

# Untersuchung von Strömungsgeräuschen an ventilerten Lautsprechern

Rudolf Germer

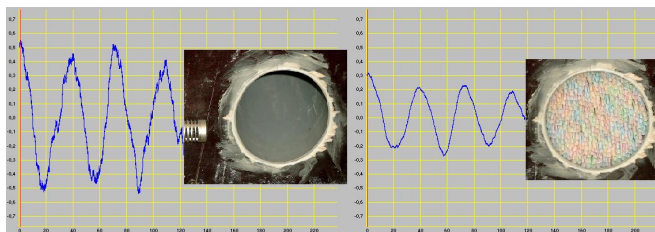
<sup>1</sup>IITP, HTW- und TU- Berlin, 12249 Berlin, E-Mail: germer@physik.tu-berlin.de

## Einleitung

Bekannterweise können Strömungsgeräusche an ventilerten Lautsprecherboxen ein Problem sein, das meist durch abgerundete Kanten an den Öffnungen minimiert wird [1],[2]. Da dies nicht immer ausreichend ist, verwendeten wir ein Röhrensystem, um die Luft bei Bewegung zum laminaren Strömen zu zwingen. Gehörmäßig war dies sehr erfolgreich und bei anschließenden Messungen zeigten sich unerwartete Effekte, die in diesem Beitrag beschrieben werden.

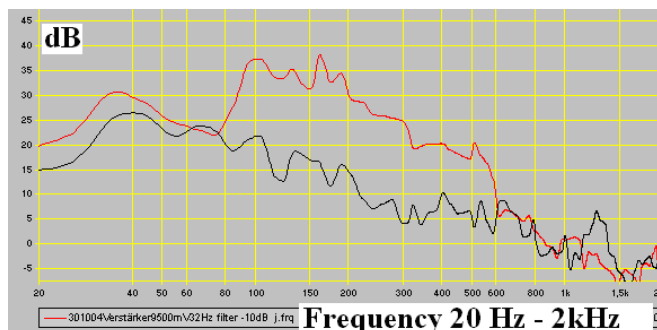
## Schallemission der Baßreflexöffnung

Zum Messen wurde eine Baßreflexbox entsprechend den Vorschlägen des Herstellers des Lautsprecherchassis (80 l, Rohr  $d=100\text{mm}$ ,  $l = 250\text{mm}$ ; HP Pro 120, 30cm/600W) gebaut und das Mikrophon in Nähe der Zusatzöffnung plaziert. Dann wurde bei normal offenen Rohr gemessen und anschließend das Rohr mit Strohhalmen (Durchmesser 5, Länge 240 mm) straff gefüllt. Den Unterschied zeigen Abb.1 für das Signal direkt und Abb. 2 und Abb. 3 nach der Spektralanalyse.



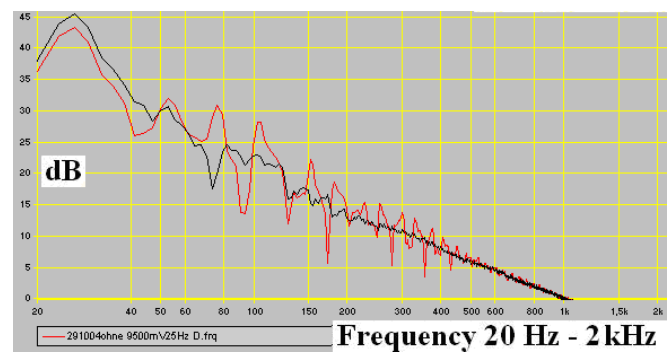
**Abbildung 1:** Der Schall am Reflexrohr, links offen und rechts mit Röhrenchen

Deutlich ist die Minderung der Störgeräusche um ca.15dB durch die laminar erzwungene Luftbewegung zu erkennen. Zur Messung wurden Frequenzen unter 100Hz mit einem passiven Analogfilter gedämpft, wie in der Kurve zu erkennen. Abb. 2 zeigt ein breitbandiges Störgeräusch, wie



**Abbildung 2:** Spektrum an der Rohröffnung mit 32 Hz Anregung : normal (rot) und laminarisiert (schwarz)

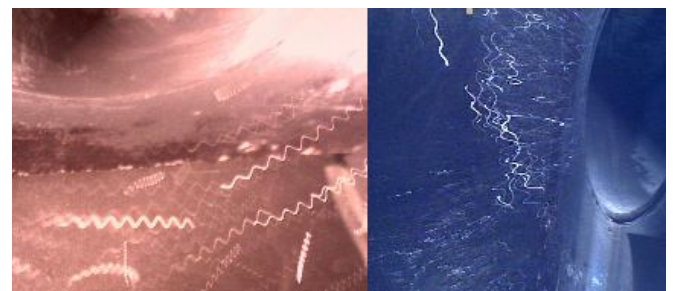
es von Rauschen zu erwarten ist, Abb. 3 dagegen Obertöne. War vielleicht die Ursache der Geräusche bei Abb. 2 chaotische Turbulenz und bei Abb. 3 synchronisierte Bewegung der Luft? Aus diesem Grund wurde beschlossen, die Luftbewegung optisch zu untersuchen.



**Abbildung 3:** Spektrum an der Rohröffnung mit 25 Hz Anregung : normal (rot) und laminarisiert schwarz

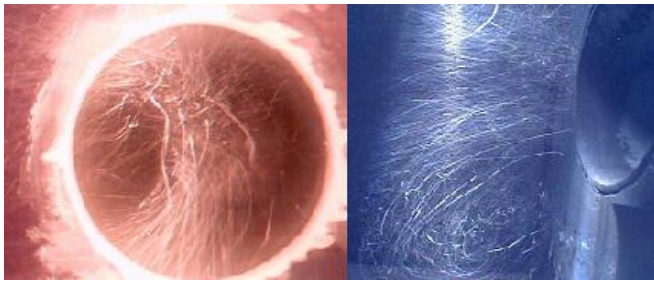
## Luftbewegung an der Baßreflexöffnung

Um die Luftbewegung verfolgen zu können, wurde weiße Papierasche von oben an der Baßreflexöffnung vorbeigerieselt und von der Seite beleuchtet [3]. Mit einer WEB-Kamera ließen sich leicht Belichtungszeiten einstellen, die mehrere Schallperioden dauerten. Bei kleinen Schallamplituden ( $\sim 1\text{ W}$  Verstärkerleistung) war die Bewegung der Staubteilchen sinusförmig, Abb. 4.



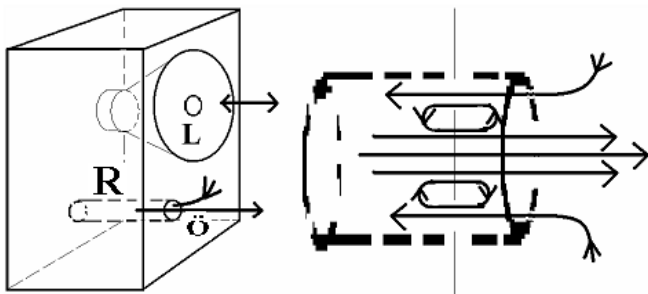
**Abbildung 4:** Bewegung von Staub vor der Baßreflexöffnung bei kleinen Schallamplituden, links frontal, rechts seitlich beobachtet

Bei großen Schallamplituden ( $> 10\text{ W}$ ) zeigte sich überraschender Weise statt der erwarteten Wirbel eine gleichförmige Strömung, die an der Wand des Rohres hinein und in der Mitte heraus blies, Abb.5. Die Luftbewegung ist in der Abb.6 skizziert. Zum Verständnis des Effektes ist



**Abbildung 5:** Bewegung von Staub vor der Baßreflexöffnung bei großen Schallamplituden, links frontal, rechts seitlich beobachtet.

sicher zu berücksichtigen, daß die Rohröffnung unsymmetrisch im Gehäuse eingebaut ist und daß der Abstand des Rohres zur Gehäuserückwand mit 5 cm relativ gering ist. Die Bewegung des Wassers bei umströmten Kavitationsblasen in Nähe einer Wand bei deren Kollaps ist damit vielleicht vergleichbar.



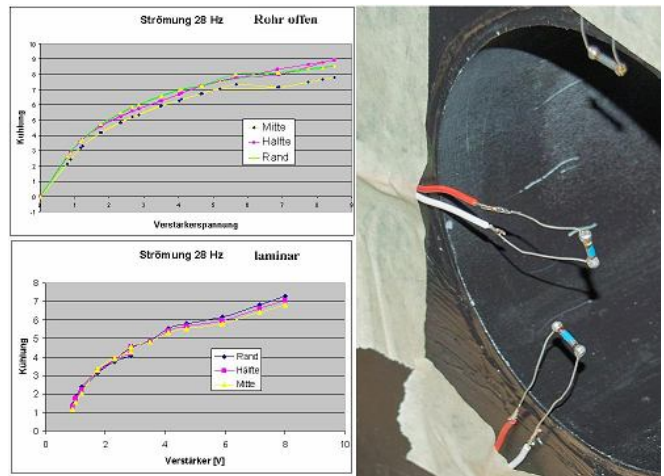
**Abbildung 6:** Strömung am Baßreflexrohr bei großen Amplituden des Schalls, ein neuer Pumpeneffekt. Lautsprechermembran L, Rohr R, Öffnung Ö

Die Strömungsgeschwindigkeit kann beobachtet werden, wenn die Beleuchtung mit einer in der Helligkeit modulierten Lichtquelle erfolgt, Abb. 7. Deutlich ist die gegenüber dem Lochrand größere Geschwindigkeit der Strömung in der Mitte zu sehen.



**Abbildung 7:** Die Strömungsgeschwindigkeit in der Lochmitte ist größer als am Rand. Das Licht ist mit 100 Hz amplitudenmoduliert.

Um zu sehen, wie sich die Strömung mit der Amplitude der Lautsprecherbewegung ändert, wurden drei geheizte NTC-Widerstände in Positionen entsprechend Abb. 8 rechts angeordnet und ihr Widerstand als Maß der Kühlung durch die Strömung gemessen. Bei offenem Rohr zeigte sich bei den Positionen Mitte und Rand ( Abb.8 oben ) ab 6V Verstärkerausgangsspannung deutlich geringere Kühlung als in der strömungsarmen Position bei  $r/2$ , wo augenscheinlich weiter die Kühlung durch die Wechselbewegung im Schallfeld dominiert. Im Fall der laminarisierten Strömung verhalten sich alle Positionen ähnlich ( Abb.8 unten). Die Schallamplitude ist auf Grund der Reibung allerdings geringer als beim offenen Rohr, was auch die Impedanzmessung belegt. Eine Hysterese des Effektes konnte nicht beobachtet werden, dies war bei der Art der Anregung (s.Hochfrequenzvormagnetisierung beim Magnetband) aber auch nicht zu erwarten.



**Abbildung 8:** Kühlung als Maß der Strömung. Drei NTC-Widerstände am Rand, beim halben Radius  $r/2$  und in der Mitte des Rohres werden abhängig von der Verstärkerausgangsspannung durch die Luftbewegung gekühlt. Oben offenes Rohr, unten mit Strohhalmen.

## Zusammenfassung

Strömungsgeräusche an einem Baßreflexrohr zeigten je nach Anregungsfrequenz breitbandiges Rauschen oder Obertöne. Überraschend war die optische Beobachtung der Luftbewegung bei größeren Schallamplituden : Ein Großteil der Luft bewegt sich nicht mehr im Rhythmus des Schalls sondern strömt gleichförmig am Rand in das Rohr hinein und in der Mitte heraus.

## Literatur

- [1] Stark B., "Lautsprecherbau", Pflaum Verlag, (1994)
- [2] Dickason V., "The Loudspeaker Design Cokkbook", Audio Amateur Press, (1995)
- [3] Germer R., "Short and long LED flashes to study flow in air and water and why it might be better to use a long exposure time" Proc. SPIE Vol. 7126, (2009) 71260Y