



**Andy Péus**

## Auslegung und aeroakustische Optimierung eines Radialventilators

- optimale Laufradform und äußere Abmessungen für vorgegebene Förderdaten
- Akustische Leistungsvermessung
- Einordnung der Geräuschemissionen
- Schwingungsanalyse



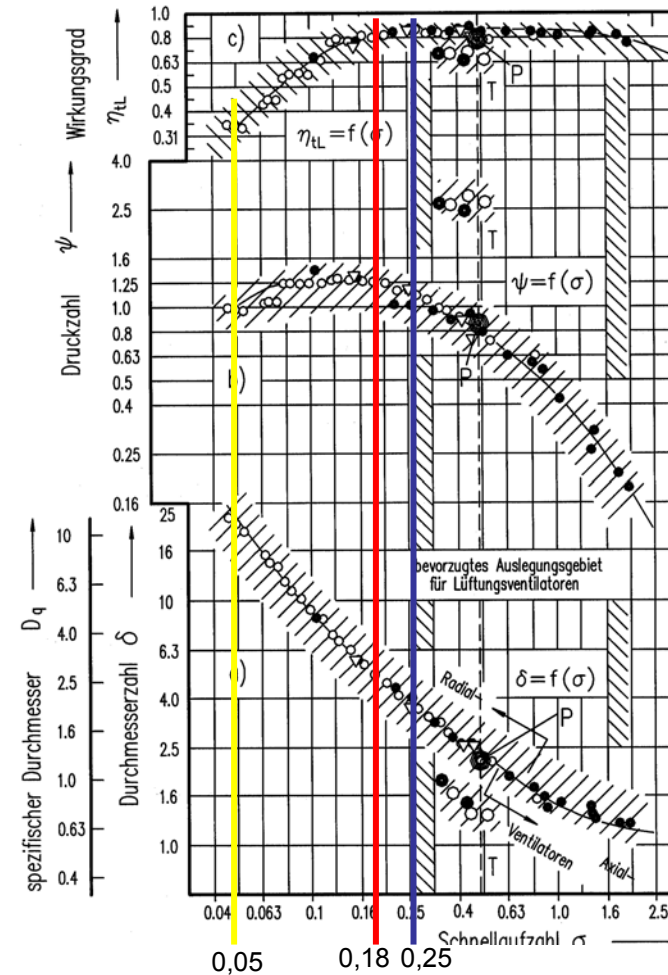
## Bauart und Hauptabmessungen

- Dimensionslose Kennzahlen:
  - Maschinenbauart
    - $\sigma, \delta$  (Cordier-Diagramm a)
  - Hauptabmessungen; Darstellung von Kennlinien
    - $\Psi, \varphi, \lambda$  und  $\eta$  (Diagramme b und c)
- Vorgegebene Förderdaten:

	[m³/h]	[Pa]	[U/min]
Ventilator typ	$\dot{V}$	$\Delta p_t$	n
1	100	15000	10000
2	250	5000	10000
3	500	5000	10000

### Auslegung und Bau des Ventilator typs 2:

- Radiale Laufradform mit rückwärts gekrümmten Schaufeln
- Spiralgehäuse



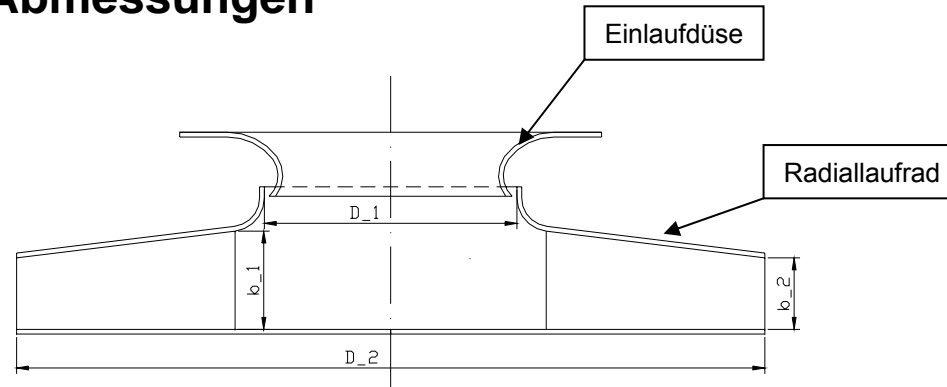
Ordnungsdiagramm der Ähnlichkeitsmechanik für Ventilatoren. Quelle: Bommers (2003)



## Darstellung der wichtigsten Abmessungen

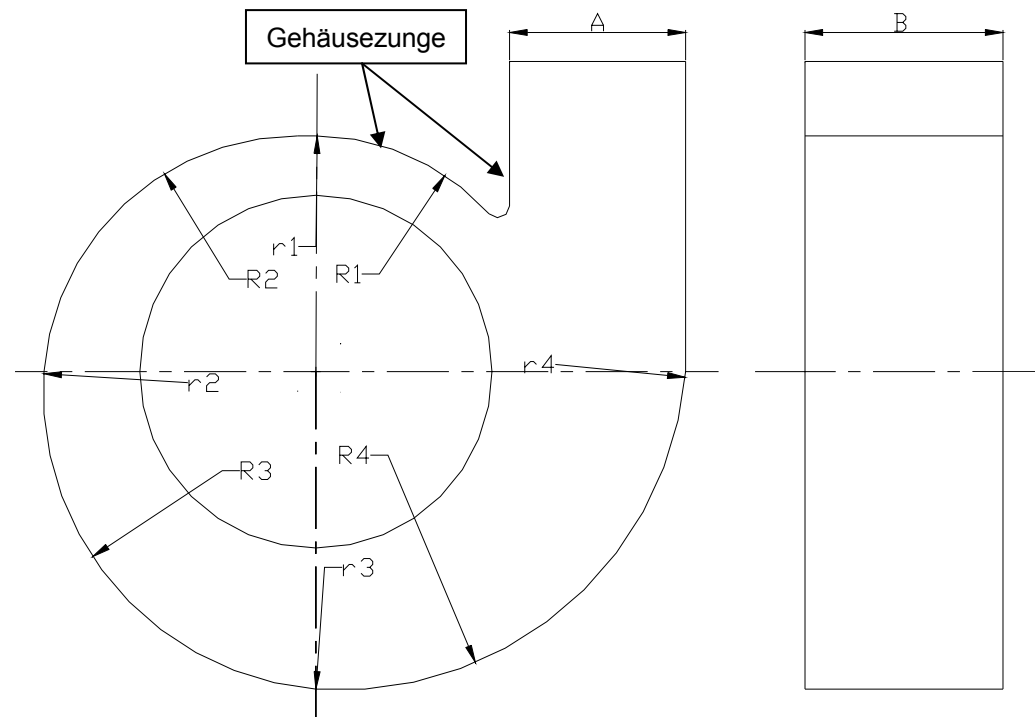
### •Radiallaufrad

- 12 Schaufeln
- Verringerung Drehtonlärm



### •Spiralgehäuse

- Spiralradius R1 auf 0,15 des Laufradaußendurchmesser  $D_2$
- mit ausbaubarer Gehäusezunge
- Verringerung Drehtonlärm





## Prüfstand/Messtechnik

→ Kanalprüfstand für Kleinventilatoren

→ Messsoftware:

- Prüfstand Akustik System (Pak-System) der MüllerBBM VibroAkustikSysteme GmbH

→ Messhardware:

- VXI-Station
- Optischer Drehzahlmesser
  - Messung über Reflexionsmarke am Laufrad und Antriebswelle
- 1/2"-Mikrofon Brüel & Kjaer
  - Messposition: Wandschlitzsonde im Kanal
- Laser Vibrometer CLV 1000 Firma Polytec
  - Messung über Reflexionsmarke am Motorgehäuse



Kanalprüfstand



## Durchgeführte Messungen

Konfiguration 1: unausgewuchtetes Laufrad

Konfiguration 2: in einer Ebene ausgewuchtetes Laufrad (baugleich)

Konfiguration 3: Ventilatoranlage ohne Laufrad

→Schalldruckpegel, Drehzahl und effektive Schwinggeschwindigkeit

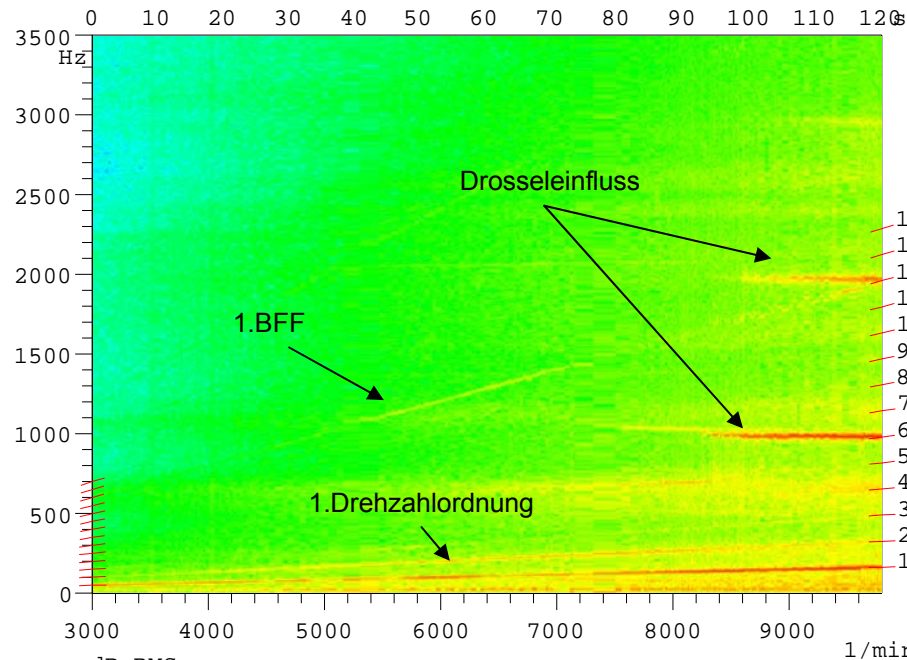
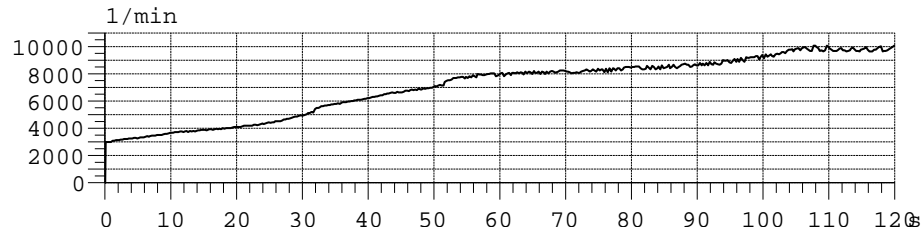
→Hochfahrten  $n = 3000-10000$  U/min im Optimum ( $t=2$ min)

→ohne Gehäusezunge

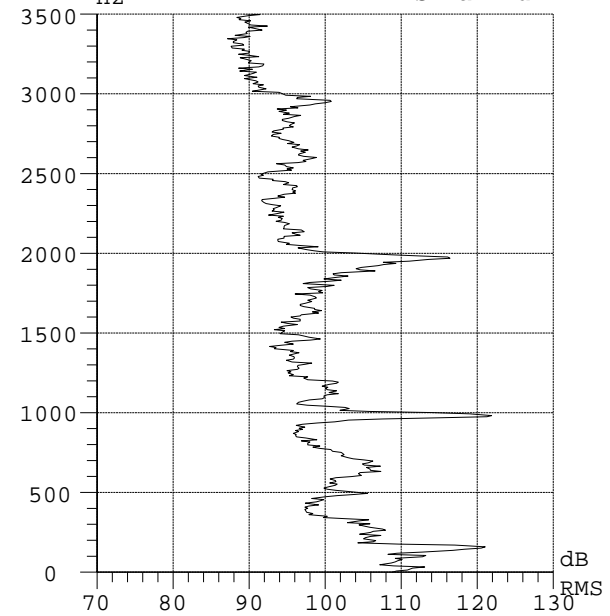
→Übertragungsmaß Wandschlitzsonde  $\Delta L_{\text{Ü}}$  wurde nicht berücksichtigt (außer es ist angegeben)



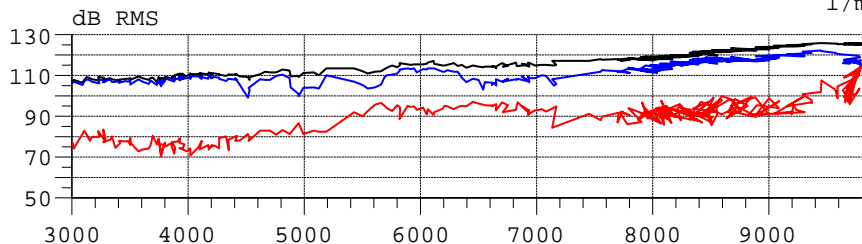
## Konfiguration 1 → Grundkonfiguration



Man.: ; Kal.: 0.0118457V/dB  
 Freq.-Sp.: 6400Hz; Mean: 3200Hz  
 N\_FL: 801; N\_BLK: 2048; DF: 8Hz  
 AVG: 3; OVL: OFF%; WIN: Hanning  
 Acquisition: 26.04.2004 13:18  
 Hz — APS Maximum



984.0 Hz	121.864 dB
160.0 Hz	121.081 dB
1968.0 Hz	116.449 dB
104.0 Hz	113.219 dB



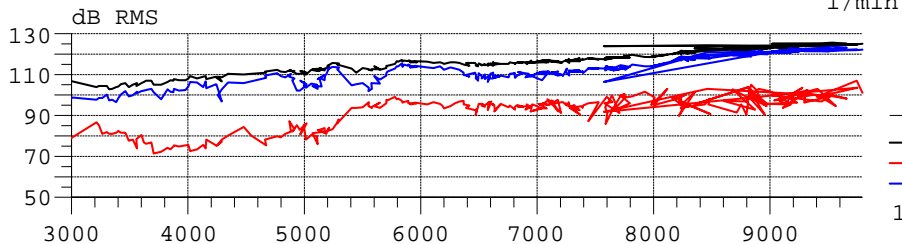
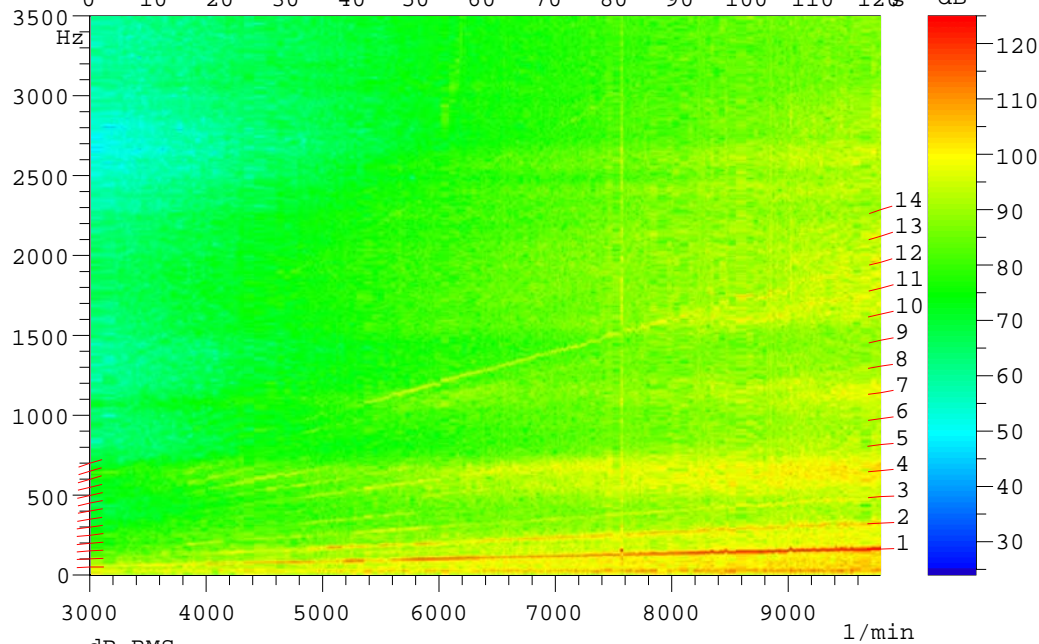
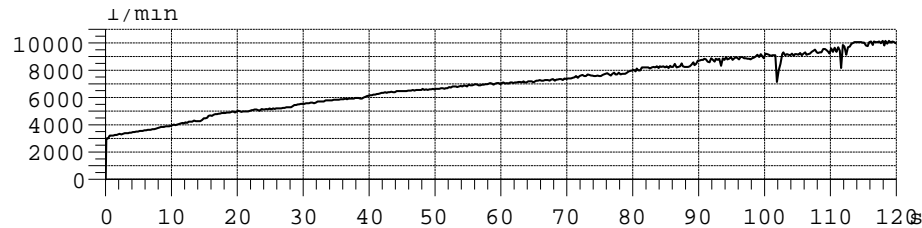
— Gesamtpegel	(Max: 9453 1/min	125.8 dB)
— EO 12.Ordnung mag (17)	(Max: 9796 1/min	115.7 dB)
— EO 1.Ordnung mag (17)	(Max: 9445 1/min	122.0 dB)

1/min

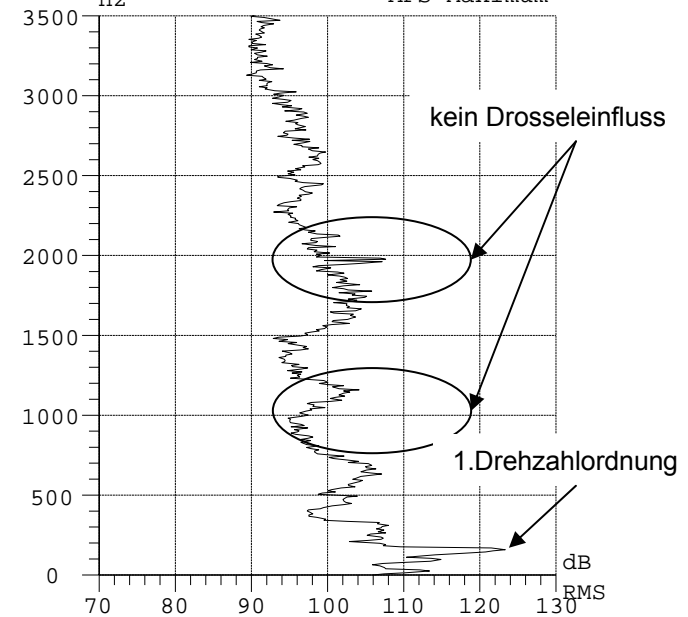




## Konfiguration 1 → akustisch optimierte Drossel



Man.: ; Kal.: 0.0116683V/dB  
 Freq.-Sp.: 6400Hz; Mean: 3200Hz  
 N\_FL: 801; N\_BLK: 2048; DF: 8Hz  
 AVG: 3; OVL: OFF%; WIN: Hanning  
 Acquisition: 30.04.2004 13:21  
 Hz — APS Maximum



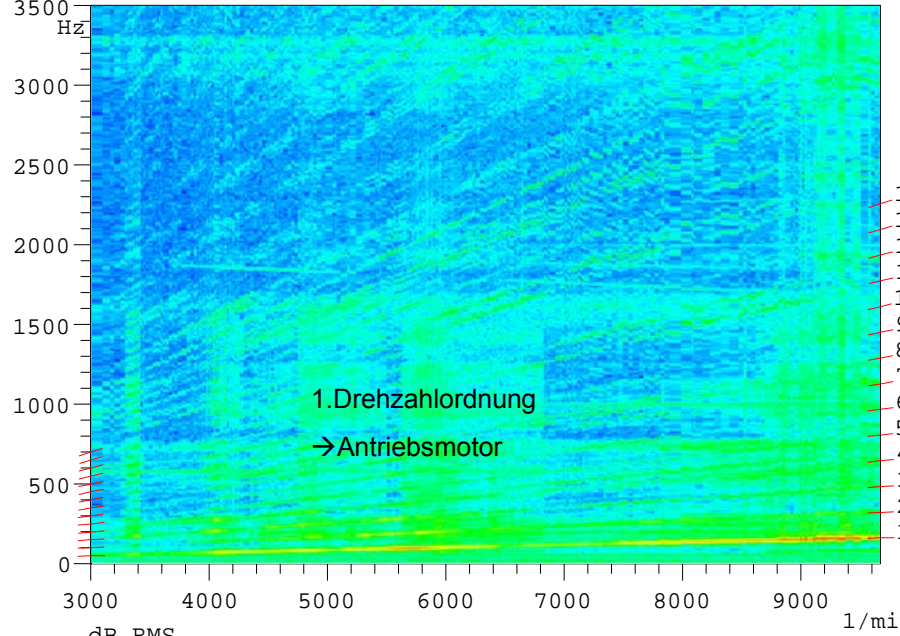
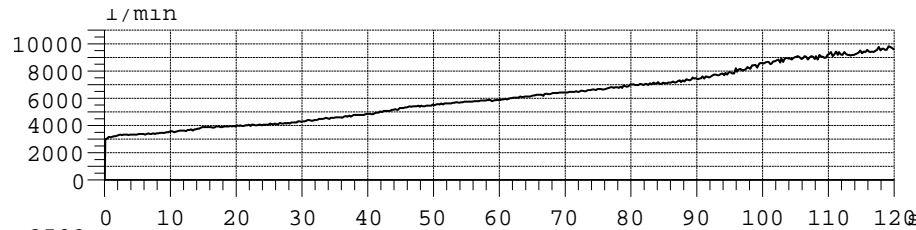
160.0 Hz	123.308 dB
96.0 Hz	114.893 dB
24.0 Hz	113.387 dB
312.0 Hz	108.001 dB

— Gesamtpegel	(Max: 9538 1/min 125.6 dB)
— EO 12.Ordnung mag (17)	(Max: 9744 1/min 107.0 dB)
— EO 1.Ordnung mag (17)	(Max: 9538 1/min 123.5 dB)

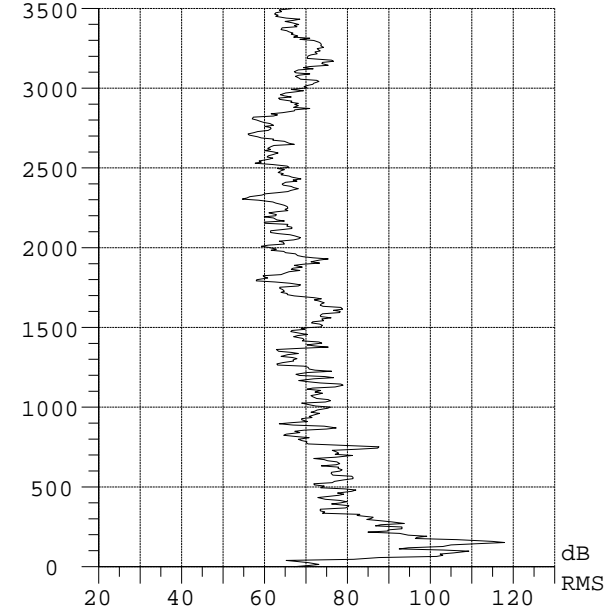
1/min



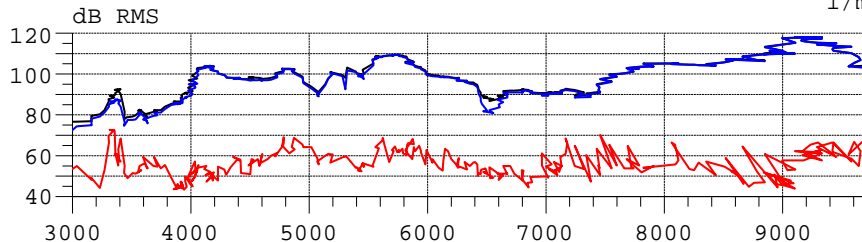
## Konfiguration 3 → ohne Laufrad



Man.: ; Kal.: 0.0118457V/dB  
 Freq.-Sp.: 6400Hz; Mean: 3200Hz  
 N\_FL: 801; N\_BLK: 2048; DF: 8Hz  
 AVG: 3; OVL: OFF%; WIN: Hanning  
 Acquisition: 26.04.2004 15:07  
 Hz — APS Maximum



152.0 Hz	117.872 dB
96.0 Hz	109.216 dB
72.0 Hz	103.082 dB
192.0 Hz	99.186 dB



— Gesamtpegel	(Max: 9100 1/min 118.1 dB)
— EO 12.Ordnung mag (17)	(Max: 3314 1/min 72.7 dB)
— EO 1.Ordnung mag (17)	(Max: 9100 1/min 118.0 dB)

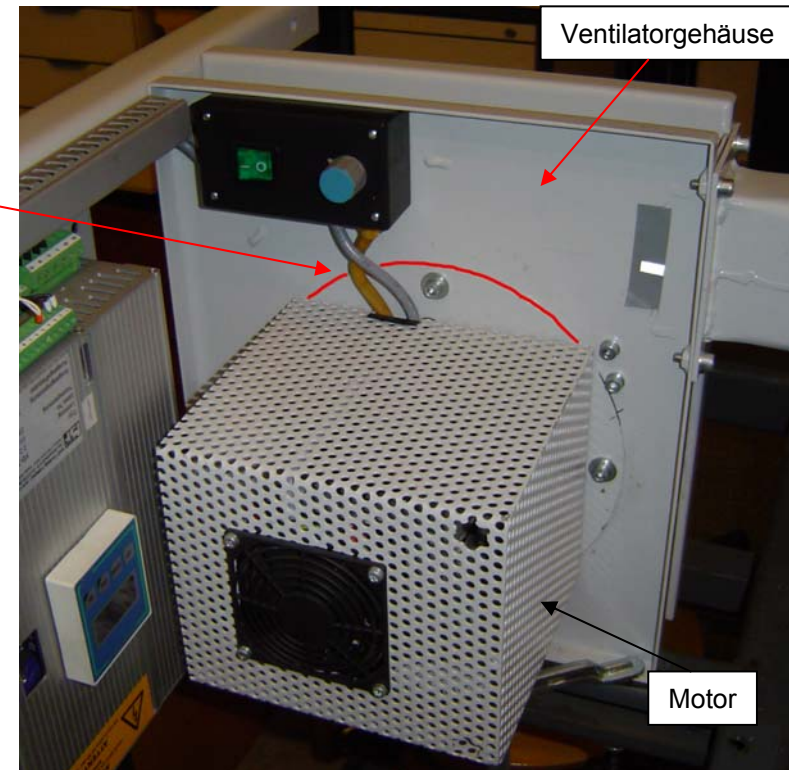
1/min





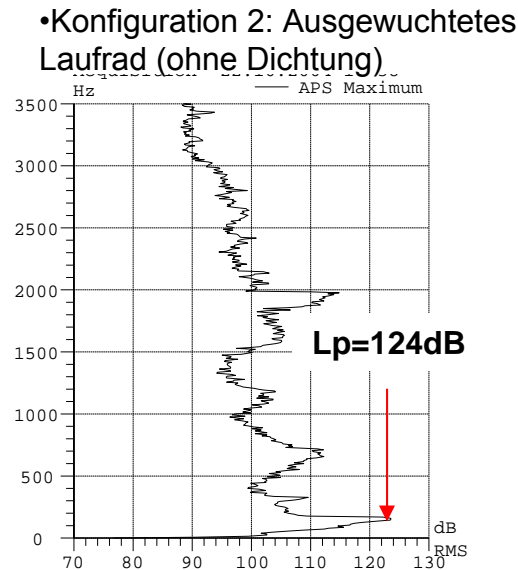
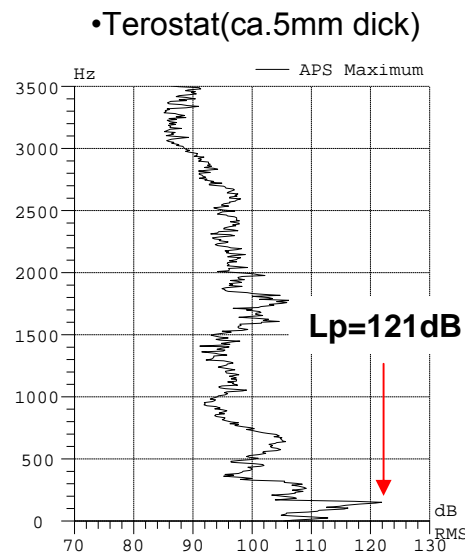
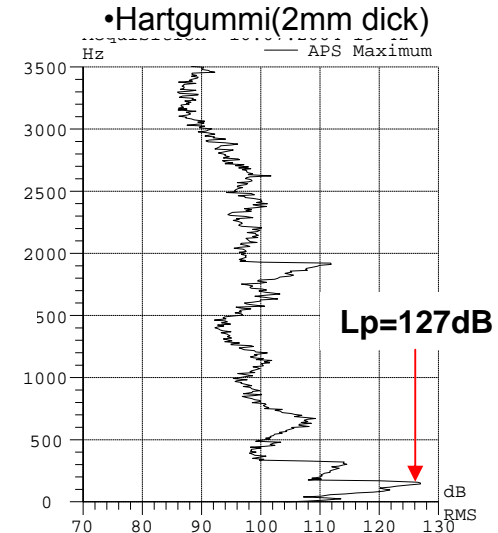
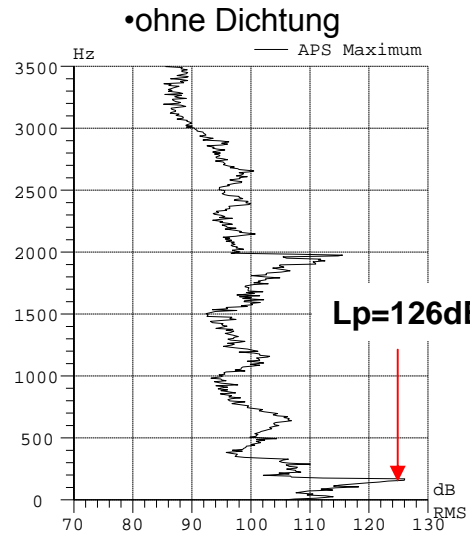
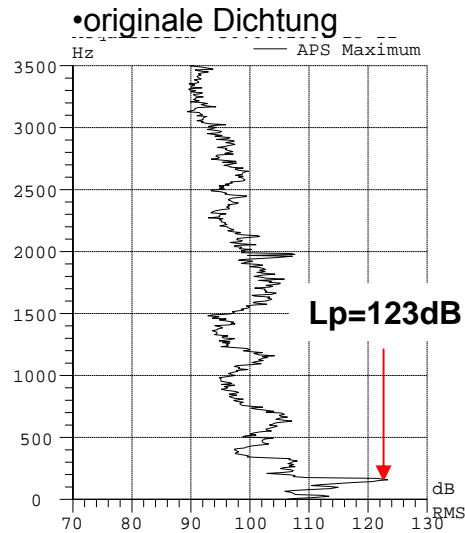
## Modifikationen zur Reduzierung der 1.Drehzahlordnung

- Reduzierung durch verschiedene Dichtungen:
  - zwischen Motorhalter und Ventilatorgehäuse
    - Hartgummi
    - Terostat
    - ohne Dichtung
  
- Reduzierung durch ausgewuchtetes Laufrad:
  - Laufrad in einer Ebene ausgewuchtet



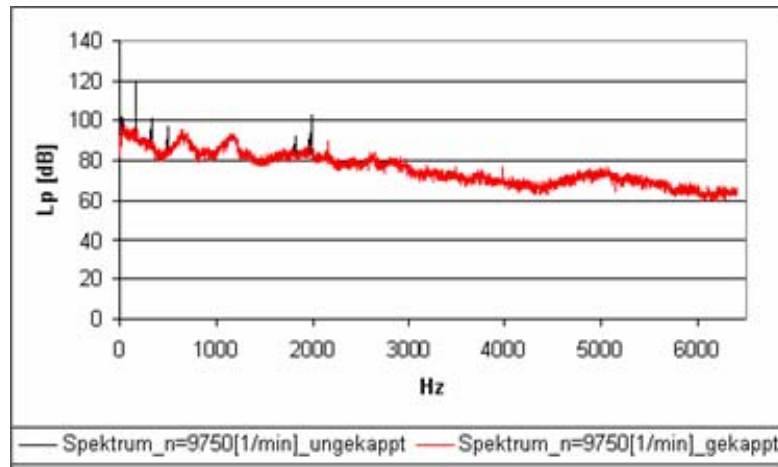


## Modifikationen zur Reduzierung der 1. Drehzahlordnung

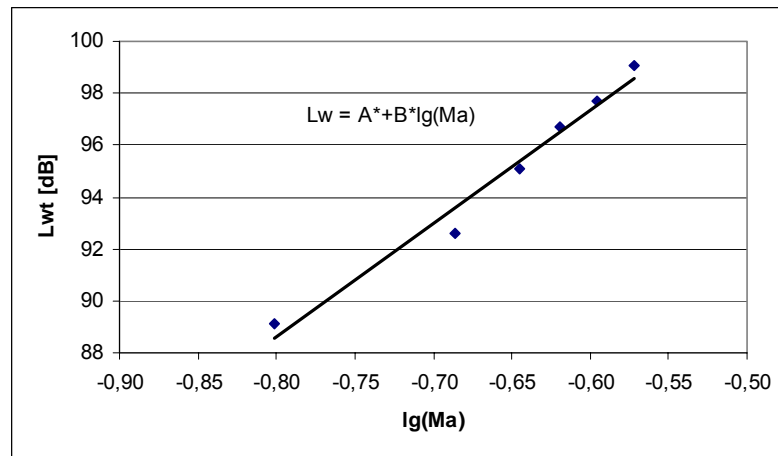




## Einordnung der Geräuschemissionen anhand des Rauschspektrums

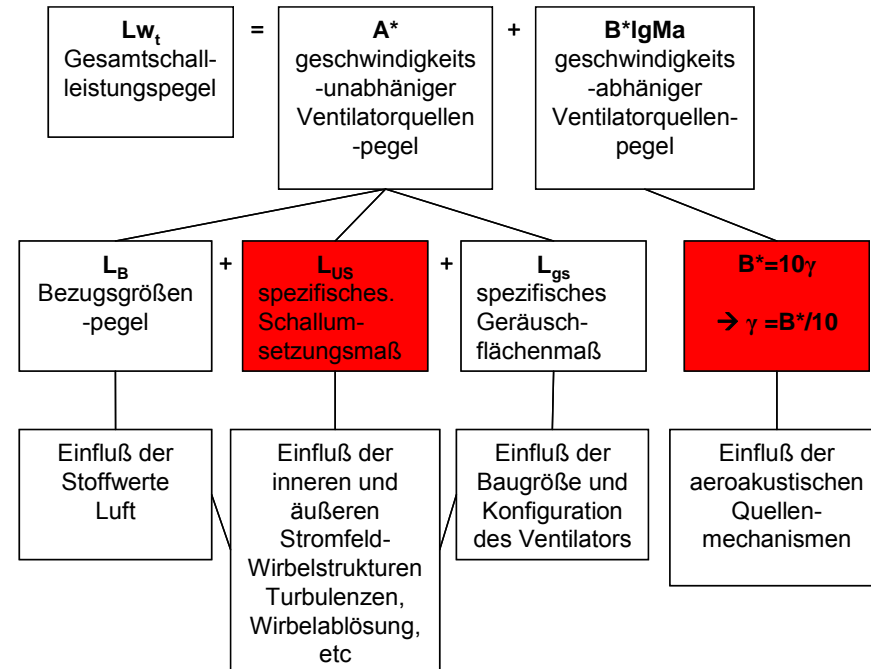


Gekapptes und ungekapptes Spektrum



Rauschkennlinie

Herleitung der Emissionskenngrößen  $L_{US}$  und  $\gamma$  aus dem Geräuschgesetz:



spezifisches Schallumsetzungsmaß:

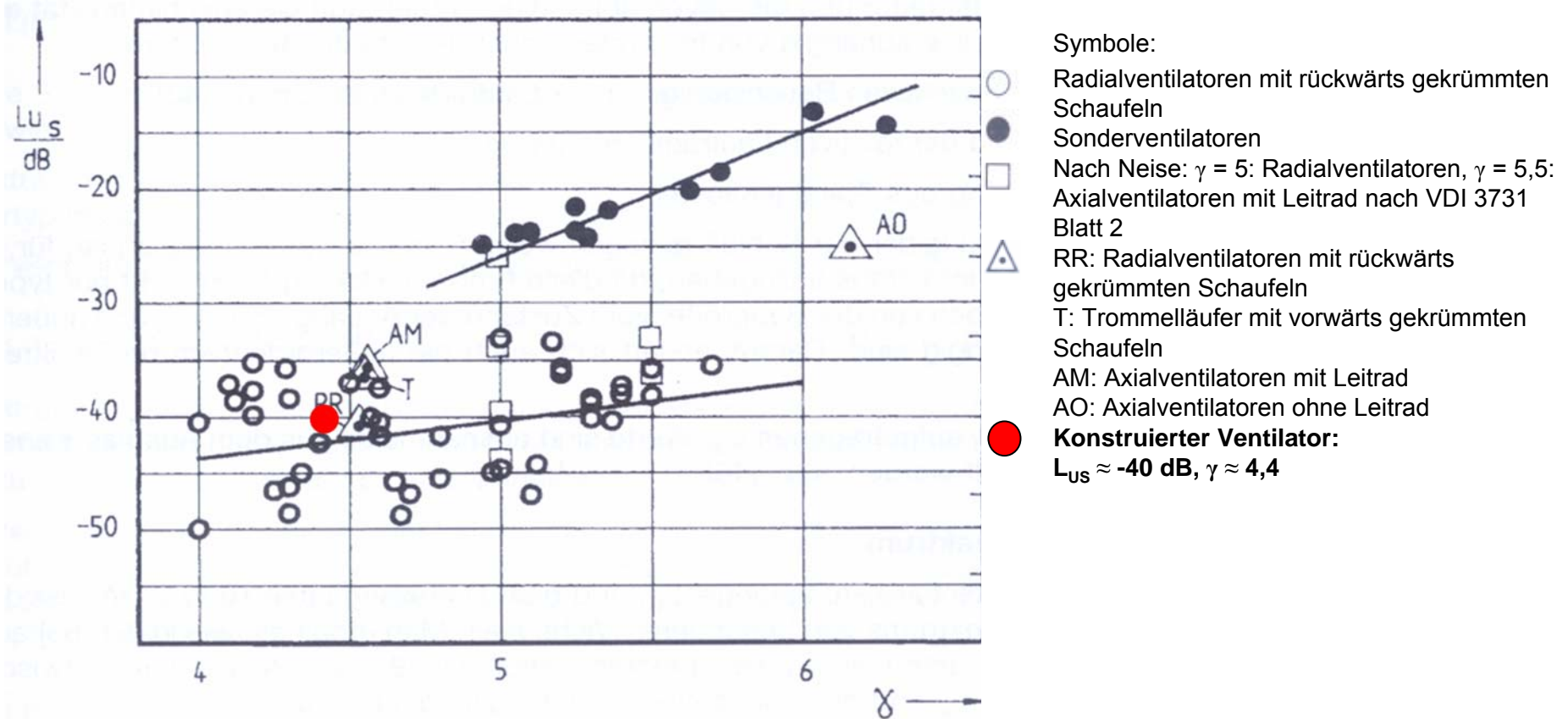
$$L_{US} = A^* - L_B - L_{gs}$$

Machzahlexponent:

$$\gamma = B^*/10$$



## Einordnung der Geräuschemissionen anhand des Rauschspektrums



Spezifisches Schallumsetzungsmaß  $L_{us}$  in Abhängigkeit vom Machzahlexponenten  $\gamma$ , ermittelt an Radialventilatoren unterschiedlicher Schnellläufigkeit und Axialventilatoren mit und ohne Leitrad ( $\varphi/\varphi_{Opt}=1$ ). Quelle: Bommes (2003)



# Schwingungsanalyse

Untersuchung auf Unwucht:  
 → Sicherer Maschinenbetrieb

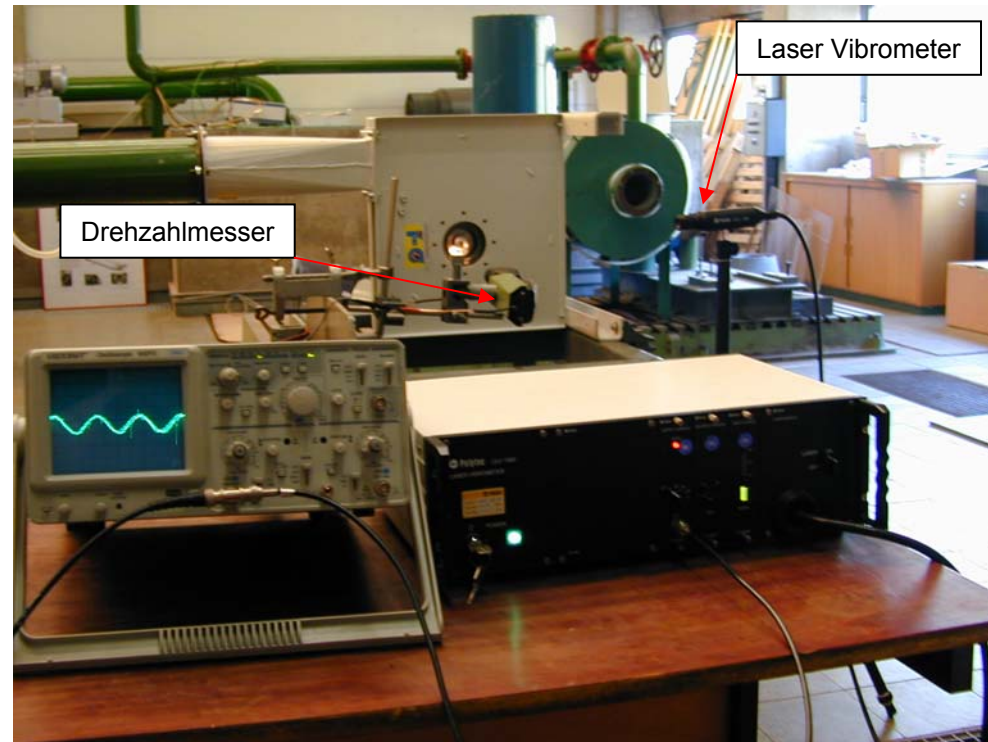
DIN ISO 10816-1  
 Beurteilungskriterien für Schwingungen  
 von Maschinen gemessen an nicht  
 rotierenden Teilen (1997)  
 → Effektive Schwinggeschwindigkeit

Maschinen < 15kW

Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit mm/s	Klasse I
0,28	A
0,45	
0,71	
1,12	B
1,8	
2,8	C
4,5	
7,1	D
11,2	
18	
28	
45	

Bewertungszonen

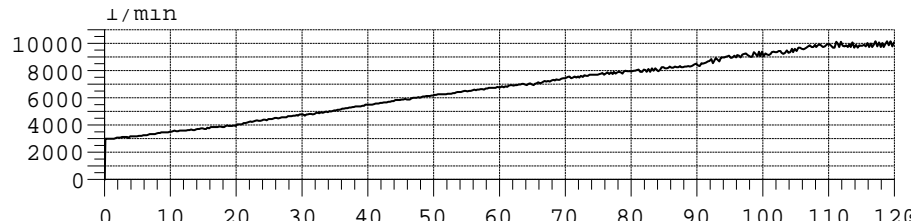
Ausschnitt Schwingstärkenklassifizierung nach  
 DIN ISO 10816 – 1 (1997) /14/



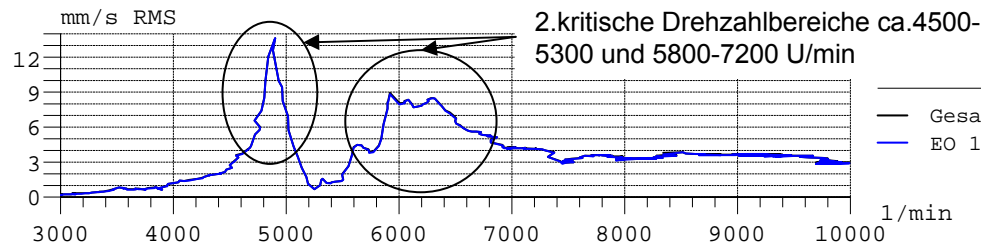
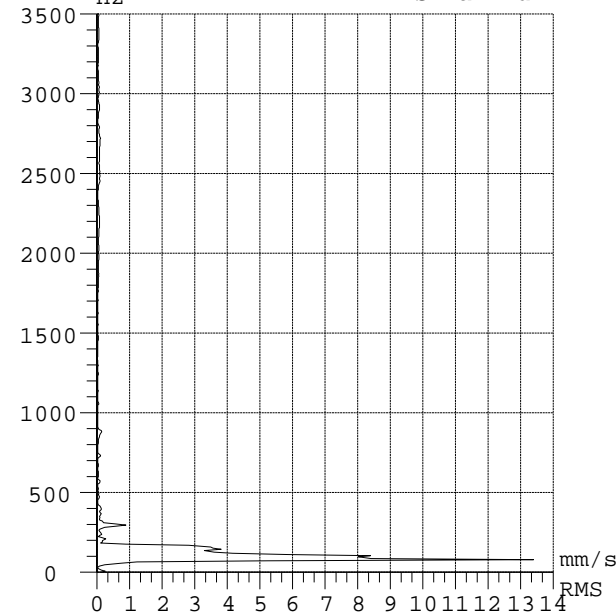
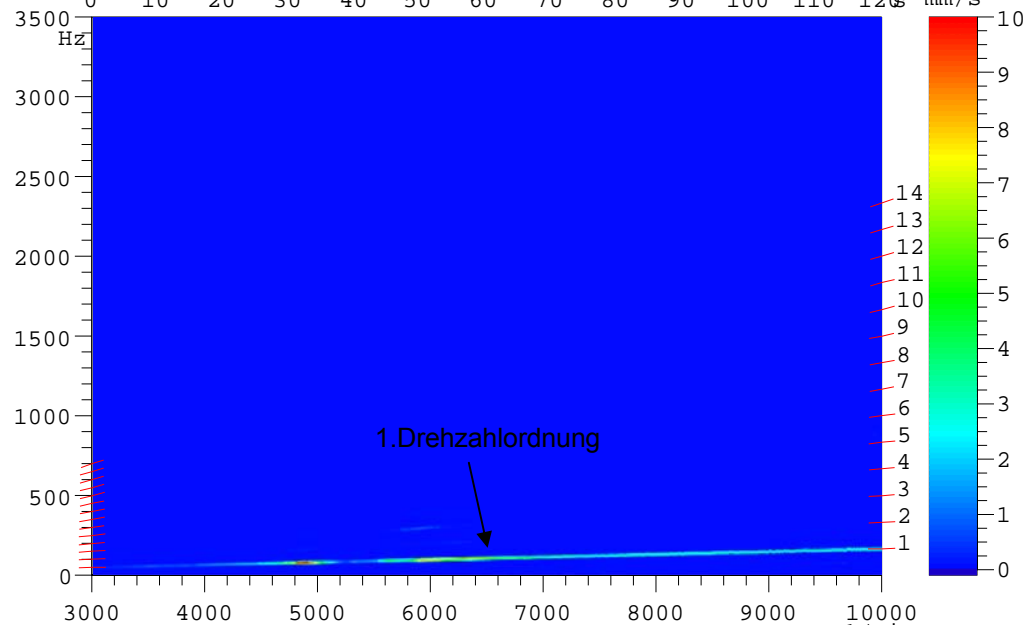
Aufbau zu Messung der effektiven Schwinggeschwindigkeit



# Effektive Schwinggeschwindigkeit: Konfiguration 1



Man.: ; Kal.: 0.196515V/mm/s  
 Freq.-Sp.: 6400Hz; Mean: 3200Hz  
 N\_FL: 801; N\_BLK: 2048; DF: 8Hz  
 AVG: 3; OVL: OFF%; WIN: Hanning  
 Acquisition: 21.10.2004 15:16  
 Hz — APS Maximum

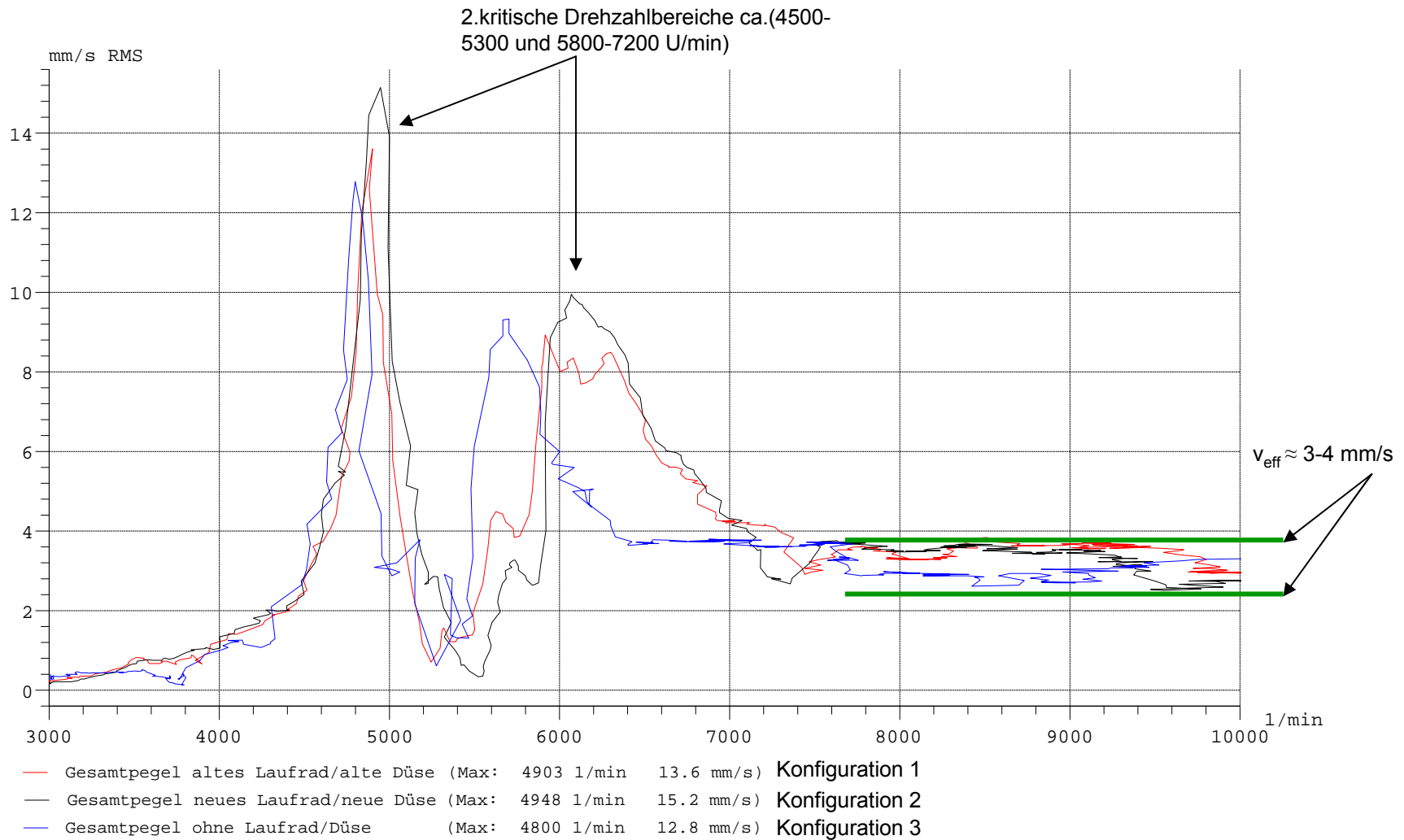


— Gesamtpegel (Max: 4903 1/min 13.6 mm/s)  
 — EO 1. Ordnung mag (17) (Max: 4903 1/min 13.6 mm/s)





**Gesamtpegel der effektiven Schwinggeschwindigkeiten  $v_{eff}$ :**  
**→ Vergleich Konfigurationen 1, 2 und 3**





## Zusammenfassung

- leiser, effizienter und relativ kleiner Ventilator
- Akustische Einordnung anhand des Rauschspektrums ergibt eine mittlere Güte
- 1. Drehzahlordnung bzw. Unwucht des Antriebsmotor verantwortlich:
  - für den hohen Gesamtschalldruckpegel
  - für die effektive Schwinggeschwindigkeit (nur eingeschränkter Dauerbetrieb möglich)

## Fazit:

- Schwingungsdämpfende Maßnahmen müssen am Antriebsmotor durchgeführt werden, dazu sollte der Motor feingewuchtet oder ein besserer Motor ausgewählt werden