

**METHODEN UND ANALYSE DER TECHNISCHEN UND
PSYCHOAKUSTISCHEN SCHALLEMISSION PNEUMATISCHER
KOMPONENTEN**

**METHODS AND ANALYSIS OF TECHNICAL AND
PSYCHOACOUSTIC NOISE OF PNEUMATIC COMPONENTS**

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Techni-
schen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Maximilian Waerder

Berichter/in: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Katharina Schmitz

Tag der mündlichen Prüfung: 20.11.2020

KURZFASSUNG

Die pneumatische Antriebstechnik zeichnet sich durch eine kostengünstige und robuste Art zur Realisierung von Linearbewegung im mittleren Kraftbereich aus. Dennoch weist die systemimmanente Verwendung von komprimierter Luft Nachteile in Form einer unangenehmen Geräuschentwicklung auf. Dies tritt insbesondere an Ventilen auf, an welcher die Druckluft entspannt wird, was zur direkten Anregung der Umgebungsluft führt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Verständnis der Schallentwicklung und -ausbreitung zu erlangen, um damit den wahrgenommenen Schall zu optimieren. Zum einen sollen gesetzliche Grenzwerte eingehalten werden und zum anderen soll die subjektive Wahrnehmung verbessert werden, ohne maßgeblich die dynamischen Eigenschaften der Systeme zu beeinträchtigen.

Dazu werden zunächst die relevanten technischen und psychoakustischen Parameter vorgestellt und diskutiert. Anschließend werden die Schallursachen und mögliche Übertragungsmechanismen erörtert und hinsichtlich aktueller Methoden der Schallminderung bzw. -beeinflussung bewertet. Auf Basis dieser Erkenntnisse werden unterschiedliche Ansätze zur Analyse der Schallemission pneumatischer Standardkomponenten und Teilsysteme beschrieben, durchgeführt und ihre Ergebnisse validiert. Dafür kommen neben analytischen Ansätzen auch numerische Simulationsmethoden zur Strömungssimulation und der vibroakustischen Schwingungsanalyse sowie die messtechnische Untersuchung zum Einsatz. Anhand bestehender Schallmessnormen werden geeignete Verfahren ausgewählt und drei Prüfstände entwickelt, um die ausgewählten Systeme akustisch zu vermessen. Die Messungen dienen neben dem Erkenntnisgewinn der Schallanalyse auch der Validierung der analytischen und numerischen Methoden. Aufgrund aufgezeigter Anomalien innerhalb der Messergebnisse wird für den psychoakustischen Parameter Schärfe ein neues Modell entwickelt und validiert.

Abschließend erfolgt ein Vergleich der vorgestellten Analysemethoden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit, Effizienz und möglichen Hindernissen zur Beurteilung der Schallemission. Damit liefert diese Arbeit einen Leitfaden zur systematischen Analyse der Schallemission pneumatischer Komponenten unter Einbeziehung von technischen und psychoakustischen Randbedingungen.

ABSTRACT

Pneumatic drive technology is characterized by cost-efficiency and robustness. The major advantage lies in the realization of linear movements with medium-range force requirements. Due to the use of pressurized air as the medium of energy transport there is the inherent disadvantage of noise emission yet. Usually, the typical exhaust noise which is exciting the surrounding air volume is described as loud and annoying.

This work intends to enhance the understanding and the analysis of this noise emission in order to optimize the perceived sound. Thus, it should be influenced to reach the statutory thresholds as well as the subjective noise perception without impairing the dynamic properties of the system.

For this purpose, the relevant technical and psycho-acoustic parameters and models are introduced and discussed firstly. Subsequently, the reasons for noise generation and possible transfer mechanism in pneumatic systems are derived and evaluated by the means of current noise reduction approaches. Based on those findings different methodologies for the analysis of pneumatic component and system noise emission are described, performed and validated. Besides analytical methods also numerical computational fluid dynamics, vibroacoustic analysis and measurements are conducted. Existing noise measurements standards build the foundation for the development of three different acoustic test bench designs. The measurements not only lead to the scientific knowledge gained but also validate the analytic and numerical approaches. Due to shown anomalies of certain measurement results an adapted model of the psychoacoustic parameter sharpness is developed and validated.

Finally, the conducted methodologies are compared to each other in terms of applicability, efficiency and possible barriers for pneumatic noise assessment. Thus, this work provides a guideline for the systematic noise analysis of pneumatic components taking technical and psychoacoustic constraints into account.