



Doctoral Thesis

## Beitrag zur Berechnung pneumatisch gedämpfter Stösse und Schwingungen

**Author(s):**

Grassl, Hans Hermann

**Publication Date:**

1981

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000214948> →

**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. 6776 : ex B

Beitrag zur Berechnung pneumatisch  
gedämpfter Stösse und Schwingungen

A B H A N D L U N G

zur Erlangung des Titels eines

DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH



vorgelegt von

Hans Hermann Grassl

Dipl.-Ing. TH München

geboren am 03. Okt. 1942

von Deutschland

Angenommen auf Antrag von:

Prof. P. Fornallaz, Referent

Dr. J. Waldvogel, Korreferent

1981

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'H. H. Grassl', written over a vertical line.

Beitrag zur Berechnung pneumatisch gedämpfter Stösse und Schwingungen

Zusammenfassung: Diese Abhandlung enthält theoretische, experimentelle und konstruktive Beiträge zum Verständnis pneumatisch gedämpfter Stösse und Schwingungen. Als pneumatisches Dämpfungselement (PDE) wird eine konstruktiv sehr einfache Ausführung untersucht: in einem auf der einen Seite offenen Zylinder bewegt sich unter dem Einfluss äusserer Kräfte spielfrei ein Kolben; je nach der Kolbenbewegung strömt Luft durch eine kleine Öffnung am Zylinderboden aus oder ein und erzeugt so eine Dämpfungskraft. Experimentell lässt sich zeigen, dass nur dann eine wirkungsvolle Dämpfung erreicht wird, wenn die Luftströmung unter grossen Dichteänderungen, kompressibel verläuft. Für diesen Vorgang wird in einem ersten Schritt ein Modell entwickelt und mit einem System gewöhnlicher Differentialgleichungen beschrieben. Diese Modellvorstellung gilt für isentrope und wärmedichte Zustandsänderung der Luft im Zylinder und beim Durchströmen der Öffnung. Dabei werden zwei einfache Mündungsformen betrachtet, die das Dämpfungsverhalten des PDE sehr stark unterschiedlich beeinflussen. Die Durchflusscharakteristik der jeweiligen Mündungsform wurde in der genannten Modellvorstellung mit einer Interpolationsformel berücksichtigt. Das nicht-lineare DGL-System wurde mit einem RUNGE-KUTTA Verfahren numerisch integriert und die Rechenergebnisse mit dem Experiment verglichen. Es zeigt sich, dass mit diesem Modell nur der pneumatische Stossvorgang genügend genau abgebildet wird. - Die präzise Berechnung eines pneumatisch gedämpften Stoss- oder Schwingungsvorganges, der länger als eine 1/4-Periode dauert, verlangt eine Erweiterung des Modells um den Einfluss der Wärmeleitung in die Zylinderwand. In einem zweiten Schritt wird dazu die Existenz einer Temperaturgrenzschicht an der Zylinderinnenwand angenommen, durch die Wärme zwischen einer weiterhin wärmedichten Kernzone und den isothermen Zylinder- und Kolbenwänden ausgetauscht wird. Diese Vorstellung verlangt die Ergänzung des oben erwähnten DGL-Systems um eine partielle DGL zur Berücksichtigung des Wärmeleitungseffektes. - Zur numerischen Lösung dieses erweiterten DGL-Systems wird die partielle DGL in ein System gewöhnlicher DGL umgeschrieben. Auf diese Weise entstehen DGL-Systeme von bis zu 28 DGL 1. Ordnung, die wiederum nach RUNGE-KUTTA integriert werden. Der Vergleich zwischen Experiment und Rechnung zeigt eine gute Übereinstimmung für eine pneumatisch gedämpfte Schwingung über 2 Halbperioden.

Dieser Zeitraum ist ausreichend, da ein wirkungsvoller Dämpfungsvorgang möglichst innerhalb einer Periodendauer abklingen soll. - Die Beschreibung eines pneumatisch gedämpften Schwingvorganges verlangt die Berücksichtigung des Einströmvorganges durch die Öffnung am Zylinderboden; der dafür entwickelte Formalismus wurde in das DGL-System des Modells eingebaut. - Die Nachrechnung zahlreicher, sorgfältig durchgeführter Versuche zeigt, dass mit dem hergeleiteten DGL-System bei erträglichem Rechenaufwand eine pneumatische Stossdämpfung sehr genau berechnet werden kann; der Verlauf einer pneumatischen Schwingungsdämpfung lässt sich mit technischer ausreichender Genauigkeit berechnen.

Zu Handen des Konstrukteurs wurden die Einflussparameter des Modells "pneumatische Stossdämpfung" diskutiert und Richtlinien für die Dimensionierung und den sachgerechten Betrieb pneumatischer Dämpfungselemente angegeben. Mit Hilfe der Dimensionsanalyse wurden die dimensionslosen Kennzahlen eines pneumatisch gedämpften Stossvorganges hergeleitet und ihre Zahlenwerte für eine Anzahl rückprallfreier Dämpfungsvorgänge angegeben.

Contribution to Calculate Pneumatically Damped Shocks and Oscillations

Abstract: The analysis of pneumatic dashpots is carried out in full detail: 1. a model is developed for shock absorbers with adiabatic change of state; 2. the existence of a thermal boundary layer is taken into account for modelling oscillation dampers. - In each case the governing system of differential equations is derived and numerically solved by the RUNGE-KUTTA method. The calculated results agree good to very good with the experiments. - For the benefit of designers dimensioning recommendations are stated and selected shock absorber procedures are represented by dimensionless numbers.

Descriptors: \*damping/shock absorbers/oscillation dampers/\*pneumatics/\*design analysis/dimensions/gas dynamics/\*thermal boundary layer/computation/differential equations/\*nonlinearity/Runge-Kutta method/\*dimensional analysis/dimensionless numbers/.