



Tonhöhenänderung von Orgelpfeifen bei Temperaturänderung

Der Temperatureinfluss auf die Stimmung von Musikinstrumenten ist gut erforscht. Beim Spielen von Holzblasinstrumenten ist nach einer Pause ein Absacken der Stimmung sofort zu bemerken, wenn im Anfangszeitpunkt des Einblasens die Luft von den Wänden des Instruments her kälter ist. Darum wird ein Spieler vor dem Einstimmen einige Zeit in das Instrument hineinblasen, um konstante thermische Verhältnisse zu erhalten.

Bei Orgellippenpfeifen ist das Problem komplizierter, weil sich die Luft ausdehnt, wenn sie aus dem Pfeifenschlitz kommt. Um die Analyse zu vereinfachen, soll nur das Phänomen der Temperaturänderung betrachtet werden, wobei sich überwiegend die Pfeifenlänge und die Schallgeschwindigkeit verändern.

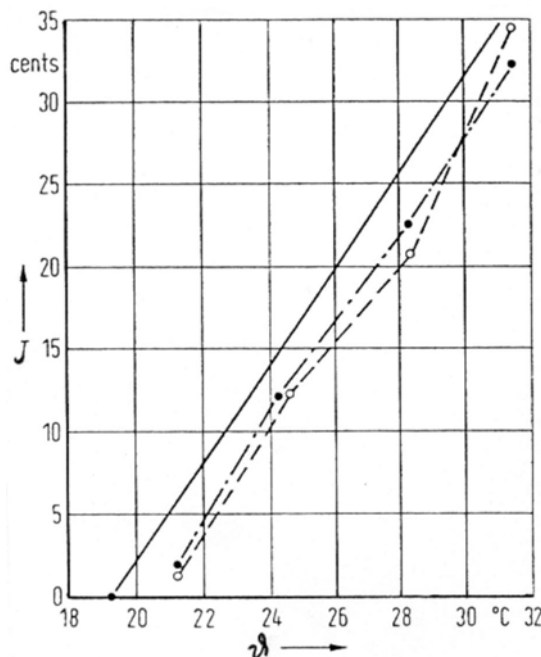
Merke:

Eine **Temperaturzunahme** erzeugt eine **Ausdehnung des Metalls** der Orgelpfeifen und eine **Erhöhung der Schallgeschwindigkeit** um $\Delta c = 0,6 \cdot \vartheta \text{ } ^\circ\text{C m/s}$. Die Schallgeschwindigkeit ist $c = 331 + 0,6 \cdot \vartheta \text{ } ^\circ\text{C}$ in m/s.

Tonverantwortliche wollen wissen: Wie wirkt sich das auf die Stimmung (Tonhöhenveränderung) aus?

Eine **Ausdehnung des Metalls** und somit eine Vergrößerung der Orgelpfeife muss eine größere Wellenlänge und somit eine **niedrigere Frequenz** des Pfeifentons ergeben. Eine höhere **Schallgeschwindigkeit** ($c = \lambda \cdot f$) muss eine **höhere Frequenz** des Pfeifentons zur Folge haben, denn $f \sim c$. $\lambda = c / f$

Abbildung aus: U. Pisani, "Effect of a Local Temperature Change in an Organ Pipe", Acustica, Vol.25 (1976), pp.133 ff.



Theoretische und experimentelle Werte der Tonhöhenänderung J in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur für zwei Orgelpfeifen mit verschiedenem Durchmesser zu Längen-Verhältnis.

- - - - - Durchmesser zu Länge $d/l = 0,085$
- · - · - Durchmesser zu Länge $d/l = 0,074$
- Theoretische Berechnung

Anfangstemperatur $19,2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Pfeifenlänge $76,5 \text{ cm}$

Berechnete Werte bei einer Temperaturzunahme von $\Delta\vartheta$:

$\Delta\vartheta$ in $^\circ\text{C}$	J_T in Cent	J_L in Cent
0	± 0	$\pm 0,00$
5	+14,65	-0,20
10	+29,05	-0,40
15	+43,22	-0,60
20	+57,16	-0,80

J_T ist die Änderung der Tonhöhe in Cents durch die Änderung der Schallgeschwindigkeit bei konstanter Pfeifenlänge. J_L ist die Änderung der Tonhöhe in Cents durch die Änderung der Länge des Pfeifenmetalls bei konstanter Schallausbreitung.

Die Änderung der Tonhöhe wird so gut wie allein von der Änderung der Schallgeschwindigkeit durch die Temperatur bestimmt. Die Tonhöhenänderung durch die Ausdehnung des Metalls beträgt **davon** nur 1,4 %.

Der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient der Zinn-Blei-Legierung ist mit $\alpha = 26 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{K}$ bei $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ äußerst gering.

Merke:

1. Bei **Erhöhung der Umgebungstemperatur** um $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ steigt die **Tonhöhe stark** durch die **Erhöhung der Schallgeschwindigkeit** um **(+)29 Cents**; das ist etwa $1/3$ Halbton.
2. Bei **Erhöhung der Umgebungstemperatur** um $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ fällt die **Tonhöhe minimal** durch die **Ausdehnung des Pfeifenmetalls** um **(-)0,4 Cents**; das ist dagegen **wirklich unbedeutend**. 1 Cent = $1/100$ Halbton.