

# Akustische Optimierung der Gebläseabströmung in Fahrzeugklimaanlagen

Kerstin Altenhein<sup>1</sup>, Thomas Biermeier<sup>2</sup>, Ralf Blaschke<sup>2</sup>, Stefan Becker<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Erlangen Nürnberg, Lehrstuhl f. Prozessmasch. u. Anlagentechn., 91058 Erlangen,  
E-Mail: [kerstin.altenhein@ipat.uni-erlangen.de](mailto:kerstin.altenhein@ipat.uni-erlangen.de); [stefan.becker@ipat.uni-erlangen.de](mailto:stefan.becker@ipat.uni-erlangen.de)

<sup>2</sup> Audi AG, 85045 Ingolstadt,  
E-Mail: [thomas.biermeier@audi.de](mailto:thomas.biermeier@audi.de); [ralf.blaschke@audi.de](mailto:ralf.blaschke@audi.de)

## Einleitung

Durch die zunehmende Elektrifizierung von Fahrzeugen tritt zukünftig in der Fahrzeugakustik die Klimaanlage immer weiter in den Vordergrund. Während im Bereich der Ausströmer eine Vielzahl verschiedener Veröffentlichungen existiert, u. a. Guérin et al. [1], wird der Einfluss der Lauf- radabströmung auf die Schallabstrahlung in der Literatur nur sehr begrenzt behandelt. Das Verständnis der grundlegenden Mechanismen bei der Entstehung von Geräuschen direkt nach dem Gebläse im Bereich der Zunge und des Diffusors ist jedoch für die Optimierung der Klimatisierung akustik ein essentieller Schwerpunkt.

## Versuchsaufbau

Für die Durchführung der Versuche wurde ein generisches Modell entwickelt, bei dem die Zunge modular austauschbar ist und der Diffusorwinkel variiert werden kann (siehe Abbildung 1 a)). Um das Strömungsfeld mit Hilfe optischer Messtechnik erfassen zu können, wurden alle Bauteile aus transparenten Plexiglas gefertigt.

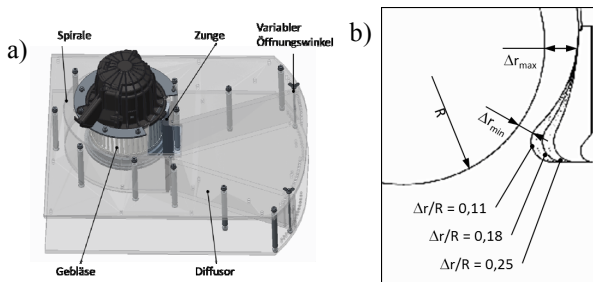


Abbildung 1: a) Generisches Modell b) Zungengeometrien

Die untersuchten Zungengeometrien sind in Abbildung 1 b) zu sehen und unterscheiden sich untereinander im minimalen Abstand der Zunge zum Gebläse. Das Verhältnis  $\Delta r/R$  wurde hierbei zwischen 0,11 und 0,25 in drei Abstufungen variiert. Als Betriebspunkte wurden zum einen der Luftmassenstrom 3,5 kg/min und die Drehzahl 1800 rpm (BP 1) und zum anderen 5 kg/min und 2700 rpm (BP 2) eingestellt. Die Ausströmung aus dem Diffusor erfolgte in die freie Umgebung.

## Ergebnisse

### Druckdifferenz

Die Ergebnisse für die Druckerhöhung und den hydrodynamischen Wirkungsgrad  $\eta$  des Gebläses sind in Tabelle 1 zusammengefasst. In der Analyse des Drucksprungs über das Gebläse wird deutlich, dass im untersuchten Bereich mit

steigendem  $\Delta r/R$ -Verhältnis, also zunehmendem Abstand zwischen Zunge und Gebläse, die Druckdifferenz steigt. Ebenfalls nimmt der Druck mit größer werdendem Öffnungswinkel zu. Ein analoges Verhalten ergibt sich in der Betrachtung des hydrodynamischen Wirkungsgrades  $\eta$ .

Tabelle 1: Druckdifferenz  $\Delta p$  [Pa] und hydrodynamischer Wirkungsgrad  $\eta$  [-] über das Gebläse im BP2

$\Delta r/R$	Öffnungswinkel		
	0°	12°	24°
0,11	307/ 0,19	350/ 0,21	357/ 0,21
0,18	336/ 0,20	387/ 0,23	398/ 0,24
0,25	347/ 0,20	392/ 0,24	405/ 0,24
	$\Delta p/\eta$	$\Delta p/\eta$	$\Delta p/\eta$

### Geschwindigkeitsverteilung

Eine Erklärung der auftretenden Unterschiede bei der Druckdifferenz liefern die Geschwindigkeitsverteilungen, die mittels 2D-Laser-Doppler-Messungen erfasst wurden. An jedem Messpunkt wurden 5000 Samples in einer maximalen Messzeit von 20 s aufgezeichnet. In Abbildung 2 sind die Geschwindigkeitsverteilungen aus den LDA-Messungen bei einem konstanten Öffnungswinkel von 24° und den drei verwendeten Zungengeometrien dokumentiert. Hierbei wird deutlich, dass die Zungengeometrie einen starken Einfluss auf zwei Bereiche im Diffusor hat. Zum einen beeinflusst der Abstand Zunge-Gebläse die Einstrombedingungen in den Diffusor. Während bei einem großen Abstand ( $\Delta r/R=0,25$ ) eine gleichmäßige Einstromung in den Diffusor realisierbar ist, ist mit kleiner werdendem Abstand eine zunehmende inhomogene Verteilung der Geschwindigkeitsverteilung zu verzeichnen. Es tritt eine deutliche Beschleunigung der Strömung an der Zunge auf, die sich anschließend wandnah in den Diffusor fortsetzt. Zum zweiten wird mit zunehmendem Abstand der Zunge zum Gebläse die Größe des Rezirkulationsgebietes im Diffusor kleiner. Dies sind Gebiete bei denen eine Rückströmung mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\geq 5\%$  auftritt. Hierdurch kommt es zu einer Versperrung des Strömungsquerschnittes und einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in Wandnähe. Im Vergleich der Konfigurationen mit der selben Zungengeometrie und veränderlichen Öffnungswinkel des Diffusors ist erkennbar, dass der Öffnungswinkel sowie die Druckdifferenz  $\Delta p$  über das Gebläse keinen Einfluss auf die Geschwindigkeitsverteilung am Eintritt in den Diffusor haben. Die Geschwindigkeitsverteilung am Eintritt des Diffusors ergibt für alle untersuchten Öffnungswinkel ein ähnliches Profil, während sich Unterschiede in der Größe des Rezirkulationsgebietes im nachfolgenden Diffusor ergeben.

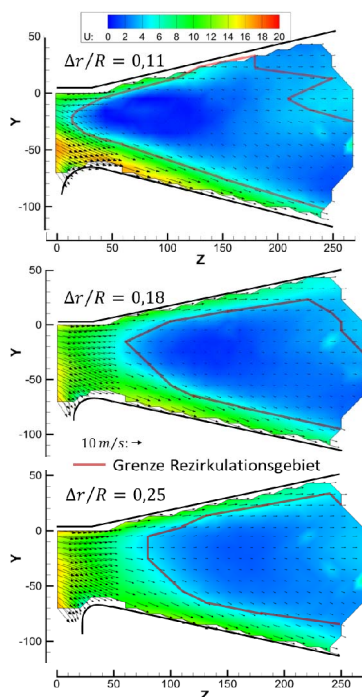


Abbildung 2: Strömungsverteilung im Diffusor im BP2 und dem Öffnungswinkel 24°

### Schalldruckpegel

Bei den Schalldruck-Messungen wurden ein senkrechter sowie ein waagerechter Halbkreis bestehend aus insgesamt zehn Mikrofonen konzentrisch um den Freistrahle positioniert. Die gemessenen Schalldrücke aller Mikrofone innerhalb einer Geometrie-Konfiguration und eines Luftmassenstroms sind in den Schalldruckspektren vergleichbar. Für die folgende Analyse wurde die Schalldruckverteilung der Mikrofonposition 6 ausgewertet. Das Mikrofon befand sich in der waagerechten Ebene mit einem Winkel von 90° und einem Abstand von 0,5m seitlich vom Freistahl. Die Ergebnisse der Schalldruckspektren für einen konstanten Öffnungswinkel von 24° und in Abhängigkeit von der Zungen-geometrie sind in Abbildung 3 dargestellt. Insgesamt ist zu erkennen, dass der Schalldruckpegel mit zunehmendem  $\Delta r/R$ -Verhältnis geringfügig sinkt. Dies spiegelt sich auch in der Größe des A-gemittelten Gesamtschalldruckpegels wieder. Während bei  $\Delta r/R=0,11$  ein Schalldruckpegel von  $L_{p,ges(A)}=60,6$  dB ergibt, liegt dieser bei  $\Delta r/R=0,25$  bei  $L_{p,ges(A)}=59,8$  dB.

Tabelle 2: Gemittelter Schalldruckpegel bei einer variablen Zungen-geometrie und einem konstanten Öffnungswinkel von 24° bei BP2 (Mikrofon 6)

	Zungenverhältnis $\Delta r/R$		
	0,11	0,18	0,25
$L_{p,ges(A)}$ [dB]	60,6	60,2	59,8

Auffällig in den Schalldruckpegeln ist, dass die Blattfolge-frequenz (BPF) des Gebläses bei 1935 Hz lediglich im Signalverlauf der Konfiguration  $\Delta r/R=0,11$  bei 1935 Hz festzustellen ist. Dieses Phänomen bestätigen auch die Arbeiten von Leidel [2] und Smith et al. [3]. Erst ab einem Verhältnis  $\Delta r/R \leq 0,16$  treten tonale Komponenten im abgestrahlten Schallfeld markant auf. Im Vergleich der Schalldruckpegel

mit konstanter Zungen-geometrie und in Abhängigkeit vom Öffnungswinkel zeigt sich, dass ein zunehmender Öffnungswinkel des Diffusors zu einer Erhöhung des Gesamtschalldruckpegels führt. Entsprechend dazu sind auch die spektrale Verteilung des Schalldruckpegels angehoben, jedoch verändert sich dabei der charakteristische Verlauf nicht.

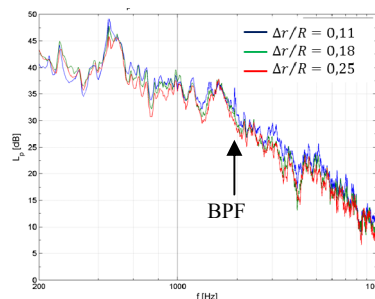


Abbildung 3: Frequenzverlauf der Signale von Mikrofon 6 bei einer variablen Zungen-geometrie und einem konstanten Öffnungswinkel von 24° bei BP2

### Zusammenfassung

Es erfolgten Untersuchungen der Druck- und Geschwindigkeitsverteilung bei denen bei drei verschiedenen Zungen-geometrien und drei verschiedenen Öffnungswinkeln die Strömungsverteilung sowie die akustischen Eigenschaften betrachtet wurden. Die Messungen ergaben, dass mit steigendem  $\Delta r/R$ -Verhältnis (zunehmenden Abstand zwischen Gebläse und Zunge) auch die Druckdifferenz  $\Delta p$  über das Gebläse vergrößert wird. Während bei  $\Delta r/R=0,11$  eine sehr ungleichmäßiges Einströmprofil in den Diffusor erkennbar ist, wird mit zunehmendem Abstand die Geschwindigkeitsverteilung homogener. Dies hat einen direkten Einfluss auf die Schallabstrahlung, die geringfügig kleiner wird. Bei einem zunehmenden Öffnungswinkel des Diffusors kommt es ebenfalls zu einer Steigerung der Druckdifferenz  $\Delta p$  über das Gebläse, jedoch treten auch mehr Störungen im Diffusor auf und der Gesamtschalldruckpegel vergrößert sich. In den Untersuchungen zu strömungsmechanischen und akustischen Eigenschaften einer Laufrad-Diffusor-Geometrie konnten erste grundlegende Erkenntnisse zum Einfluss der Zungen-geometrie und des Diffusorwinkels herausgearbeitet werden. Weitere Arbeiten erfolgen in der genauen Analyse des Schalldruckspektrums in Korrelation zu den lokalen zeitabhängigen Druck und Geschwindigkeitsverteilungen und unter Berücksichtigung der psychoakustischen Parameter.

### Literatur

- [1] Guérin; Thomy; Wright: Aeroacoustics of automotive vents. Journal of Sound and Vibration 285 (2005) 859-875
- [2] Leidel: Einfluss von Zungenabstand und Zungenradius auf Kennlinie und Geräusch eines Radialventilators. DLR-FB 69-16, 1969
- [3] Smith; O'Malley; Phelps: Reducing blade passage noise in centrifugal fans. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers Transactions Part II 80, 45-51, 1974