihe so versetzt ist, dass der Kulissenspalt nicht mehr gerade durchgeht. Das rechte Bild zeigt eine Anordnung mit stabförmigen Kulissen (Säulenschalldämpfer).

Eine relevante Anforderung zur Verwendung von alternativen Kulissenanordnungen ist bspw. die Einhaltung der Dämpfungswirkung bei hohen Frequenzen. Diese Dämpfungswirkung kann durch eine versetzte Kulissenanordnung erzielt werden. Zu beachten ist hierbei jedoch der erhöhte Druckverlust und ein höheres Eigenrauschen bei der Durchströmung im Vergleich zu geradliniger Anordnung. Diese Vor- und Nachteile von alternativen Kulissenanordnungen sind bekannt, aber analytische Untersuchungen lückenhaft. Zur genaueren Betrachtung der Thematik wurde ein Messprogramm aufgesetzt um die Möglichkeiten zu klären, alternative Kulissenanordnungen weiter zu optimieren. Hierzu wurden versetzte Kulissenanordnungen, sowie Säulenschalldämpfer mit unterschiedlichen Ausstellungsverhältnissen im Schalldämpfer-Prüfstand untersucht. Im Weiteren wurde zu jeder alternativen Kulissenanordnung auch eine Standard-

Konfiguration untersucht (unversetzt, ohne Säulen-geometrie). Dies diente dem direkten Vergleich zwischen den unterschiedlichen Einbaugeometrien und einem vergleichbaren Referenzaufbau.

### Versetzte Kulissenanordnungen

Für den Aufbau der versetzten Kulissenanordnung wurden zwei Kulissenreihen in den Prüfstand eingebaut. Die Kulissen sind jeweils 1 m lang und besitzen An- und Abströmprofile. Die zweite Kulissenreihe, wurde so versetzt, dass die Summe der beiden Teilspaltflächen  $s$  der Spaltfläche  $2s$  in der ersten Kulissenreihe entspricht. Zur Veranschaulichung ist der versetzte Aufbau in Abb. 3 dargestellt.

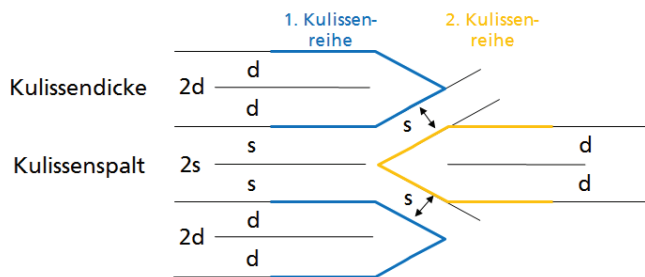


Abbildung 3: Prinzipieller Aufbau einer versetzten Kulissenanordnung.

Der in Abb. 3 gezeigte Aufbau einer versetzten Kulissenanordnung wurde dahingehend erweitert, dass der Abstand zwischen erster und zweiter Kulissenreihe variiert wurde. Hierfür wurde die zweite Kulissenreihe mit unterschiedlichen Abständen zu der ersten Kulissenreihe eingebaut. Eine schematische Darstellung ist in Abb. 4 skizziert.

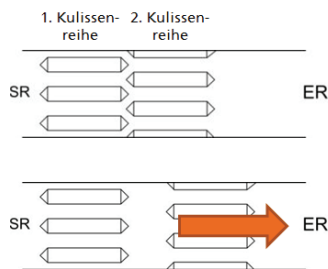


Abbildung 4: Variation des Abstandes  $D$  zw. 1. und 2. Kulissenreihe.

Es wurden vier unterschiedliche Abstände ( $D_I$  bis  $D_{IV}$ ) gewählt. Die Bezeichnung SR kennzeichnet den Senderaum als die Seite mit der akustischen Anregung sowie dem Strömungseinlass, ER beschreibt die Weiterführung des Messkanals in einen Empfangsraum. Beide Räume sind, wie in Abb. 1 erkennbar, als Hallräume ausgeführt.

Für eine systematische Untersuchung wurde der Einfluss einer versetzten Anordnung an mehreren Kulissenaufbauten durchgeführt. Es wurde hierbei die Kulissendicke sowie der Kulissenspalt variiert. Abb. 5 zeigt eine Übersicht mit den untersuchten Aufbauten und den dazu gehörigen Ausstellungsverhältnissen.

$m = d/s$	1 2d mm	1.3 2s mm	2 2s mm
200	200	150	
300	300		
320	320	240	160
240	240	180	120
160	160	120	80
80	80	60	40

Abbildung 5: Untersuchte Kulissenanordnungen.

Mit diesen gewählten und untersuchten Kulissenaufbauten sollte das typische Einsatzspektrum an Varianten abgedeckt werden. Für jede versetzte Variante wurde eine unversetzte Referenzmessung durchgeführt.

### Säulenschalldämpfer

Neben den versetzten Kulissenanordnungen wurde eine weitere alternative Anordnung von Kulissenschalldämpfern untersucht. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass die senkrecht stehenden Kulissen durch einen zusätzlichen waagerechten Spalt unterbrochen werden. Dadurch entstehen stabförmige Bereiche, welche an allen Außenseiten absorbierend wirksam sind. Dieser Aufbau wird im Folgenden als Säulenschalldämpfer bezeichnet und ist in Abb. 6 exemplarisch dargestellt.



Abbildung 6: Eingebauter Säulenschalldämpfer in die Messstrecke.

Die untersuchten Säulenschalldämpfer sind in Bezug auf die verwendete Mineralwolle und deren Abdeckung (Vlies + Lochblech) identisch zur Referenz-Kulisse. In Abb. 7 ist eine Übersicht mit den drei untersuchten Typen von Säulenschalldämpfern dargestellt.

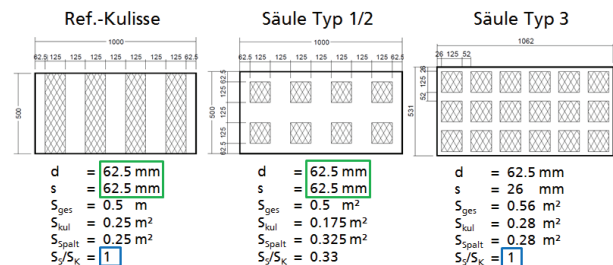


Abbildung 7: Untersuchte Säulenschalldämpfer.

Die Referenzkulisse (Standard) weist im Vergleich zum Säulentyp 1 & 2 die gleiche Kulissendicke und den gleichen Kulissenspalt auf, aber es ergibt sich ein anderes Flächenverhältnis  $S_S/S_K$  von Kulissenanteil ( $S_{Kul}$ ) zu Spaltanteil ( $S_{Spalt}$ ). Für den Säulentyp 3 wurde die Spaltbreite

soweit reduziert bis sich das gleiche Flächenverhältnis  $S_S/S_K$  im Vergleich zur Referenzkulisse einstellt.

### Messergebnisse versetzte Kulissenanordnung

In den folgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der Einfügungsdämpfung, des Druckverlusts und der Schallleistung des Strömungsrauschens der Kulissenvariante mit  $m = 1$ ,  $2d = 200$  mm und  $2s = 200$  mm (siehe Abb. 5) dargestellt. Die Einfügungsdämpfungen der Referenzkulisse (unversetzt) zur versetzten Kulissenanordnung sind in Abb. 8 dargestellt. Die Bezeichnung  $D_0$  entspricht der Versetzung ohne zusätzlichen Abstand zwischen der ersten und zweiten Kulissenreihe.  $D_1$  bis  $D_{IV}$  kennzeichnen die Messergebnisse mit den vier weiteren gewählten Abständen zwischen den beiden Kulissenreihen.

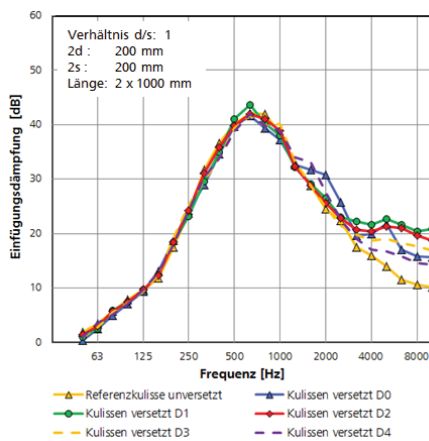


Abbildung 8: Einfügungsdämpfung einer versetzten Kulissenanordnung.

Der Effekt einer versetzten Kulissenanordnung bei hohen Frequenzen ist für alle fünf versetzten Varianten erkennbar. Die Durchstrahlung des Kulissenspaltes wird deutlich minimiert. Bei der versetzten Kulissenanordnung wird die Luft im Übergang zwischen erster und zweiter Kulissenreihe umgelenkt. Der dadurch entstehende Einfluss auf das Strömungsgeräusch (Schallleistung) und den Druckverlust wird in Abb. 9 und 10 ersichtlich.

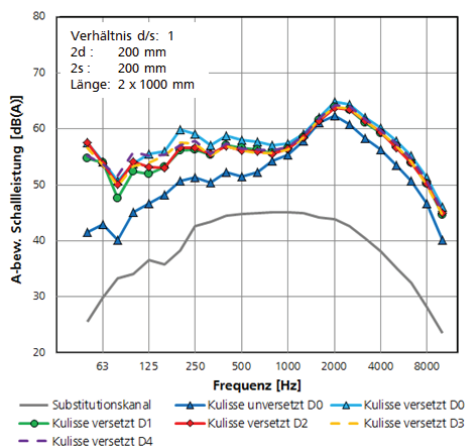


Abbildung 9: A-bew. Schallleistung einer versetzten Kulissenanordnung bei 25 m/s Spaltgeschwindigkeit.

Zusätzlich zu den gemessenen Schallleistungen der Kulissenvarianten ist in Abb. 9 der Substitutionskanal (leere

Messstrecke ohne eingebaute Kulissen, graue Kurve) aufgetragen. Die dunkelblaue Kurve zeigt die unversetzte Kulissenanordnung und die anderen Kurven stellen die Ergebnisse mit den versetzten Kulissenanordnungen dar. Deutlich ist die Steigerung des Strömungsgeräusches ersichtlich. Im Summenpegel macht dies ca. 3 dB(A) aus. Auch bei anderen Spaltgeschwindigkeiten und ebenfalls anderen untersuchten Kulissenaufbauten stellte sich im Mittel eine Erhöhung der Schallleistung durch die versetzte Anordnung von ca. 3 dB(A) ein.

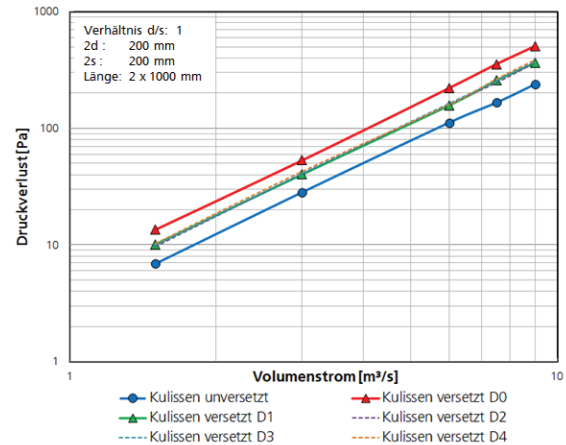


Abbildung 10: Druckverlust einer versetzten Kulissenanordnung.

Der Druckverlust der versetzten Kulissenanordnung ( $D_0$  - rote Kurve) liegt deutlich über den Werten der Referenzkulisse (unversetzt - blaue Kurve). Die Druckerhöhung in Pascal kann sich dadurch nahezu verdoppeln. Bei den Einbauvarianten mit einem zusätzlichen Abstand zwischen der ersten und zweiten Kulissenreihe ( $D_1$  bis  $D_{IV}$ ) kann diese Druckerhöhung um ca. 70 % reduziert werden.

Anhand dieser Messergebnisse konnten die Vor- und Nachteile von versetzten Kulissenanordnungen belegt werden. Als Vorteile sind die Unterdrückung der Durchstrahlung bei hohen Frequenzen, sowie als weiterer Effekt, eine Reduzierung der Schalllängsübertragung über den Kulissenrahmen anzusehen. Die Schalllängsübertragung kann im Falle von recht langen Kulissenanordnungen einen hohen Einfluss auf die Dämpfungswirkung haben. Die Nachteile von versetzten Kulissenanordnungen sind eine erhöhte Schallleistung und ein erhöhter Druckverlust. Diese Nachteile können unter Verwendung eines Abstandes zw. der ersten und zweiten Kulissenreihe zum Teil wieder reduziert werden. Die Untersuchungen ergaben einen bevorzugten Abstand von  $D_1$  (grüne Kurve in Abb. 8 bis 10).

Für eine systematische Auswertung sollen die zwei folgenden Abbildungen dienen. Hierbei wird die Einfügungsdämpfung der Referenzkulisse ( $m$ ) mit der versetzten Kulissenanordnung ( $mv$ ) für eine Kulissendicke ( $2d$ ) mit unterschiedlichen eingestellten Spaltbreiten ( $2s$ ) verglichen. In Abb. 11 ist die Einfügungsdämpfung der Kulissenvariante mit  $2d = 320$  mm und unterschiedlichen Ausstellungsverhältnissen dargestellt.

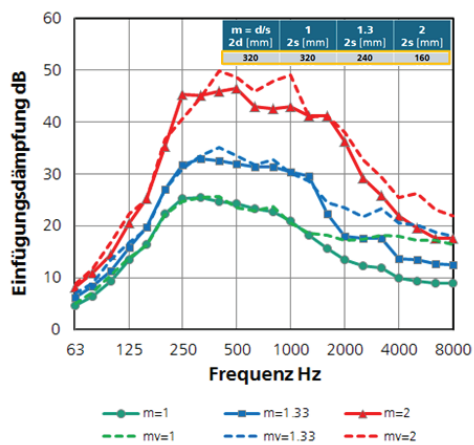


Abbildung 11: Vergleich Einfügungsdämpfung unversetzt und versetzte Kulissenanordnung,  $2d = 320\text{mm}$ .

Die Wirkung der versetzten Kulissenanordnung (gestrichelte Kurven) zur unversetzten (durchgezogene Kurven) ist im Bereich der hohen Frequenzen gut ersichtlich. Die Durchstrahlung wird deutlich reduziert mit der versetzten Variante. Ebenfalls ist der Einfluss der Schalllängsübertragung im Bereich des Dämpfungsmaximums erkennbar. In der Abb. 12 sind für einen zweiten Kulissentyp ( $2d = 80\text{ mm}$ ) ebenfalls die Einfügungsdämpfung pro Ausstellungsverhältnis aufgetragen.

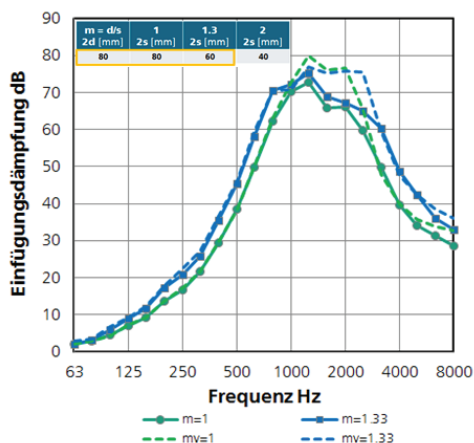


Abbildung 12: Vergleich Einfügungsdämpfung unversetzt und versetzte Kulissenanordnung,  $2d = 80\text{mm}$ .

Für die Kulissenvariante mit einer Kulissendicke von  $80\text{ mm}$  und den dargestellten Ausstellungsverhältnissen ist eine viel geringere Wirkung der versetzten Kulissenanordnung zu erkennen. Die Ausstellungsverhältnisse in Abb. 11 und Abb. 12 sind identisch, aber mit unterschiedlichen Kulissendicken und Spaltbreiten. Jedoch ist die akustische Wirkung sehr unterschiedlich. Die Beschreibung des Ausstellungsverhältnisses reicht im Falle von versetzten Kulissenanordnungen also nicht aus.

### Messergebnisse Säulenschalldämpfer

Die Ausführung von alternativen Kulissenanordnungen in Form von Säulenschalldämpfern stellen eine weitere mögliche Bauform von Kulissenschalldämpfern dar. Ziel dieser stabförmigen Absorberanordnung ist ebenfalls die

Reduzierung der Durchstrahlung bei hohen Frequenzen. Hierbei ergibt sich ein sehr ähnliches Verhalten wie bei den versetzten Kulissenanordnungen. In Abb. 13 ist die Einfügungsdämpfung für drei Typen von Säulenschalldämpfern dargestellt, wobei Typ 1 und Typ 2 eine identische Geometrie aufweisen und sich lediglich in der Art der Befestigung unterscheiden.

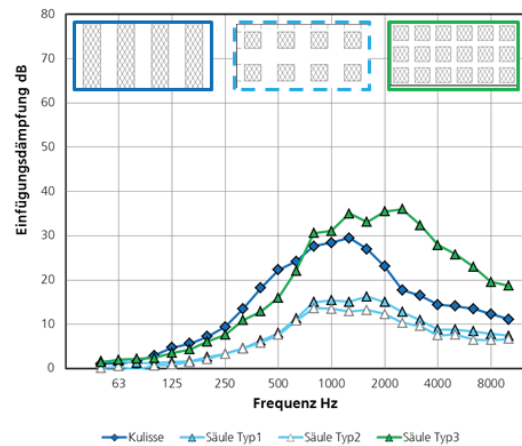


Abbildung 13: Vergleich Einfügungsdämpfung Referenz-Kulisse und Säulenschalldämpfer.

Der Säulentyp 1 & 2 (hellblaue Kurven) weist eine deutlich geringere Einfügungsdämpfung auf als die Referenzkulisse. Bei diesem Säulentyp wurden die Kulissendicke und die Spaltbreite im Vergleich zur Referenzkulisse gleich belassen. Erst durch eine deutliche Erhöhung der anteiligen Kulissenfläche (grüne Kurve), auf den Wert der Referenzkulisse, konnte die gewünschte akustische Wirksamkeit bei hohen Frequenzen erzielt werden.

### Zusammenfassung

Alternative Kulissenanordnungen besitzen Vor- und Nachteile. Die durchgeführte Messserie zeigte, dass die Nachteile mit einem bevorzugten Abstand zwischen der ersten und zweiten Kulissenreihe teilweise kompensiert werden konnten. Ebenfalls konnte anhand der gewonnen Erkenntnisse abgeleitet werden, dass die Abmessung des Kulissenspalts den größten Einfluss auf die Wirksamkeit hat und eine Angabe des Ausstellungsverhältnisses allein nicht ausreicht eine alternative Kulissenanordnung exakt zu beschreiben. Für den Einsatz in der Praxis ist es ratsam die Vor- und Nachteile alternativer Kulissenanordnungen gegenüber den Anforderungen abzuwägen und zu prüfen.

### Literatur

- [1] Schirmer, Werner (Hrsg.). Technischer Lärmschutz. 2. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2006. ISBN-13 978-3-540-25507-9.
- [2] DIN EN ISO 7235:2010-01, Akustik – Labormessung an Schalldämpfern in Kanälen - Einfügungsdämpfung, Strömungsgeräusch und Gesamtdruckverlust.