

# Berechnungen und Modellversuche über Druckwellen grosser Amplituden in Auspuff- Leitungen

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**  
Jenny, Ernst

**Publication date:**  
1949

**Permanent link:**  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000099669>

**Rights / license:**  
[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

# Berechnungen und Modellversuche über Druckwellen grosser Amplituden in Auspuff-Leitungen

VON DER

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN  
HOCHSCHULE IN ZÜRICH

ZUR ERLANGUNG

DER WÜRDE EINES DOKTORS DER  
TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

GENEHMIGTE

PROMOTIONSARBEIT

VORGELEGT VON

**ERNST JENNY**

DIPL. MASCH.-ING. E. T. H.  
VON ENNENDA

Referent: Herr Prof. Dr. G. Eichelberg

Korreferent: Herr Prof. Dr. J. Ackeret

BASEL 1949 AMEBA-DRUCK

kleiner wird.

Später erfolgt dann ein Abbauen des Druckes durch die am Ende reflektierte Verdünnungswelle (Punkt 67).

Die Ausströmgeschwindigkeit (Fig.46f) steigt erst stark, wenn die nach Ventilschluss (Punkt 17) entstandene Verdichtungswelle am Rohrende anlangt (Punkt 35).

Diese Resultate entsprechen den Ergebnissen in [38], wo ein ähnlicher Fall durch Reihenentwicklung berechnet wurde.

Im Schmidt-Rohr wurden höhere Drucke, maximal 1,5 atü, erreicht. Die hier angenommene Verbrennungsgeschwindigkeit war demnach zu klein.

Die weitere Schwingung und die Rückwirkung auf die nächste Periode wird nicht verfolgt (vgl. dazu [39]).

### Z u s a m m e n f a s s u n g .

=====

Die vorliegende Arbeit trägt zur Abklärung von zwei Problemkreisen bei: Der Theorie der instationären Strömung im allgemeinen und ihre Anwendung auf den Motorauspuff im speziellen.

Zuerst sind die bekannten Gesetze der eindimensionalen, reibungsfreien instationären Strömung kurz dargestellt und gezeigt, wie die Berechnung graphisch durch gleichzeitige Konstruktion in der Weg-Zeit- und Zustands-Ebene sehr einfach und übersichtlich ist. Die Randbedingungen werden eingehend diskutiert und als Kurven im Zustandsdiagramm dargestellt.

Anhand einer speziell konstruierten Versuchsanlage konnte die Wirklichkeitstreue der so ermittelten Strömungen untersucht werden. Es zeigt sich, dass die auftretenden Druckschwingungen dem theoretisch vorausbestimmten Verlaufe sehr gut entsprechen, dass aber beim Auftreten grosser Geschwindigkeiten infolge Reibung eine nicht zu vernachlässigende Dämpfung entsteht.

Im Anschluss an die Darstellung der Charakteristikentheorie für partielle hyperbolische Differentialgleichungen wird das graphische Verfahren erweitert und erfasst dann auch Reibung, Quer-

schnittsänderung und Wärmezufuhr.

Es erweist sich, dass bei Strömungen mit geringen Verzögerungen die Verwendung des stationär ermittelten Reibkoeffizienten Uebereinstimmung von Versuch und Rechnung ergibt. Treten starke Verzögerungen mit Strömungsumkehr auf, so entstehen sehr unregelmässige Geschwindigkeitsprofile, und die daraus resultierende Verwirbelung erhöht den Reibverlust um einen von der Stärke des Rückströmens abhängigen Faktor, der sich für einen bestimmten Fall zu 1,2 ergab.

Ein Beispiel zeigt, dass auch die instationäre Strömung mit Wärmezufuhr durch Verbrennung graphisch übersichtlich behandelt werden kann.

Zum Problem des Motorauspuffes zeigt die Diskussion der Randbedingung für das Auslassorgan, dass von der Arbeitsfähigkeit der Zylinderladung bei Ausstossbeginn infolge Drosselung ein beträchtlicher Anteil verloren geht.

Dieser Verlust wird verkleinert, wenn der engste Durchströmquerschnitt rasch gleich dem Rohrquerschnitt wird.. Die Öffnungsgeschwindigkeit der Ventile und Schlitze ist aber mechanisch begrenzt. Die Verwirbelung an der Drosselstelle nimmt anderseits ab, wenn durch Gegenstau die Druckdifferenz vermindert wird. Bei Verwendung von engen Auspuffleitungen entsteht dieser Stau als Druckwelle, dem sogenannten Vorauslass-Stoss. Die Energie dieser Welle kann in einer Turbine oder gasdynamisch durch Reflexion als Saugwelle verwertet werden.

Da die resultierende Durchflussfläche einer Turbine bedeutend kleiner als der Rohrquerschnitt ist, wird der Vorauslass-Stoss teilweise als Verdichtung zurückgeworfen. Bei kurzen Leitungen treffen diese Reflexionen schon im Vorauslass beim Zylinder ein und erhöhen den Gegenstau. Mit der Turbinendüsenfläche kann damit die ausgenützte Energie in weiten Grenzen reguliert werden, während für lange Leitungen der Rohrquerschnitt allein entscheidend ist. Der Gegendruck im Auspuff muss anschliessend trotz der engen Turbinendüse rasch absinken und darf die Spülung des Motorzylinders nicht stören. Die kurze Leitung mit kleiner Entleerzeit ist darin überlegen. Ein Auspuffrohr, bei dem die Reflexion des Vorauslass-Stosses in die Spülperiode fällt, muss

ausgeschlossen werden.

Die gasdynamische Verwertung der Druckwellen erfolgt zweckmässig in einem Diffusor, der die Energie mit besserem Wirkungsgrad in eine Saugwirkung umsetzt als das offene Ende. Die reflektierte Verdünnungswelle besorgt die Spülung des Motors ohne Mithilfe eines Gebläses, vorausgesetzt, dass durch ein Rohrstück mit konstantem Querschnitt zwischen Zylinder und Diffusor die Saugwirkung in die Spülperiode gelegt wird. Ein vorzeitiges Eintreffen der Verdünnungswelle würde den Vorauslass-Stoss abbauen und die Energieauswertung verschlechtern. Da grosse Strömungsgeschwindigkeiten auftreten (Überschallbereich im Diffusor), so ist der Reibverlust zu berücksichtigen.

20.1.49

Ernst Jenny