



Doctoral Thesis

## Kolbengetriebene Luftschwingungen bei Resonanz im Rohr mit einem offenen Ende

**Author(s):**

Stuhlträger, Erich

**Publication Date:**

1984

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000343151> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 7655

Kolbengetriebene Luftschwingungen bei Resonanz  
im Rohr mit einem offenen Ende

A B H A N D L U N G

zur Erlangung  
des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften  
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

ERICH STUHLTRÄGER  
Dipl. Masch.-Ing. ETH  
geboren am 14. September 1953  
von Aeschlen (Kt. Bern)

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. H.H. Thomann, Referent  
Prof. Dr. G. Schweitzer, Korreferent

ok Gotthard AG  
Zürich 1984

## KURZFASSUNG

Der Einfluss des offenen Endes auf die mit einem Kolben angefachte Luftschwingung im Rohr bei Resonanz im Bereich des laminar-turbulenten Umschlags wird untersucht. Der gemessene Druck entlang dem Rohr wird in die massgebende erste, zweite und dritte Harmonische zerlegt und mit der linearen und nichtlinearen Theorie, die für das offene Ende je ein eigenes Randbedingungsmodell besitzt, verglichen.

Beide Theorien beschreiben die gemessene erste Harmonische gut, nachdem der Druck in Kolbennähe mit dem Dissipationsparameter des Randbedingungsmodells der Messung angeglichen wurde. Der Dissipationsparameter ändert im Messbereich kaum.

Der nichtlineare Einfluss des offenen Endes, der mit zunehmender Grenzschichtreibung von dieser überdeckt wird, bestimmt die gemessene zweite Harmonische so, dass nur die nichtlineare Theorie sie gut nachzubilden vermag.

Der durch die erste Harmonische festgelegte Dissipationsparameter bestimmt die dritte Harmonische beider Theorien, die in der Amplitude gegenüber der Messung zu hoch ist. Dies deutet darauf hin, dass die postulierte Funktion  $p(t)$  am offenen Ende geändert werden muss.

Die Abweichung der Resonanzfrequenz von  $\frac{\omega \cdot L}{a_0} \cdot \frac{2}{\pi} = 1$  wird von der Grenzschichtreibung dominiert und von den Theorien genau vorausgesagt.

Anhand der mit Rauch sichtbar gemachten Strömung zeigt sich die Wirbelstruktur und die Sekundärströmung im Rohr, sowie der im engen Bereich der bestimmenden Kennzahl  $A$  auftretende laminar-turbulente Umschlag. Trotz der starken Störung durch das offene Ende tritt der Umschlag eher bei höherem  $A$  auf als beim geschlossenen Rohr.

## ABSTRACT

The influence of a single open end on piston driven oscillations of air in a tube are investigated. Frequencies close to resonance are of special interest as the influence of the open end on the pressure amplitude is most pronounced in this range. Cases with laminar and turbulent boundary layer were considered. The measured pressure signals were decomposed into harmonic modes. They were compared with a linear theory with a nonlinear relation  $p(u)$  at the open end, and with a nonlinear theory.

Both theories described well the amplitude and the phase of the first harmonic with one constant each.

The nonlinear relation at the open end determined the result for the second harmonic of the linear theory. Poor agreement with the experiment was found. Again the nonlinear theory was fairly successful.

The constant determined with the first harmonic was finally used to predict amplitude and phase of the third harmonic. Both theories predicted too large amplitudes. This indicates that the function  $p(t)$  at the open end should be corrected for both theories.

Both theories exactly predicted the deviation of the frequency of resonance from  $\frac{\omega L}{a_0} \cdot \frac{2}{\eta} = 1$ , mainly determined by the wall friction.

Smoke injected into the tube for visualization showed the structure of eddies and the acoustical streaming in the tube as well as the small range of the dimensionless parameter  $A$  describing the transition to turbulence. Despite the strong disturbance due to the open end, the transition appears at a value of  $A$  slightly higher than in the closed tube.