

## Parker-Resonanzen als Ursache für tonale Störgeräusche an einem Lokomotivkühler

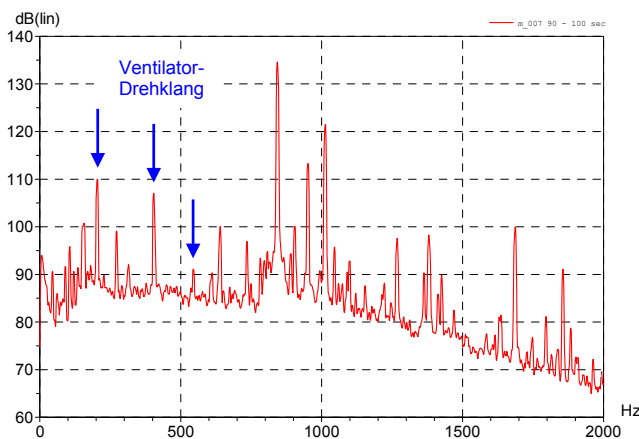
Wilhelm von Heesen<sup>1</sup>, Stephan Heim<sup>1</sup>, Christoph Kirschinger<sup>2</sup>, Uwe Mauch<sup>2</sup>, Dietrich Zwicker<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Müller-BBM GmbH, Planegg, <sup>2</sup> Voith Turbo GmbH & Co. KG, Heidenheim, <sup>3</sup> Vossloh Locomotives GmbH, Kiel

### Problembeschreibung

Bei der Erstinbetriebnahme der Kühlanlage einer neuentwickelten dieselhydraulischen Mehrzwecklokomotive traten im Bereich des Kühlervorbaus tonale Geräusche im Frequenzbereich von 800 bis 1000 Hz mit Schalldruckpegeln von mehr als 130 dB auf (vergleiche Abbildung 1). Diese Störtöne führten nicht nur zu einer erheblichen Überschreitung der für die Lokomotive spezifizierten Schallemissionen, sondern erwiesen sich auch als so extrem unangenehm, dass die Lokomotive damit nicht zu betreiben war.

Die Komponenten des Kühlsystems, bestehend aus zwei Axialventilatoren mit einem Außendurchmesser von 1250 mm, den zugehörigen hydrostatischen Antrieben und den Kühlerelementen, wurden von Voith Turbo zugeliefert. Die Ventilatoren befinden sich auf der Oberseite des Kühlervorbaus. Die Kühlluft wird über die Kühler, die an den Seitenflächen des Vorbaus angeordnet sind, angesaugt und nach oben ausgeblasen.



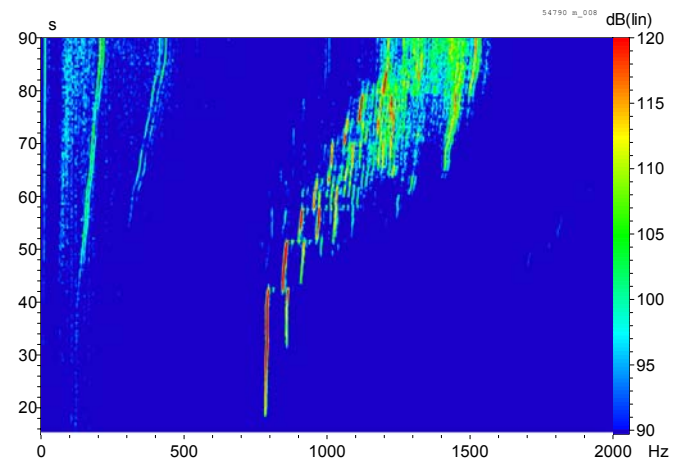
**Abbildung 1:** Schalldruckpegelspektrum, gemessen in 0,8 m Abstand vom Kühlervorbau bei einer Ventilatorzahl von 1360 min<sup>-1</sup>.

### Identifizierung des Geräuscherzeugungsmechanismus

In Zusammenarbeit mit Voith Turbo und Vossloh Locomotives wurde von Müller-BBM ein Untersuchungsprogramm aufgestellt und durchgeführt mit dem Ziel, die Ursache der Störtöne zu identifizieren und zu beseitigen. Zunächst wurde das Schalldruckspektrum in Abhängigkeit von der Ventilatorzahl gemessen. Ein typisches Ergebnis ist in Abbildung 2 dargestellt. Es zeigte sich, dass die Störtonfrequenz mit der Strömungsgeschwindigkeit zunimmt, wobei die Frequenz stufenweise springt. Innerhalb einer Stufe nimmt die Frequenz geringfügig - aber nicht proportional zur Strömungsgeschwindigkeit - zu. Die gemessenen Störtonfrequenzen zeichnen sich weiterhin dadurch aus, dass jeweils ganzzahlige Vielfache der halben Wellenlänge zur Breite der Kühlerfläche passen (vergleiche Tabelle 1). Beim Abtasten

des Schallfelds auf einem horizontalen Messpfad entlang der Oberkante des Kühlers (Abbildung 3) wurden bei der Störtonfrequenz 857 Hz 13 Maxima über die Breite des Kühlers identifiziert (Abbildung 4).

Diese Beobachtungen legten die Vermutung nahe, dass die Störtöne durch sogenannte Parker-Resonanzen entstehen.



**Abbildung 2:** Campbell-Diagramm des Schalldruckpegelspektrums beim Hochlauf der Ventilatoren. Ventilatorzahl 610 bis 1380 min<sup>-1</sup>. (Eine Kühlerseite abgedeckt, Strömungsgeschwindigkeit im Kühler daher doppelt so hoch wie bei Abbildung 1.)

Frequenz [Hz]	$\lambda$ [m]	2,6 m / ( $\lambda/2$ )
655	0,52	10,0
724	0,47	11,1
788	0,43	12,1
857	0,40	13,0
920	0,37	14,0
990	0,34	15,1

**Tabelle 1:** Gemessene Störtonfrequenzen und resultierende Anzahl der halben Wellenlängen entlang der horizontalen Erstreckung des Kühlers (2,6 m).

### Parker-Resonanzen

In der Literatur (z.B. [1]-[4]) werden Untersuchungen an Kaskaden von parallel ausgerichteten Platten in Windkanälen mit rechteckigem Querschnitt beschrieben. Dabei wurde immer dann, wenn die Frequenz der natürlichen Wirbelablösung an den Plattenhinterkanten in die Nähe der Eigenfrequenz einer akustischen Quermode des Kanals gerät, eine starke Schallerzeugung beobachtet. Abbildung 5 zeigt ein typisches Beispiel aus [3]. Bei geringer Strömungsgeschwindigkeit nimmt die natürliche Wirbelablösefrequenz zunächst proportional zur Strömungsgeschwindigkeit zu (konstante Strouhalzahl). Bei  $U \approx 26$  m/s springt die Wirbelablösefrequenz plötzlich und synchronisiert sich auf die Eigenfrequenz der akustischen Kanalmode. Gleichzeitig tritt sehr starke

Schallabstrahlung auf. Die Frequenz nimmt mit weiter wachsender Strömungsgeschwindigkeit nur geringfügig zu und springt bei  $U \approx 36$  m/s wieder auf die natürliche Wirbelablösfrequenz. Gleichzeitig verschwindet die Schallabstrahlung. Dieses Phänomen wird der Literatur als "Parker-Resonanz" bezeichnet. Die bei resonanter Wirbelablösung auftretenden Wechselkräfte sind erheblich und können sogar zur Zerstörung der Platten führen [4]. Andere Untersuchungen (z.B. [5]) haben gezeigt, dass sich die Wirbelablösung im Resonanzfall auch räumlich auf die Gestalt der Eigenform synchronisiert.

Die natürliche Wirbelablösefrequenz  $f$  ist beschrieben durch  $f \cdot d / U \approx 0,2$ , wobei  $d$  eine charakteristische Querabmessung des umströmten Körpers und  $U$  die Strömungsgeschwindigkeit bezeichnen. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit in der Kühlerfläche beträgt bei einer Ventilator Drehzahl von  $1360 \text{ min}^{-1}$   $U \approx 10$  m/s, so dass sich mit der Störtonfrequenz  $f = 857$  Hz (vergleiche Abbildung 1) ein Wert von  $d \approx 2$  mm ergibt. Dies stimmt recht gut mit der Querabmessung der vertikal in den Kühlerelementen verlaufenden, wasserführenden Röhren überein. Es erscheint also durchaus plausibel, dass die beobachteten Störtöne durch Parker-Resonanzen verursacht werden, wobei die akustische Resonanz durch eine stehende Welle in Querrichtung der Kühlerebene gegeben ist.

### Beseitigung der Störtöne

Durch Abdecken jeweils eines Kühlerelements am rechten und linken Rand der Kühlerebene - d.h. durch Veränderung der Randbedingungen für die stehende Welle - wurden die Störtonpegel um ca. 20 dB reduziert und das Einsetzen der Störtöne zu deutlich höheren Strömungsgeschwindigkeiten verschoben. Eine vollständige Beseitigung zeigte sich jedoch erst nach dem Austausch der Kühlerelemente gegen solche mit geschlossenen seitlichen Blechabdeckungen. Durch die vertikalen Trennbleche zwischen den Kühlerelementen wird die Synchronisation der Wirbelablösung auf die horizontale stehende Welle verhindert. Dies korrespondiert mit Beobachtungen aus [5], wo die Geräuscherzeugung durch Unterbrechen der räumlichen Synchronisation der Wirbelablösung beseitigt werden konnte.

### Literatur

- [1] Parker, R., "Resonance Effects in Wake Shedding from Parallel Plates: Some experimental Observations," Journal of Sound and Vibration, Vol. 4, No. 1, pp. 62-67, 1966.
- [2] Parker, R., "Resonance Effects in Wake Shedding from Parallel Plates: Calculation of Resonant Frequencies," Journal of Sound and Vibration, Vol. 5, No. 2, pp. 332-343, 1967.
- [3] Welsh, M. C., Stokes, A. N., and Parker, R., "Flow-Resonant Sound Interaction in a Duct Containing a Plate, Part I: Semi-Circular Leading Edge," Journal of Sound and Vibration, 95, pp. 305-323, 1984.
- [4] Ahuja, K. K., Manes, J., and Massey, K. C., "Control of Jet Mixing and Supersonic Jet Noise by Resonance Effects in Wake Shedding from Parallel Plates," CEAS/AIAA Paper 95-018, 1995.
- [5] von Heesen, W., "Abnormal High-Level Noise in Axial Flow Fans," AIAA Paper 98-2243, 1998.

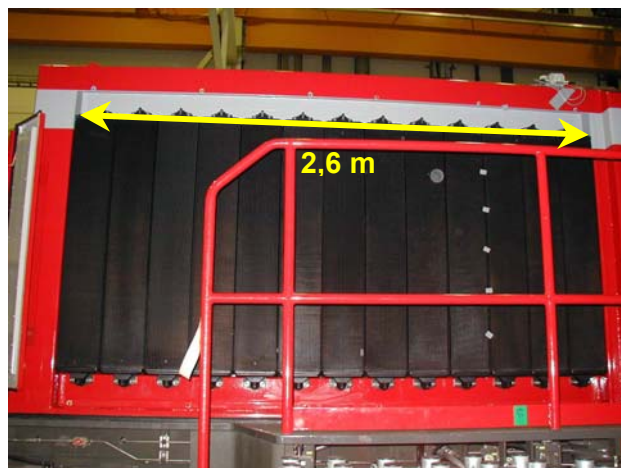


Abbildung 3: Seitenansicht des Lüftervorbaus mit abgenommener Verkleidung. Die Kühlerfläche besteht aus 13 nebeneinander angeordneten 20 cm breiten Elementen.

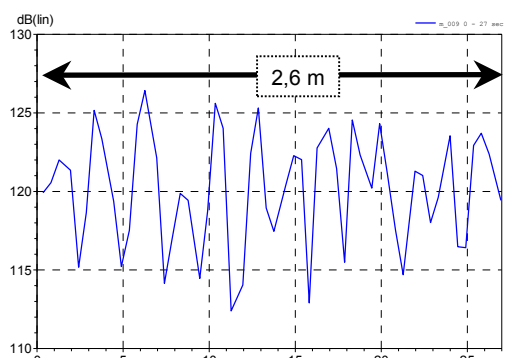


Abbildung 4: Bandpasspegel 840-880 Hz entlang des in Abbildung 3 markierten Messpfades. Bewegungsgeschwindigkeit des Mikrofons ca. 10 cm pro Sekunde.

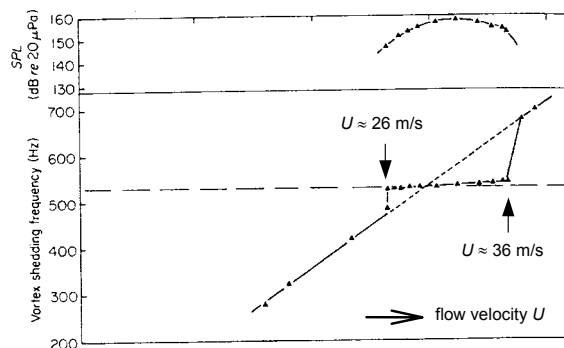


Abbildung 5: Oben: Wirbelablösung an der Hinterkante einer umströmten Platte in einem Windkanal mit rechteckigem Querschnitt; (a) ohne akustische Resonanz,  $U = 24,6$  m/s; (b) mit akustischer Resonanz,  $U = 29,0$  m/s. Unten: Wirbelablösefrequenz und Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit. Gestrichelte Linie: Eigenfrequenz der Kanalquermode. (Aus [3].)