

8. Tagung

Industriearbeitskreis Trockeneisstrahlen



Experimentelle Untersuchungen zur Schallreduzierung an Trockeneisstrahldüsen

Produktionstechnisches Zentrum
Berlin

11. Mai 2006

André Coenen



Fraunhofer Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Gliederung

- Begriffsklärung
- Schallentstehung bei Düsen
- Bekannte Lärminderungsmaßnahmen aus verwandten Bereichen
- Konzeptübertragung auf Trockeneisstrahldüsen
- Versuchsbedingungen
- Untersuchungen an Düsenprototypen
- Zusammenfassung und Ausblick



Begriffe

- **Schall:**
 - Eine Welle bzw. eine Schwingung, die durch Druckänderungen in einem elastischen Medium hervorgerufen wird
 - Schallwellen transportieren Informationen und/oder Energien
 - Die Frequenz des Schalls erzeugt einen charakteristischen Ton

- **Schalldruck:**
 - Ein Wechseldruck, der dem statischen Druck des umgebenen Mediums überlagert ist
 - Schmerzgrenze → 150-200 Pa
Luftdruck → 101325 Pa
 - Messtechnisch einer Messung leicht zugänglich
→ Druckempfänger (Mikrofon)



Begriffe

- **Schall(druck)pegel:**
 - Beschreibt das Verhältnis eines gemessenen Schalldrucks zu einem Bezugspegel von 0 dB
 - dB (Dezibel) → Verhältnisangabe zu einem Bezugswert 0 dB → Hörschwelle
 - Messung erfolgt mit sog. Schallpegelmessern, die ggf. mit Bewertungsfiltren (A, B, C o. D) beaufschlagt werden (→ z.B. dB(A))

- **Lautheit:**
 - Sie gibt an, wie laut Schall subjektiv empfunden wird
 - Eine Verringerung um 10 dB führt zu einer Halbierung der Lautheit
 - Gilt nur für Geräusche mit einer Frequenz von 1000 Hz!



Beispiele alltäglicher Lärmsituationen

Schalldruckpegel [dB(A)]	Effektivwert des Schalldruckes [N/m ²]	Situation / Beschreibung
0	$2 \cdot 10^{-5}$	Hörschwelle
20	$2 \cdot 10^{-4}$	Wald bei wenig Wind
40	$2 \cdot 10^{-3}$	Bibliothek
60	$2 \cdot 10^{-2}$	Büro
80	$2 \cdot 10^{-1}$	befahrene Straße
100	2	Presslufthammer, Sirene
120	$2 \cdot 10$	Start von Düsenmaschinen
140	$2 \cdot 10^2$	Schmerzgrenze, Hörverlust

 Trockeneisstrahlen

Quelle: Möser/Cremer



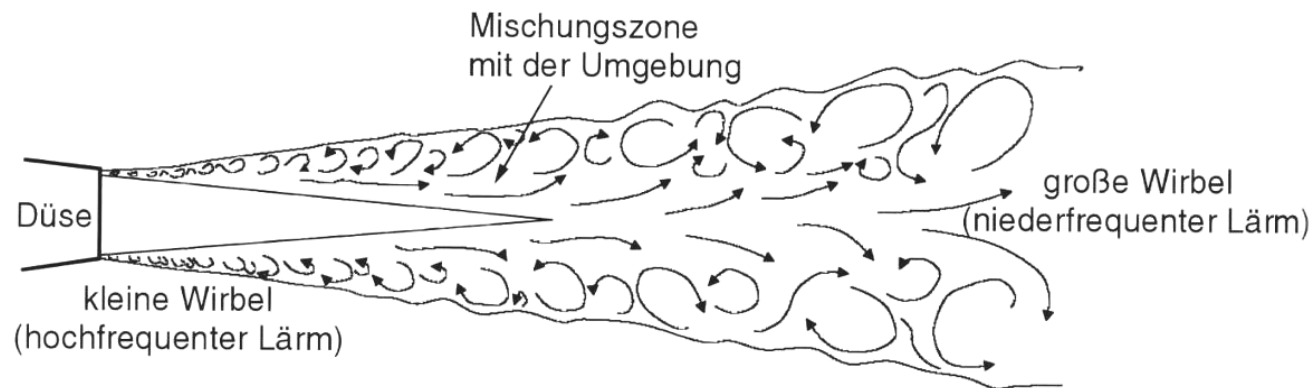
Fraunhofer
Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Schallentstehung bei Düsen

- Hauptgeräuschquelle → turbulentes Mischgebiet



- Abhilfe → Strahlgeschwindigkeit senken
 - Verringerung des Geschwindigkeitsgradienten
 - Vermischungsvorgang beschleunigen

Quelle: Bräunling



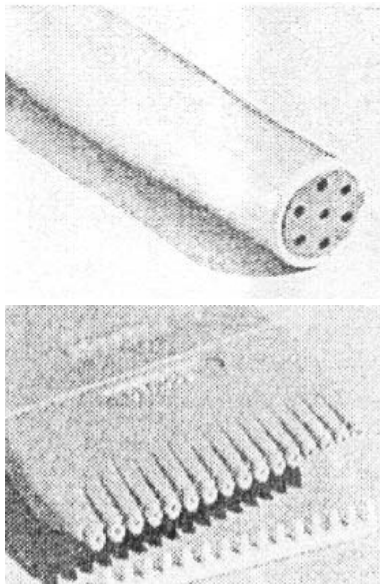
Fraunhofer
Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Bekannte Lärminderungsmaßnahmen

- Aus dem Bereich der Druckluftdüsenteknik



Mehrlochdüsen

- Mehrlochdüsen (Kernstrahlminimierung)
 - Je kleiner der Kernstrahldurchmesser, desto leiser arbeitet eine Düse
 - Vergrößerung des Verhältnisses von Strahlumfang zu Strahlquerschnitt reduziert Wirbelverluste und Turbulenzbildung
 - Bedingt geeignet für das Strahlen mit Trockeneispartikeln

Quelle: Christ/Fischer



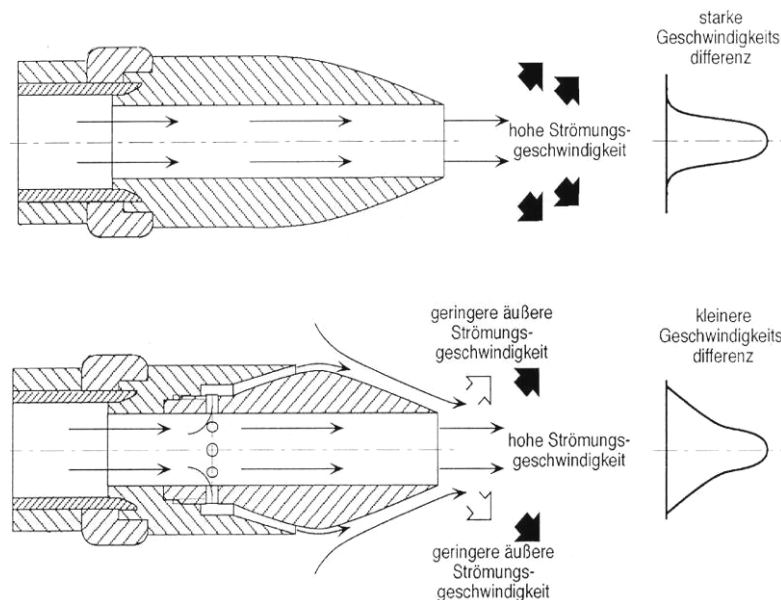
Fraunhofer
Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Bekannte Lärminderungsmaßnahmen

- Aus dem Bereich der Druckluftdüsenteknik



- Mantelstrahl

- Minderung der Geschwindigkeitsdifferenz im Mündungsbereich, dadurch
- weniger Turbulenzen = weniger Schallemissionen
- Möglichkeit der separaten Mantelstrahlaufbereitung

Prinzip-Mantelstrahl an einer Düse mit Bypass

Quelle: Bell



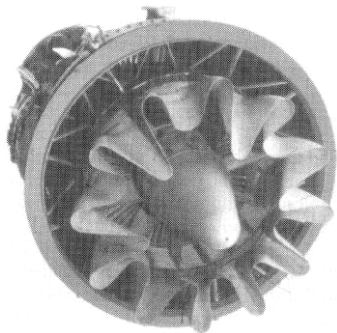
Fraunhofer
Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



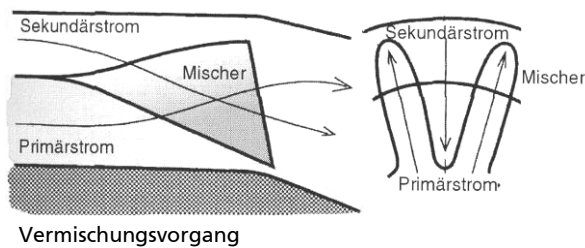
Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Bekannte Lärminderungsmaßnahmen

- Aus dem Bereich der Triebwerkstechnik



mäanderförmiger Zwangsmischer



- mäanderförmiger Zwangsmischer
- Beschleunigung des Vermischungsvorgangs zweier koaxialer Strahlen
- Vergrößerung des Verhältnisses von Strahlumfang zu Strahlquerschnitt, dadurch
- weniger Turbulenzen = weniger Schallemissionen

Quelle: Bräunling



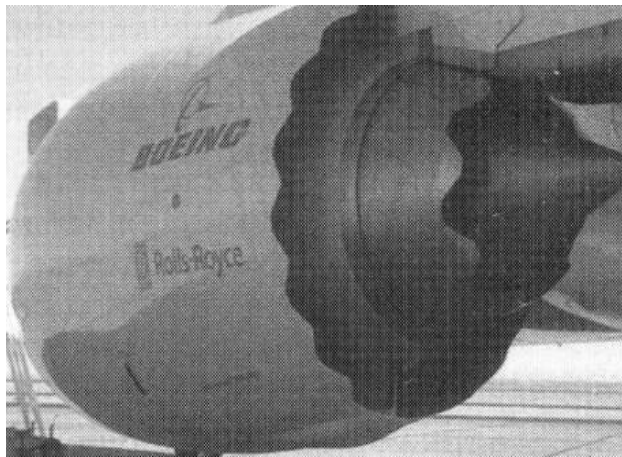
Fraunhofer Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Bekannte Lärminderungsmaßnahmen

- Aus dem Bereich der Triebwerkstechnik



Chevrongüsen

- gezackte Düsenhinterkante (Chevrongüse)
- positive Beeinflussung der Vermischungscharakteristik = Minderung des Strahlärms

Quelle: Bräunling



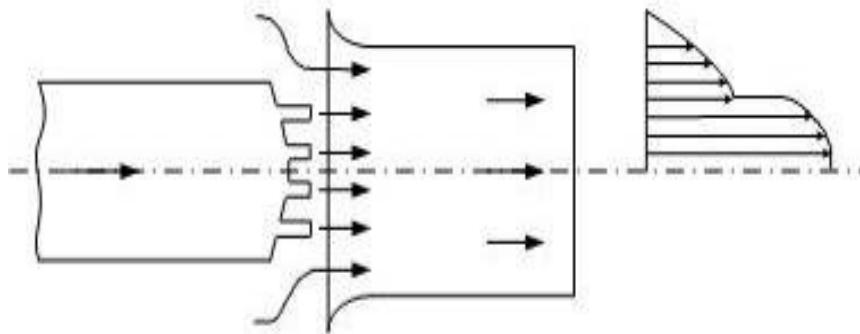
Fraunhofer
Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Bekannte Lärminderungsmaßnahmen

- prinzipiell



Schema einer Kombination aus Mehrlochdüse und Ejektor

- Ejektoreffekt
- bei hohen Düsenaustrittsgeschwindigkeiten und großen Volumenströmen

Quelle: Bräunling



Fraunhofer
Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



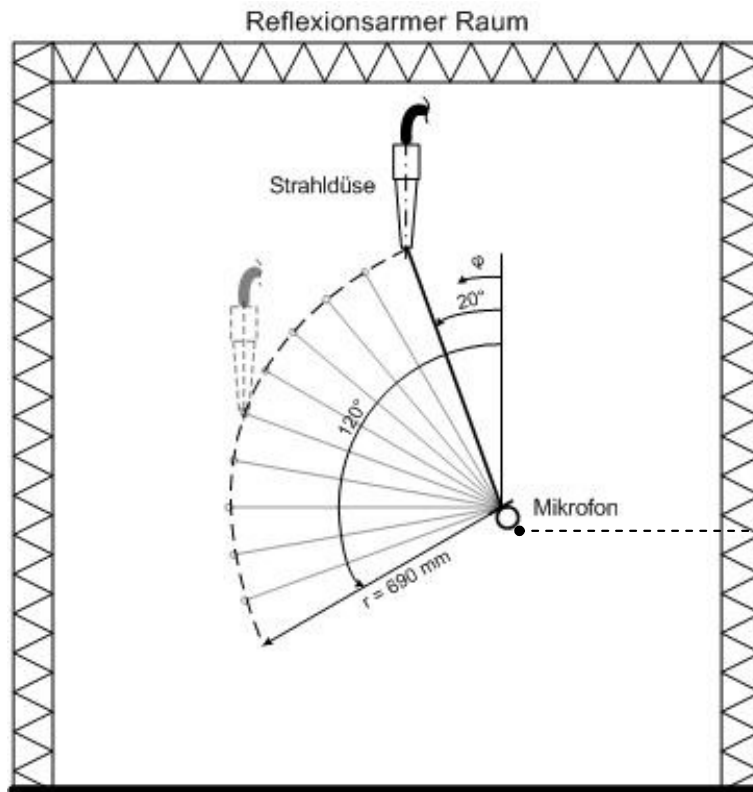
Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Konzeptübertragung auf Trockeneisstrahldüsen

- Modellierung mittels CAD
- Prototypenherstellung mittels selektivem Lasersintern - SLS



Versuchs- und Messaufbau



Schallpegelmesser
der Fa. B & K
vom Typ 2233

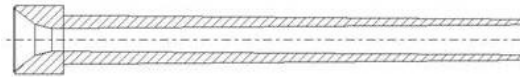


Strahlanlage der Fa.
Cryonomic vom Typ
CAB52

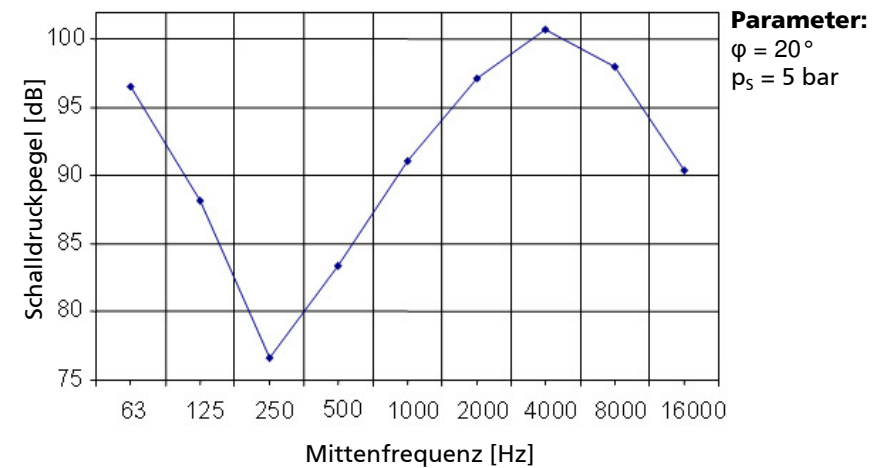
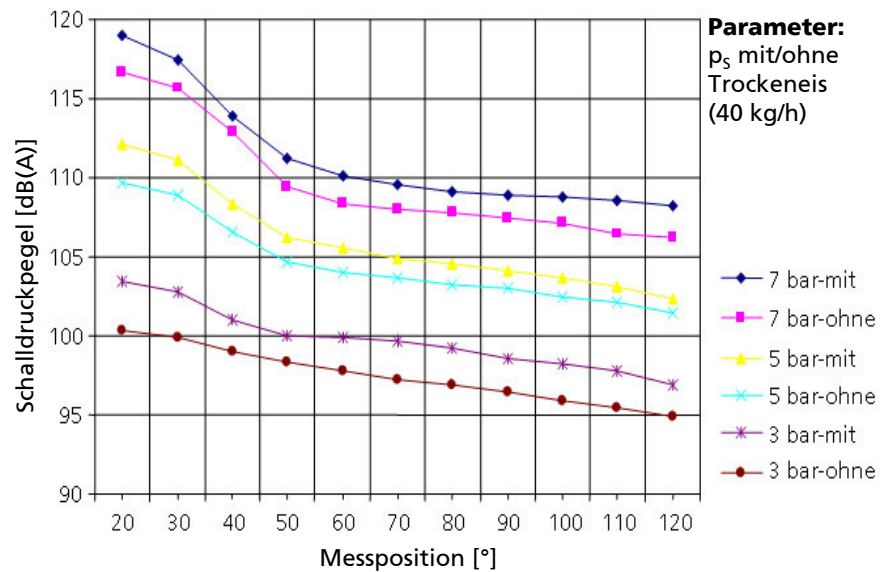


Untersuchungen an Düsenprototypen

■ Referenzdüse



- $\bar{L}_{A,3\text{bar}} = 97,5 \text{ dB(A)}$
- $\bar{L}_{A,5\text{bar}} = 104,5 \text{ dB(A)}$
- $\bar{L}_{A,7\text{bar}} = 109,6 \text{ dB(A)}$



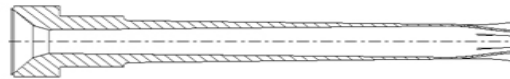
Fraunhofer
 Institut
 Produktionsanlagen und
 Konstruktionstechnik



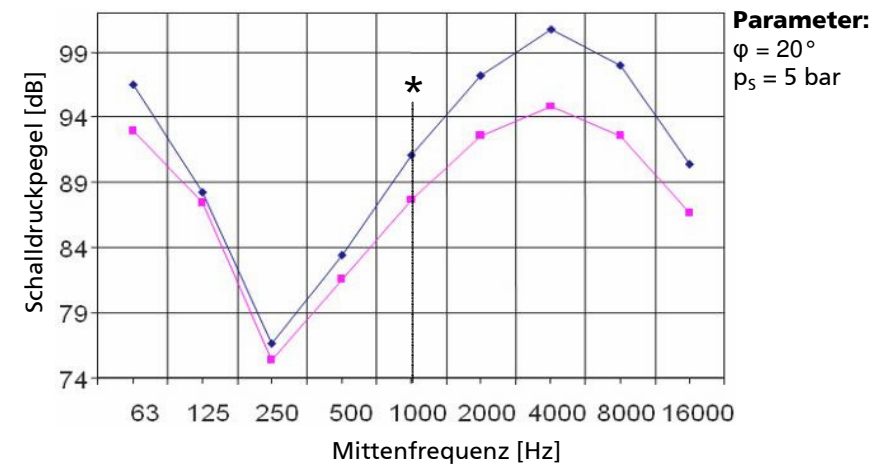
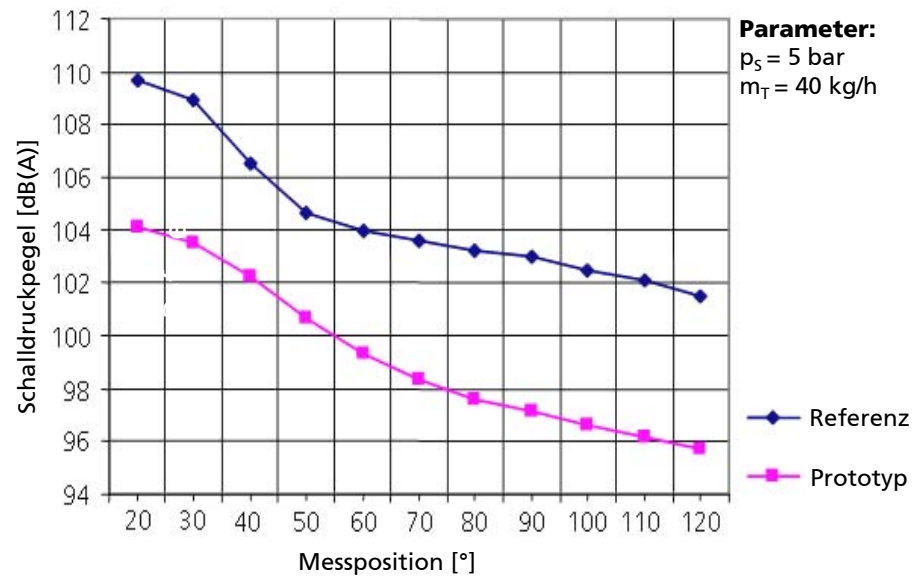
Institut für
 Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
 Technische Universität Berlin

Untersuchungen an Düsenprototypen

- mäanderförmige Mündung

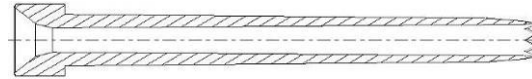


- $L_A^- = -5,3 \text{ dB(A)}$
- $(^* = -3,5 \text{ dB} = -17,5\%)$
- $\Delta P = -15,4\%$

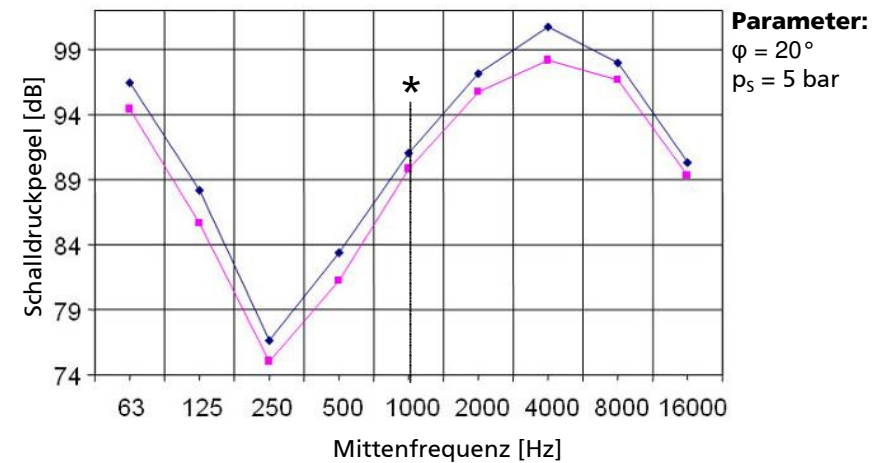
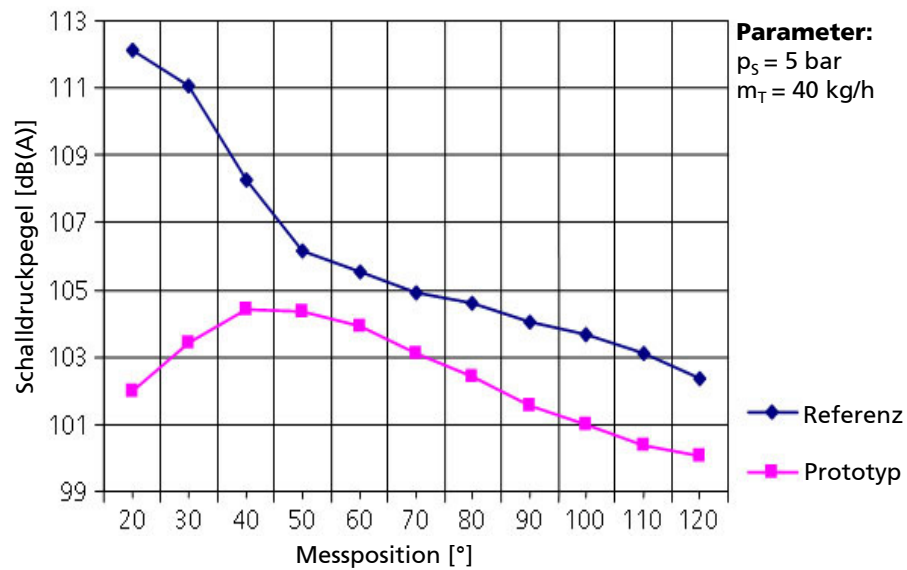


Untersuchungen an Düsenprototypen

▪ Chevrandüse

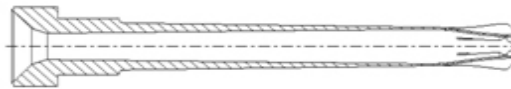


- $\bar{L}_A = -3,6 \text{ dB(A)}$
- $(^* = -1,3 \text{ dB} = -6,5\%)$
- $\Delta P = +3,2 \%$

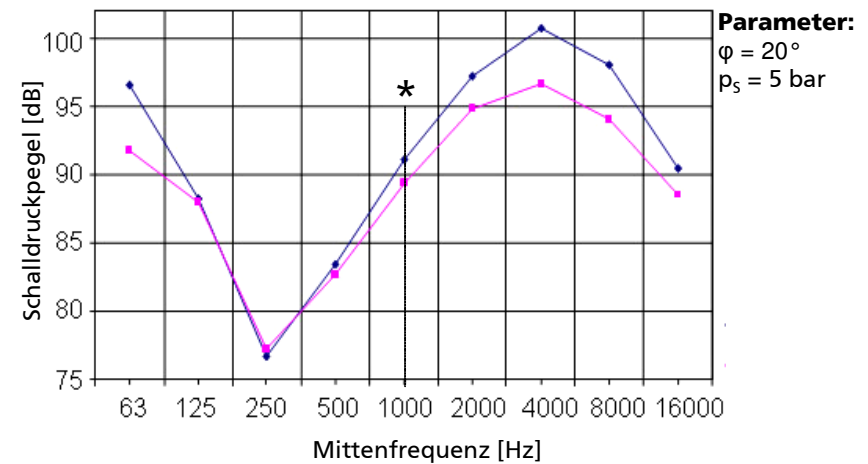
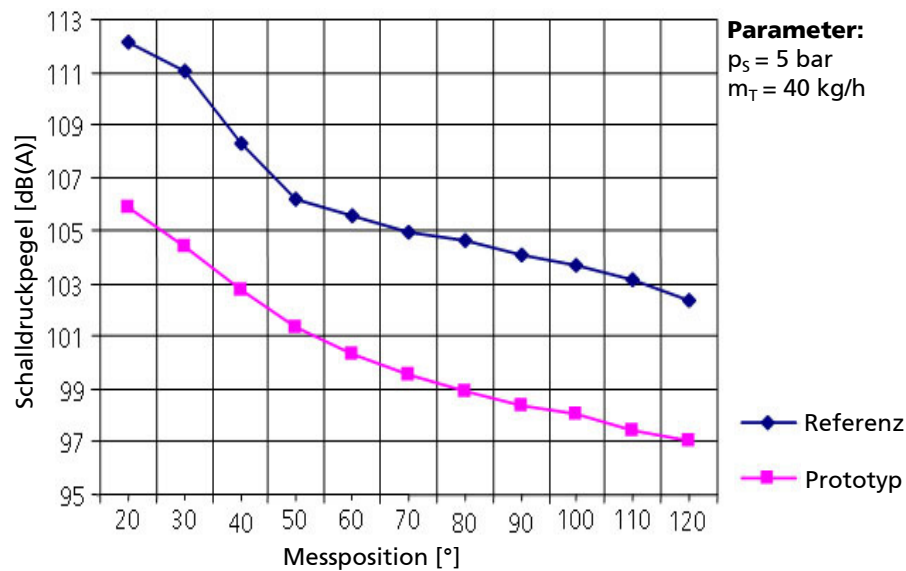


Untersuchungen an Düsenprototypen

- mäanderförmige Chevrandüse

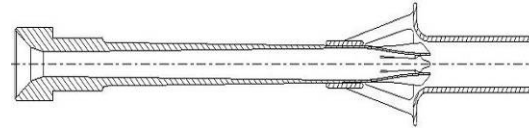


- $\bar{L}_A = -5,6 \text{ dB(A)}$
- $(^* = -1,8 \text{ dB} = -9\%)$
- $\Delta P = -7,9\%$

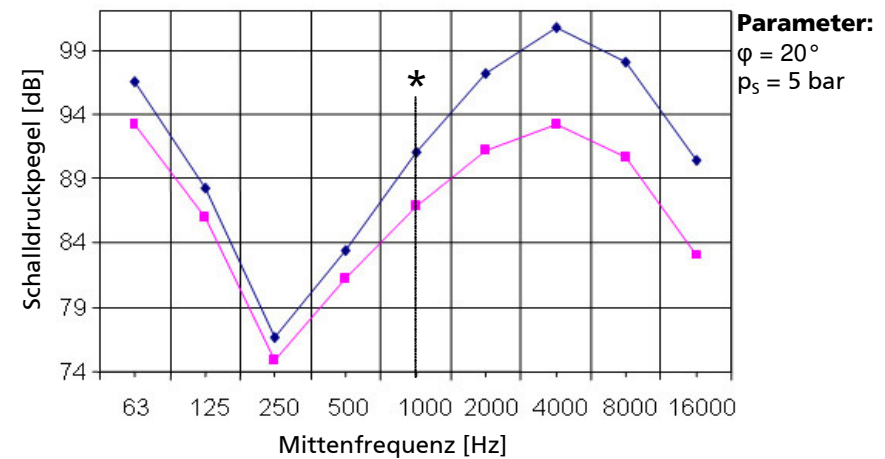
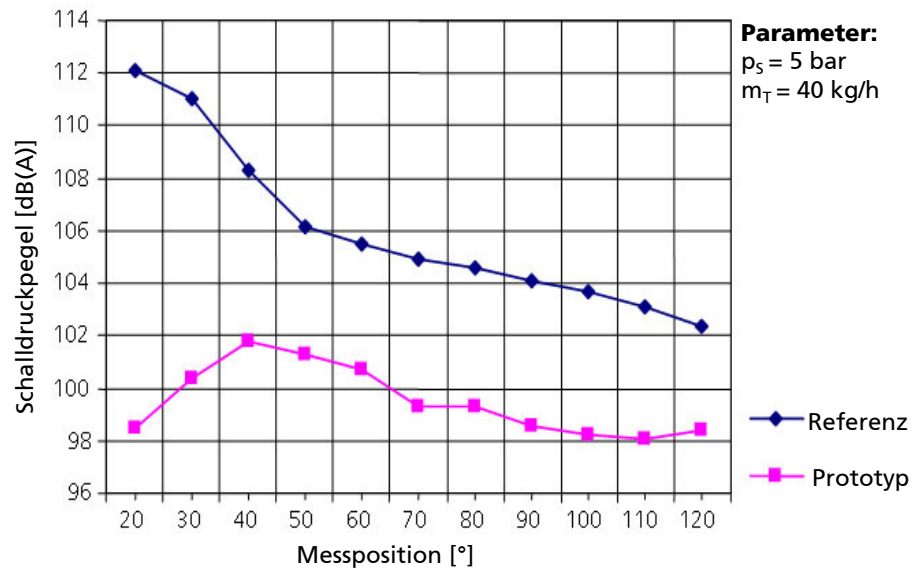


Untersuchungen an Düsenprototypen

- Kombination mäanderförmige Chevrongüse / Ejektor

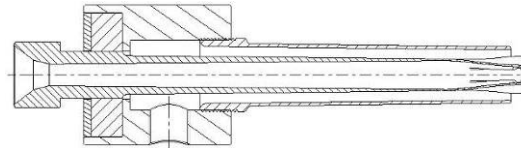


- $\bar{L}_A = -6,5 \text{ dB(A)}$
- $(^* = -4,2 \text{ dB} = -21 \%)$
- $\Delta P = -4,7 \%$

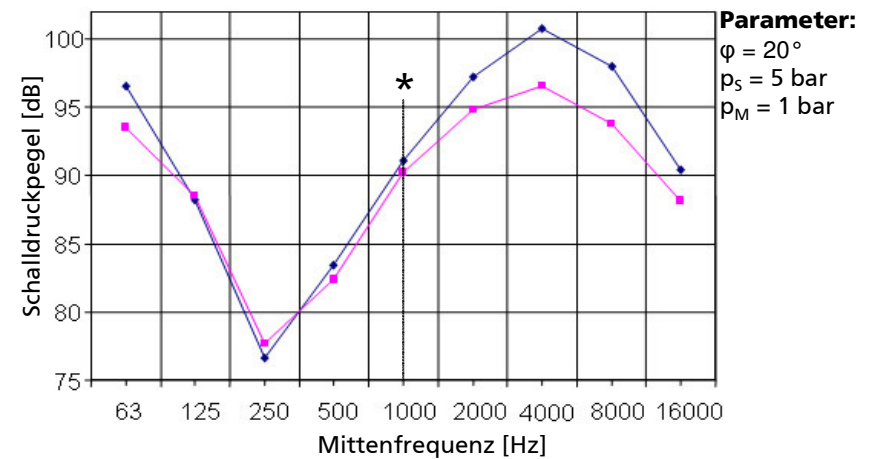
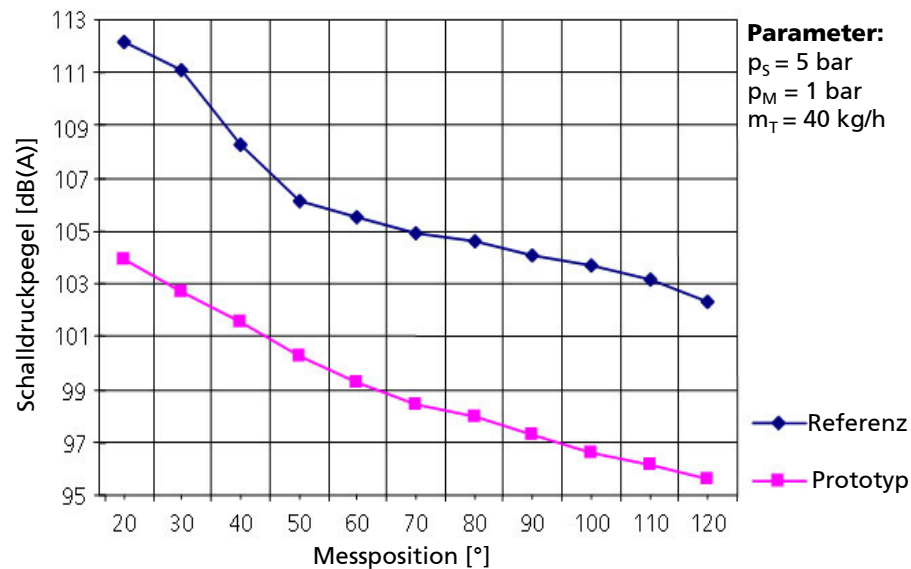


Untersuchungen an Düsenprototypen

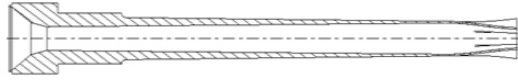
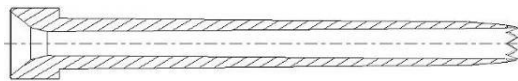
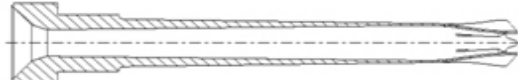
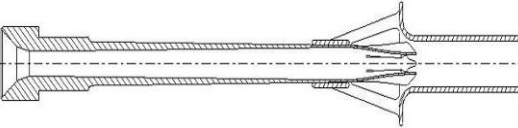
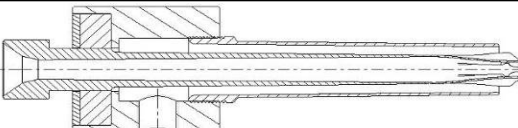
- mäanderförmige Chevrondüse mit Mantelstrom



- $\bar{L}_A = -6,9 \text{ dB(A)}$
- (* = $-0,9 \text{ dB} = -4,5 \%$)
- $\Delta P = -3,5 \%$



Zusammenfassung

Prototyp	Gemittelte Schalldruckpegel-änderung	Lautheits-änderung bei 1000 Hz	Änderung der Abtragsleistung
mäanderförmige Mündung 	-5,3 dB(A)	(-17,5 %)	-15,4 %
Chevrondüse 	-3,6 dB(A)	(-6,5 %)	+3,2 %
mäanderförmige Chevrondüse 	-5,6 dB(A)	(-9 %)	-7,9 %
mäanderförmige Chevrondüse mit Ejektor 	-6,5 dB(A)	(-21 %)	-4,7 %
mäanderförmige Chevrondüse mit Mantelstrom 	-6,9 dB(A)	(-4,5 %)	-3,5 %



Ausblick

- weiterführende Untersuchungen notwendig
 - Optimierung ausgewählter Schallreduzierungskonzepte
 - Untersuchung materialspezifischer Einflüsse
 - Oberflächenbeschaffenheit in den Düsen
 - Einfluss des Anstrahlens von Bauteilen
 - Strömungssimulation mit Akustikmodellen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin