

THE TONAL EFFECTS OF BELLOWS-REVERBERATIONS

DIE KLANGLICHEN AUSWIRKUNGEN VON BALGPLATTENSCHWINGUNGEN

Stig Magnusson

Translated by W. J. St. Jurgenson

For the preparation of the 8th ISO Congress lecture in Lisbon.

Zur Vorbereitung des Referates auf dem 8. ISO-Kongreß in Lissabon.

In modern organbuilding, the bellows system has been the object of much effort to stabilize the wind pressure in concussions, as well as in large demand. The development has gone toward smaller, lighter, bellows and regulating valves. In some cases, the trunks between the chests and bellows have been omitted, placing the bellows directly under the chest to avoid flow losses.

Im modernen Orgelbau hat man sich immer mehr bemüht, das Balg-System so zu bauen, daß der Winddruck möglichst stetig und gleich bleibt, sowohl bei stoßartigem Spiel wie auch bei großem Windverbrauch. Die Entwicklung ist dann in Richtung kleinerer, leichter Bälge und Regulierventile gegangen. Oft hat man auch auf die Kanäle zwischen Balg und Windlade verzichtet und die beiden zusammengebaut, um Strömungsverluste zu vermeiden.

It is possible, by using suitable springs, i.e. spring pressure, to build bellows systems which are almost absolutely stable when the wind pressure is observed on a water-manometer.

Mit geeigneter Federbelastung ist es dadurch möglich geworden, Balgsysteme mit fast vollkommen stetigem Druck zu bauen, wenn man den Druck auf einem Wasserdruckmesser beobachtet.

These "good" bellows however, often have a tendency to other problems which are sometimes quite obvious. The problems in question are the pressure deviations, which are small compared to the voicing pressure and often vary so quickly that the water-manometer doesn't register them. They are apparent when holding a key, as the so-called unsteady wind. Upon analyzing them, they are found to be periodical and to have the same frequency for a given bellows even if the bellows is subject to different stimuli. These periodical pressure deviations, i.e. vibrations, can only be explained as the natural vibration of the bellowsplate.

Diese „guten“ Bälge haben aber oft eine Tendenz zu anderen Störungen, die manchmal sehr auffallend sind. Es handelt sich um Druckänderungen, die klein im Verhältnis zum Intonationsdruck sind und oft auch so schnell vor sich gehen, daß ein Wasserdruckmesser sie nicht registriert. Sie wirken sich als sog. „unruhiger Wind“ aus, hörbar beim Anhalten eines Tones.

Wenn man diese Druckänderungen analysiert, findet man, daß sie periodisch sind und für jeden Balg immer dieselbe Frequenz haben, auch wenn der Balg verschieden angeregt wird. Diese periodischen Druckänderungen, d.h. Schwingungen, können nur als *Eigenschwingung der Balgplatte* erklärt werden.

Undamped, Free Vibration.

Ungedämpfte, freie Schwingung

We can compare a simple regulating bellows with the elementary example for a harmonic vibration (a weight hanging on a spring). The springing is determined by the spring constant c .

Wir betrachten ein einfaches Schwimmerbalgsystem im Vergleich mit dem Elementarbeispiel für eine harmonische Schwingung (ein Gewicht, das an einer Feder hängt). Die Federung ist von der Federkonstanten c bestimmt.

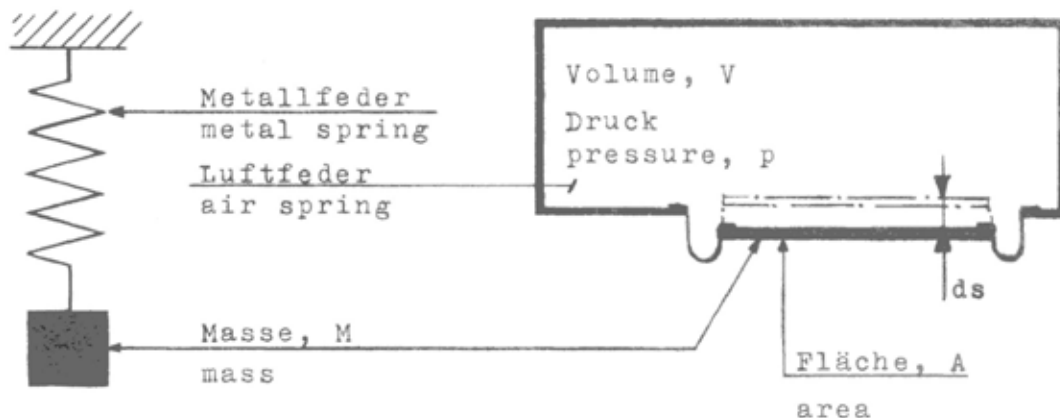


Fig. 1

Stig Magnusson: Die klanglichen Auswirkungen von Balgplattenschwingungen

If the weight can oscillate freely without dampening or other outside force, the vibration has the following frequency:

$$\omega_e = \sqrt{\frac{c}{M}}$$

a value also applicable to the bellowsplate.

In this case however, the spring constant c must be determined for the enclosed air:

the spring constant = $A \cdot dp/ds$ = change of force on the bellowsplate/movement of same.

The conditional equation for air in an adiabatic*) process is:

$$p \cdot V^x = \text{constant, in which}$$

$$x = \text{adiabatic constant.}$$

Derivation and elimination of the constant results in:

$$dp/dV = -x \cdot p/V$$

Change of volume through movement of the bellowsplate:

$$dV = -A \cdot ds$$

The spring constant is therefore:

$$c = A \cdot dp/ds = A^2 \cdot p^x / V$$

Although we find the variables p and V in c , we can consider the value for c as a constant.

The natural frequency of the bellowsplate is therefore:

$$\omega_e = A \cdot \sqrt{\frac{p \cdot x}{V \cdot M}}$$

Using $p = 760 \text{ mm Hg} = 1,03 \text{ kp/cm}^2$, $x = 1,4$ and $A \text{ m}^2$, $V \text{ m}^3$, $M \text{ kg}$ we get

$$\omega_e = \frac{60 \cdot A}{\sqrt{V \cdot M}} \text{ Hz / cps}$$

An example:

$$\text{Bellowsplate dimensions } A = 0,4 \times 1,0 \text{ m} = 0,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Weight of bellowsplate including regulation and guiding parts } M, = 4 \text{ kg}$$

$$\text{Bellows volume } V = 1,6 \times 1,0 \times 0,1 \text{ m}^3 = 0,16 \text{ m}^3$$

$$\omega_e = 30 \text{ cps.}$$

Wenn das Gewicht frei schwingt und keine Dämpfung oder äußeren Kräfte vorhanden sind, hat die Schwingung die folgende Frequenz:

ein Wert, der auch für die Balgplatte gültig ist.

Hier muß aber die Federkonstante c für die im Balg eingeschlossene Luftmenge zuerst ausgerechnet werden:

Die Federkonstante = $A \cdot dp/ds$ = Kraftänderung auf der Balgplatte/Verschiebung der Balgplatte.

Die Zustandsgleichung für Luft beim adiabatischen*) Prozeß ist

$$p \cdot V^x = \text{konstant,}$$

wobei x = adiabatenkonstant.

Ableitung und Elimination der Konstante gibt

Volumenänderung des Balges bei Verschiebung der Balgplatte

Die Federkonstante ist also

Obwohl wir die veränderlichen Werte p und V in c wiederfinden, können wir den Wert für c als Konstante ansehen.

Die Eigenschwingung der Balgplatte hat also die folgende Frequenz:

Mit $p = 760 \text{ mm Hg} = 1,03 \text{ kp/cm}^2$, $x = 1,4$ und $A \text{ m}^2$, $V \text{ m}^3$, $M \text{ kg}$ erhält man

Ein Berechnungsbeispiel:

$$\text{Balgplattengröße } A = 0,4 \times 1,0 \text{ m} = 0,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Balgplattengewicht einschl. der Regulier- und Führungsteile } M = 4 \text{ kg}$$

$$\text{Balgvolumen } V = 1,6 \times 1,0 \times 0,1 \text{ m}^3 = 0,16 \text{ m}^3$$

$$\omega_e = 30 \text{ Hz}$$

*) "adiabatic" is called the condition's change of a gas without influx or elimination of heat.

*) „adiabatisch“ nennt man die Zustandsänderung eines Gases ohne Zu- oder Abfuhr von Wärme. (Knaur)

Stig Magnusson: Die klanglichen Auswirkungen von Balgplattenschwingungen

phone - loudspeaker can occur. Even if no vibrations of its own should occur, $K(t) - 3$ can effect an increase of above $-1, -2$.

Damping Fd

Damping consists of 2 components. One of which is velocity dependent (viscosity damping), and the other friction dependent ("Coulomb's" damping). For all types of bellows, the viscosity damping is probably of little importance because the vibrations amplitude — and velocity — is usually very small. Friction damping is dependent upon the type of bellows and can be considerable. A "Schwimmer" bellows has much less damping than a regulator with folds. The former vibrates more easily, stopping not as quickly after a sudden stimulus such as depressing and releasing a key.

The constructional friction not only has a damping effect on the oscillating bellowsplate, but can also bind somewhat above or below the median, through which the static pressure of the bellows cannot remain constant. You might call this "outside" friction.

It should also be possible to add on "inside" damping to a lightly damped bellows (e. g. a "Schwimmer" bellows). This would limit to a certain degree the tendency to vibrate with-influencing the static pressure (fig. 2).

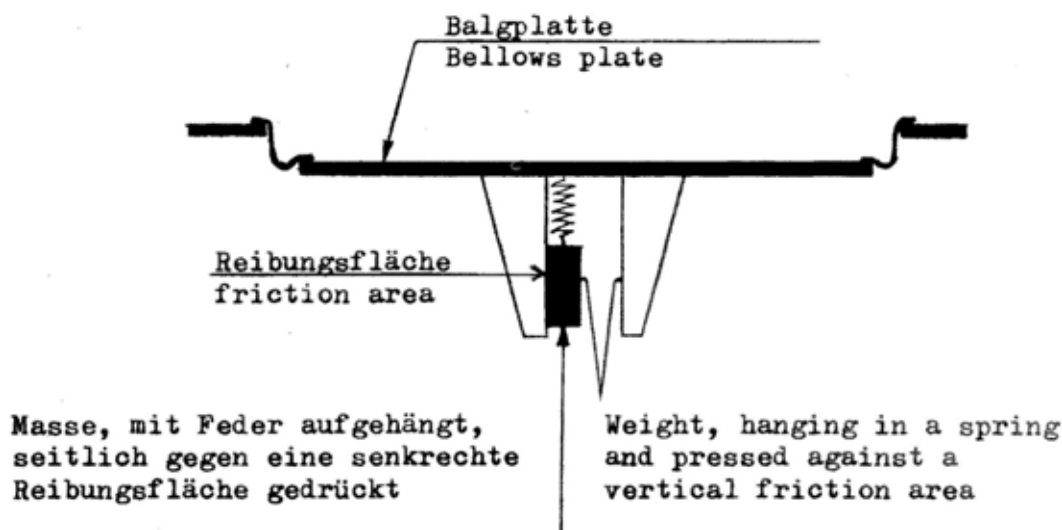


Fig. 2

Even if it were possible to determine and remedy obviously bad characteristics of a bellows system, the main question remains which characteristics are positive and agreeable and therefore to be sought. However, the question is herewith greatly enlarged. For example by acoustical influence, perception of the human ear and many other questions.

Your own notes for the discussion:

Ventil kann eine Rück-Koppelung, ähnlich wie bei Mikro-phon/Lautsprecher, auftreten. Auch wenn eigene Schwingungen nicht zustande kommen, kann sich $K(t) - 3$ auf -1 und -2 oben vergrößernd auswirken.

Dämpfung Fd

Die Dämpfung besteht aus 2 Komponenten, deren eine geschwindigkeitsabhängig (Viskositätsdämpfung) ist, die andere ist reibungsabhängig („Coulombsche“ Dämpfung). Für alle Balgtypen ist wahrscheinlich die Viskositätsdämpfung von geringer Bedeutung, weil die Schwingungsamplitude und dadurch die Geschwindigkeit meistens ganz klein ist. Die Reibungsdämpfung aber ist von der Bauart des Balges abhängig und kann manchmal beträchtlich sein. Ein Schwimmerbalg hat eine bedeutend kleinere Dämpfung als ein Faltenbalg; er kommt dadurch leichter ins Schwingen und hört nicht so schnell auf nach einer punktaktigen Anregung wie z. B. einem Tastenanschlag.

Die Reibung, die mit der Konstruktion eines Balges zusammenhängt, hat nicht nur eine dämpfende Auswirkung auf die hin- und hergehende (schwingende) Balgplatte, sondern kann sie auch etwas unterhalb oder oberhalb ihrer Mittellage festhalten, wodurch der statische Druck des Balges nicht gleich bleiben kann. Man könnte hier von „äußerer“ Reibung sprechen.

Es sollte auch möglich sein, einen dämpfungsarmen Balg (z.B. einen Schwimmerbalg) mit einer „inneren“ Dämpfung zu versehen, wodurch die Schwingfähigkeit gewissermaßen begrenzt wird, ohne daß man den statischen Druck beeinflusst (Fig. 2).

Auch wenn man auffallend ungünstige Eigenschaften der Balgsysteme feststellen und beseitigen könnte, ist doch die Hauptfrage, welche Eigenschaften man als positiv und angenehm empfindet und denen man also nachstreben sollte. Damit ist aber die Fragestellung auch wesentlich verbreitert worden, zum Beispiel durch akustischen Einfluß, Hörempfindung des menschlichen Ohres und manche andere Fragen.

Ihre eigenen Notizen für die Diskussion: