

## Konstruktion eines widerstandsarmen Atemventils

J. TEMMING und E. HAAS

Institut für Arbeitswissenschaft der TH Darmstadt  
(Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Rohmert)

Eingegangen am 4. April 1969

### *Design for a Breathing Valve with Reduced Air Resistances*

*Summary.* High resistances in a commonly used breathing valve led to the construction of a new valve. The new design, based on aerodynamic principles, allows the air to pass through the valve more easily. Laboratory and field trials have shown the new design to be satisfactory.

*Key-Words:* Measurement of Energy Expenditure — Breathing Resistance — Breathing Valve.

*Zusammenfassung.* Hohe Strömungswiderstände in einem bei Respirationsversuchen üblicherweise verwendeten Atemventil gaben den Anlaß zu einer grundlegenden Neukonstruktion. Durch eine aerodynamischen Grundsätzen angepaßte Atemstromführung konnte eine wesentliche Verminderung der Widerstandswerte erreicht werden. Das neue Ventil hat sich bei Untersuchungen im Labor und in der Praxis bewährt.

*Schlüsselwörter:* Energieumsatzmessung — Atemwiderstand — Atemventil.

Respirationsversuche zur Bestimmung des Energieumsatzes bzw. der respiratorischen Stoffwechselgrößen bei der Arbeit werden im allgemeinen in einem offenen System durchgeführt. Dabei bedingt sowohl die Verwendung eines Douglas-Sackes (Müller u. Heising, 1958) als auch die Gasuhr des Max-Planck-Institutes für Arbeitsphysiologie (Müller u. Franz, 1952) oder eine entsprechende Einrichtung einen unvermeidbaren Eingriff in die natürlichen Atemfunktionen, dessen Ausmaß u. a. von den konstruktiven und aerodynamischen Eigenschaften der verwendeten Apparaturen abhängig ist. Abgesehen von Fragen des Komforts kann sich insbesondere eine Erhöhung des Atemwiderstandes nachteilig auswirken. Matthes (1948) konnte zeigen, daß eine Erhöhung des Atemwiderstandes um nur 40 mm WS bereits zu deutlichen Veränderungen des Atemminutenvolumens, des Sauerstoffverbrauchs und des Ventilationsquotienten führte. Vergleichbare und zuverlässige Ergebnisse sind deshalb aus Respirationsversuchen nur dann zu erwarten, wenn der Atemwiderstand in größeren Bereichen des Atemminutenvolumens nicht nur konstant, sondern auch möglichst gering gehalten werden kann.

Obwohl bei der Durchführung einer Respirationsmessung diskontinuierliche Strömungsverhältnisse vorliegen, lassen sich die strömungstechnischen Eigenschaften der Versuchseinrichtungen mit hinreichender Genauigkeit auch in einem kontinuierlichen Luftstrom untersuchen: Nach Otis, Fenn u. Rahn (1950) kann für die natürliche Atemkurve (Strömungsgeschwindigkeit-Zeit-Diagramm) in guter Näherung eine Sinusform angenommen werden. Die dabei auftretende maximale Strömungsgeschwindigkeit beträgt das  $\pi$ -fache der Geschwindigkeit bei kontinuierlicher Strömung und übereinstimmendem Minutenvolumen.

Der Atemwiderstand der Expirationsseite einer kompletten Versuchseinrichtung (Gasuhr des Max-Planck-Institutes für Arbeitsphysiologie mit Faltenschlauch und Atemventil in der von Müller u. Franz (1952) beschriebenen Ausführung) wurde in einem kontinuierlichen Luftstrom gemessen. Die Ergebnisse der Messungen sind in der Tabelle zusammengestellt.

Tabelle. *Strömungswiderstände der Expirationsseite*

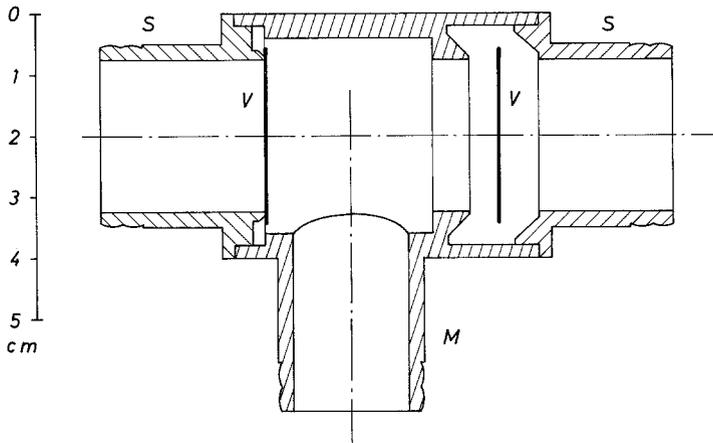
Ventilation (l/min)		Atemwiderstand (mm WS)	
kontinuierlich	diskontinuierlich	Gesamtsystem	Atemventil
50	15,9	24	10
100	31,8	39	17
150	47,8	65	32
200	63,7	102	56

In der letzten Spalte sind die Widerstandswerte für das Atemventil (Mittelwerte für sechs fabrikneue Ventile) allein eingetragen; diese Werte stehen in guter Übereinstimmung mit Meßergebnissen, die von Sieber u. Franz (1968) mitgeteilt wurden. Die Höhe dieser Werte gab den Anlaß, das Atemventil einer genaueren Überprüfung zu unterziehen und konstruktiv zu verbessern.

Als Ursachen für den recht hoch erscheinenden Atemwiderstand, insbesondere bei größerem Atemminutenvolumen, kommen im wesentlichen zwei konstruktive Merkmale des Ventils in Betracht:

1. Der freigegebene Strömungsquerschnitt ist auch bei voller Ventilöffnung zu gering, so daß der Strömungswiderstand mit steigender Ventilation (insbesondere oberhalb etwa 75 l/min) progressiv ansteigt.

2. Die Luftführung erscheint in mehrerer Hinsicht unzuweckmäßig (schematisch dargestellt in Abb. 1): Bei der Expiration wird der Atemstrom zunächst rechtwinklig aus dem Mundstutzen in Richtung des Schlauchansatzstutzens umgelenkt. Der dann senkrecht auf die Ventil-



*M = Mundstutzen    S = Schlauchstutzen    V = Ventilplatte*

Abb. 1. Querschnittsskizze des bisher verwendeten Atemventils

Fig. 1. Cross-section of the breathing valve in common use

Abb. 2. Atemspalt zwischen den Zahnreihen beim bisher verwendeten Gummimundstück

Fig. 2. Obstructed area in the commonly used rubber mouth piece

platte auftreffende, axial zum Schlauchstutzen verlaufende Luftstrom wird sodann senkrecht abgelenkt und als Radialstrom durch den Ventilspalt geführt, um dann nach seiner nochmaligen rechtwinkligen Umlenkung wieder in axialer Richtung den Ringspalt zwischen Ventilplatte und Gehäuse zu passieren. Schließlich wird eine weitere Richtungsänderung zum Einströmen in den Schlauchstutzen notwendig. Jede dieser Richtungsänderungen trägt zu den genannten Widerstandswerten bei.

Sieber u. Franz (1968) vergrößerten in einer Modifikation des beschriebenen Standardmodells die Ventilquerschnitte und ordneten Ein- und Ausatemstutzen in einem rechten Winkel zueinander an. Mit dieser Maßnahme wurde zwar der Atemwiderstand vermindert, das Gewicht und der Totraum des Ventils jedoch gleichzeitig von 47 auf 88 g bzw. von 32 auf 43 cm<sup>3</sup> vergrößert.

Ein weiterer Widerstand, der bei Respirationsversuchen sowohl mit der Standardausführung als auch mit der Modifikation nach Sieber u. Franz wirksam wird, der aber bei isolierter Betrachtung der Ventile leicht übersehen wird, ist in Abb. 2 deutlich zu erkennen: Die kreisförmige Öffnung des Mundstutzens steht bei Verwendung des üblichen Gummimundstücks nur zu etwa 40% zur Atmung frei, während die übrigen 60% von den Zähnen der Versuchsperson verdeckt werden. Die genannten Mängel werden bei Verwendung eines im Institut für Arbeitswissenschaft der TH Darmstadt entwickelten Ventils vermieden, dessen Querschnitt in Abb. 3 dargestellt ist. Abb. 4 zeigt das Ventil in Versuchstellung (bei der Aufnahme dieses Demonstrationsphotos wurde auf eine Nasenklemme verzichtet).

Das Ventilgehäuse ist in fünf Einzelstücken aus 3 mm starken Plexiglasplatten gebogen, die mit einem Spezialkleber (Acrifix 92) miteinander verklebt sind. Die bisher gebräuchlichen Plattenventile sind durch Klappenventile ersetzt. Die Klappen wurden so angeordnet, daß die Luftströmung sowohl an der Ein- als auch an der Ausatemseite an den Ventilplatten zwar wohl eine Richtungsänderung erfährt, die Ablenkung erfolgt aber jeweils genau in die anschließend geforderte Strömungsrichtung. Die Ventilplatten werden mit Schraubenfedern auf die Sitze gedrückt, die dank ihrer geringen Federkonstanten nach Überschreiten eines nahezu vernachlässigbaren Öffnungsdruckes das Ventil praktisch vollständig öffnen lassen und so auch schon bei niedriger Ventilation den vollen Ventilquerschnitt freigeben.

Die Ventilsitze sind bisher unmittelbar in das Ventilgehäuse eingeschnitten. Die Sitze für die Einatemseite können jedoch auch aus einem Rohrstück hergestellt und in das Gehäuse eingeschraubt werden. Damit ergibt sich die Möglichkeit, die rückwärtigen Enden dieser Rohrstücke als Schlauchansatzstutzen auszubilden, so daß das Ventil auch bei Messungen in geschlossenen Systemen verwendet werden kann.

Der Querschnitt des Mundstutzens wurde dem Dräger-Mundstück R 9447 angepaßt; dadurch wurde der Atemspalt gegenüber der bisherigen Ausführung mehr als verdoppelt. Bei Vergleichsuntersuchungen bestätigten zudem mehrere Versuchspersonen, daß die breiteren Gummizapfen dieses Mundstücks, die einerseits den freien Luftdurchgang zwischen den Zahnreihen und andererseits einen einwandfreien Sitz des Mundstücks gewährleisten, angenehmer empfunden werden.

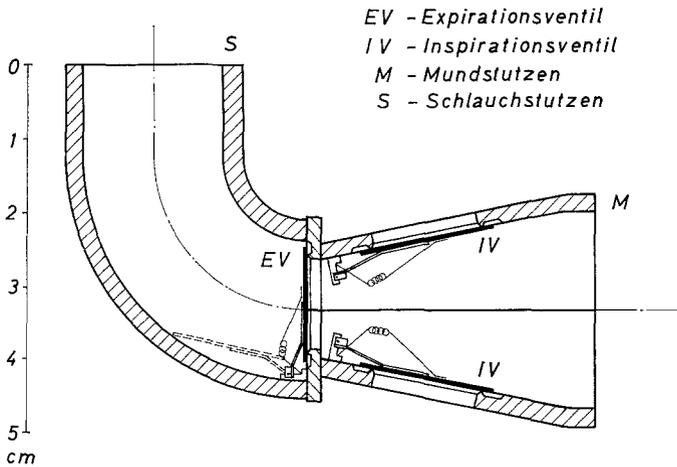


Abb. 3. Querschnittsskizze des neuen, widerstandsarmen Atemventils

Fig. 3. Cross-section of the new breathing valve

Abb. 4. Versuchsanordnung des neuen Atemventils

Fig. 4. The new breathing valve

In Abb. 5 sind Ergebnisse einer Reihe von Atemwiderstandsmessungen zusammengestellt. Die Kurve I zeigt die Werte der Expirationsseite des neuen Ventils. Die Kurve II, die Ergebnisse aus Messungen der gesamten Einrichtung (neues Atemventil + Faltenschlauch + Gasuhr) enthält, liegt nur wenig oberhalb der Kurve III, die den Atemventilwiderstand der Expirationsseite allein des früher benutzten Ventils charakterisiert.

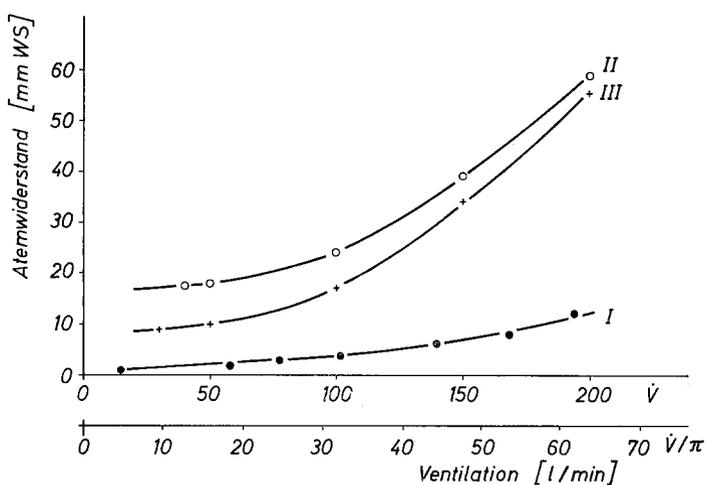


Abb. 5. Ergebnisse von Atemwiderstandsmessungen

Fig. 5. Measurements of air-resistances

Das Gewicht des neuen Ventils beträgt 40 g, der Totraum ca. 35 cm<sup>3</sup>. Die Neukonstruktion hat sich in zahlreichen Versuchen im Labor und in der Praxis, u. a. auch unter härtesten Arbeitsbedingungen in Untertagebetrieben des Steinkohlenbergbaus, bewährt.

### Literatur

- Matthes, H.-U.: Die Bedeutung des Atemwiderstandes für die Messung des respiratorischen Stoffwechsels. *Arbeitsphysiologie* **11**, 117—128 (1941).
- Müller, E. A., Franz, H.: Energieverbrauchsmessungen bei beruflicher Arbeit mit einer verbesserten Respirationsgasuhr. *Arbeitsphysiologie* **14**, 499—504 (1952).
- Heising, H.: Die Bestimmung des Energieumsatzes der beruflichen Arbeit im Respirationsversuch. *Methoden des Max-Planck-Instituts für Arbeitsphysiologie*, Dortmund 1958.
- Otis, A. B., Fenn, W. O., Rahn, H.: Mechanics of breathing in man. *J. appl. Physiol.* **2**, 592—607 (1950).
- Sieber, W., Franz, H.: Ein Atemventil mit niedrigem Atemwiderstand. *Int. Z. angew. Physiol.* **26**, 279—282 (1968).

Dr.-Ing. J. Temming  
 Institut für Arbeitswissenschaft  
 der Technischen Hochschule  
 6100 Darmstadt, Neckarstraße 4