



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**12.10.2005 Patentblatt 2005/41**

(51) Int Cl.7: **B25D 17/24, B25D 17/06**

(21) Anmeldenummer: **04101433.3**

(22) Anmeldetag: **07.04.2004**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR**  
**HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL HR LT LV MK**

• **Würsch, Christoph**  
**9470 Werdenberg (CH)**  
 • **Krebs, Stephan**  
**DE-86899 Landsberg (DE)**

(71) Anmelder: **HILTI Aktiengesellschaft**  
**9494 Schaan (LI)**

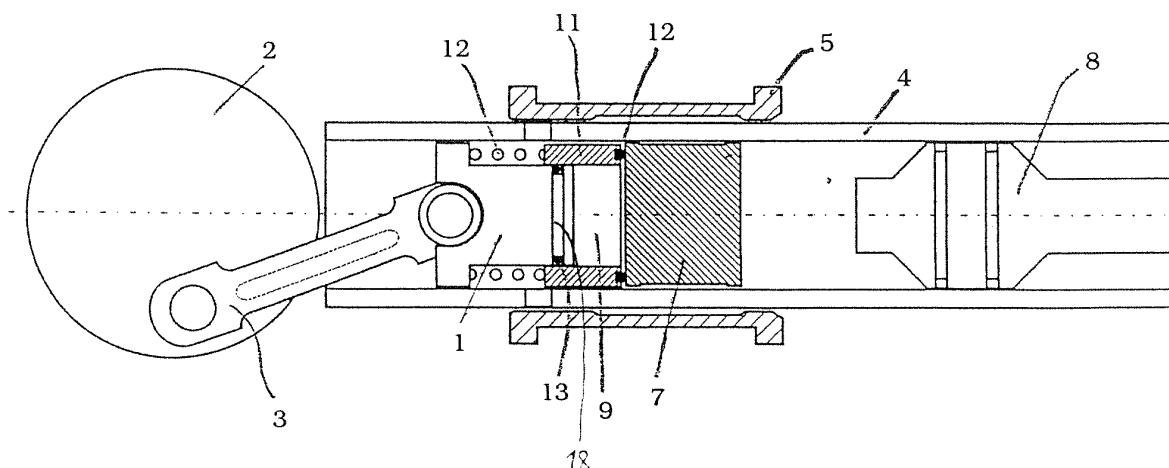
(74) Vertreter: **Wildi, Roland**  
**Hilti Aktiengesellschaft,**  
**Corporate Intellectual Property,**  
**Feldkircherstrasse 100,**  
**Postfach 333**  
**9494 Schaan (LI)**

(72) Erfinder:  
 • **Schmitzer, Harald**  
**9470 Werdenberg (CH)**

(54) **Verfahren und Einrichtung zur Reduktion von Druckspitzen in einer Handwerkzeugmaschine mit electropneumatischem Schlagwerk**

(57) Erfindungsgegenstand ist ein electropneumatisches Schlagwerk, insbesondere für Bohr- und/oder Meisselhämmer sowie ein Verfahren zur Reduktion von Druckspitzen in einem Schlagwerk, bei dem ein elektromotorisch angetriebener Erregerkolben (1) über eine von diesem bei einem Arbeitshub komprimierte Gasfeder (9) auf einen ein Werkzeug schlagend antreibenden

Zwischenkolben (7) wirkt. Erfindungsgemäß ist zwischen dem Erregerkolben (1) und dem Zwischenkolben (7) eine die Kraftkennlinie der Gasfeder (9) linearisierende zusätzliche, elastische (mechanische) Druckfeder (12) eingebaut. Kraftspitzen der Luftfeder (9), die einerseits Ursache für Gerätevibrationen sind und andererseits die Lager und Antriebselemente des Erregerkolben stark belasten, werden reduziert.



**Fig. 2**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reduktion von Druckspitzen in einem elektropneumatischen Schlagwerk einer Handwerkzeugmaschine, bei dem ein elektromotorisch angetriebener Erregerkolben über eine von diesem komprimierte Gasfeder auf einen Zwischenkolben wirkt, der seinerseits ein Werkzeug schlagend antreibt.

**[0002]** Die Erfindung bezieht sich außerdem auf ein elektropneumatisches Schlagwerk einer Handwerkzeugmaschine mit einem elektromotorisch angetriebenen Erregerkolben, der über eine von diesem bei einem Arbeitshub komprimierte Gasfeder auf einen ein Werkzeug schlagend antreibenden Zwischenkolben wirkt.

**[0003]** Unter Handwerkzeugmaschine wird im Zusammenhang mit der Erfindung vor allem ein elektropneumatischer Bohr- und/oder Meisselhammer verstanden. Bei diesen Geräten wird durch einen Elektromotor ein Erregerkolben über eine Exzenterwelle (Pleuelantrieb) oder eine Taumelscheibe zyklisch hin- und hergehend angetrieben. Der Erregerkolben wirkt über eine von diesem komprimierte Gas- insbesondere Luftfeder auf einen Flugkolben, der entweder direkt auf einen Werkzeughalter und damit auf ein Werkzeug prallt, gegebenenfalls über ein dazwischengeschaltetes weiteres Luft-Stoßpolster oder über einen Döpper, der dann seinerseits eine Stoßwelle auf das Werkzeug weiterleitet, mit dem der Abbau eines Untergrunds erfolgt.

**[0004]** Die Fig. 5 der beigefügten Zeichnungen veranschaulicht das grundsätzliche Prinzip eines herkömmlichen elektropneumatischen Schlagwerks, wie es beispielsweise bei Bohr- und/oder Meisselhämmern zum Einsatz kommt. Im Bereich eines antriebsseitigen Endes eines Führungsrohrs 4 wird ein Erregerkolben 1 durch einen über eine Exzenterwelle oder -welle 2 durch einen Pleuel 3 zyklisch, d. h. hin- und hergehend, angetrieben. Die Fig. 5 veranschaulicht die hintere oder obere Totpunktstellung des Erregerkolbens 1. Bei einer Drehbewegung des Pleuels 3 beginnt der Erregerkolben 1 seinen Arbeitshub und komprimiert dabei ein Luftpolster oder Stoßpolster, im Folgenden als Luftfeder 9 bezeichnet, sofern zuvor Schnauföffnungen 6, die insbesondere zur Leerlaufabschaltung des Schlagwerks dienen, durch eine axial verschiebbliche Schieber- oder Ventilhülse 5 verschlossen sind. Über die Luftfeder 9 wirkt der Erregerkolben 1 auf einen Flugkolben 7, der stark beschleunigt wird und dessen kinetische Energie entweder über ein Stoßpolster 10 oder gegebenenfalls direkt auf einen Döpper 8 wirkt, der die dabei generierte Stoßwelle auf einen (nicht gezeigten) Werkzeughalter bzw. damit auf ein Werkzeug, insbesondere einen Meissel, überträgt.

**[0005]** Der in Fig. 5 gezeigte prinzipielle Aufbau eines elektropneumatischen Schlagwerks ist nur beispielhaft zu verstehen. So sind auch Schlagwerke dieser Art bekannt, bei denen der Flugkolben 7 direkt auf einen Werkzeughalter bzw. ein Werkzeug, also ohne Zwischenschaltung eines Döpfers, einwirkt. Auch kann die so genannte Leerlaufabschaltung, hier dargestellt mittels Schnauflöchern 6 und Ventilhülse 5, völlig anders gestaltet sein, beispielsweise ersetzt sein durch eine Regleranordnung mittels der sich der Druck in der Luftfeder 9 und damit die Einzelschlagenergie regeln lassen. Für die folgenden allgemeinen Betrachtungen, die zur Erfindung hinführen sollen, wird davon ausgegangen, dass der prinzipielle Aufbau des elektropneumatischen Schlagwerks dem in Fig. 5 dargestellten und oben beschriebenen entspricht.

**[0006]** Wird der Flugkolben 7 bei einem Arbeitshub des Erregerkolbens 1 über die Luftfeder 9 nach vorne, d. h. in Richtung Döpper 8 beschleunigt, so trifft er mit einer Endgeschwindigkeit  $v_{\text{vor}}$  auf den Döpper 8 auf und wird an diesem reflektiert. Der Stoß generiert eine Stoßwelle, die sich durch den Döpper 8 bis an die Werkzeugspitze fortpflanzt und dort die eigentliche Abbauarbeit leistet. Nach dem Stoß fliegt der Flugkolben 7 mit einer reduzierten Geschwindigkeit zurück. Der Quotient zwischen der Geschwindigkeit nach und vor dem Stoß am Döpper 8 wird als Stoßzahl  $k$  definiert:

$$k = \frac{v_{\text{nach}}}{v_{\text{vor}}} \approx 0.2 \dots 0.3$$

**[0007]** Die Rückwärtsbewegung des Erregerkolbens 1 eilt derjenigen des Flugkolbens 7 voraus, so dass zwischen Erregerkolben 1 und Flugkolben 7 ein Unterdruck entsteht, der den Flugkolben 7 nach hinten in Richtung Erregerkolben 1 beschleunigt. Erreicht der Erregerkolben 1 den hinteren Umkehrpunkt, so bewegt sich der Flugkolben 7 immer noch in Richtung Erregerkolben 1. Dadurch wird die Luftfeder 9 stark komprimiert. Es entstehen dabei sowohl hohe Druckspitzen, als auch hohe Drehmomentspitzen in den Lagern des Pleuels 3 sowie insbesondere auf der Erregerkolbenwelle (nicht gezeigt). Diese Druckspitzen erzeugen im gesamten Gerät mehr oder weniger starke Vibrationen.

**[0008]** Wegen dieser hohen Druckspitzen und der dadurch erzeugten hohen Momente an der Antriebswelle ist es erforderlich, die Wellen und Zahnräder bisher bekannter elektropneumatischer Schlagwerke nach diesen Momenten auszulegen, d. h., diese Spitzenmomente mit ihren Lastwechseln definieren den Durchmesser der Wellen bzw. die Dimensionierung von Getriebeelementen.

**[0009]** Diese hohen Druckspitzen stellen aber auch hohe Anforderungen an die Dichtelemente im Schlagwerk. Die grundsätzlich mögliche Leistung eines Schlagwerks der genannten Art ist u. a. auch durch die maximal erreichbaren Drücke vorgegeben.

**[0010]** Ein spezielles Problem sind auch die durch die hohen Druckspitzen verursachten Vibrationen, die vor allem

das Hand-Arm-System eines Gerätebenutzers belasten.

**[0011]** Aufgrund dieser Beobachtungen liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, Druckspitzen im elektropneumatischen Schlagwerk einer Handwerkzeugmaschine zu reduzieren.

**[0012]** Eine Lösung dieser Aufgabe würde nicht nur eine Verminderung der Vibrationswerte am Hand-Arm-System mit sich bringen, sondern auch bei gleicher oder höherer Schlagleistung die Möglichkeit eröffnen, die Getriebeelemente des Geräts schlanker und damit das Gerät insgesamt leichter bauen zu können.

**[0013]** Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung verfahrensmäßig dadurch gelöst, dass die Kennlinie der Kraft der Luftfeder beim Rückprall des Zwischenkolbens, also des Flugkolbens bzw., falls dieser nicht vorhanden ist, des dann als Zwischenkolben wirkenden Döppers, durch die Wirkung einer mechanischen Druckfeder linearisiert wird. Dieses Verfahren eignet sich insbesondere für die Anwendung bei elektropneumatischen Schlagwerken in Bohr- und/oder Meisselhämmern.

**[0014]** Ein elektropneumatisches Schlagwerk einer Handwerkzeugmaschine mit einem elektromotorisch angetriebenen Erregerkolben, der über eine in diesem bei einem Arbeitshub komprimierte Gas- insbesondere Luftfeder auf einen am Werkzeug schlagend antreibenden Zwischenkolben wirkt, ist erfindungsgemäß gekennzeichnet durch ein zwischen dem Erregerkolben und dem Zwischenkolben wirkende zusätzliche, mechanische, elastische Druckfeder. Diese zusätzliche elastische Druckfeder kann am Erregerkolben oder am Zwischenkolben, insbesondere am Flugkolben angebracht sein.

**[0015]** Vorteilhaft ist es, die am Erregerkolben oder am Zwischenkolben angebrachte Druckfeder über eine den jeweiligen Kolbenmantel umgebende, relativ zum Kolben axial verschiebbliche Prellhülse auf den Zwischenkolben einerseits bzw. den Erregerkolben andererseits einwirken zu lassen.

**[0016]** Zweckmäßiger- und vorteilhafterweise sind die Federhärten bzw. Federkennlinien der Luftfeder einerseits und der elastischen Druckfeder andererseits so aufeinander abgestimmt, dass Druckspitzen auf den Antrieb des Erregerkolbens im Vergleich zu einem druckfederlosen Schlagwerk deutlich, insbesondere auf einen Minimalwert, reduziert werden. Dazu ist es vorteilhaft, die elastische Druckfeder so auszulegen, dass sie bei maximaler Einzelhubkompression der Luftfeder beim Rückflug des Zwischenkolbens, d. h. bei geringstem Abstand zwischen Erreger- und Zwischenkolben, weitgehend vollständig komprimiert wird.

**[0017]** Wie sich aus der nachfolgenden Beschreibung noch ersehen lässt, ist es von besonderem Vorteil, eine Umlaufdichtung zwischen der freien Umrandungsstirnfläche der Prellhülse und der gegenüberstehenden Stirnfläche des Zwischen- bzw. des Erregerkolbens vorzusehen.

**[0018]** Eine Ausführungsform der Erfindung, die labormäßig erprobt wurde und die die derzeit beste bekannte Lösungsvariante darstellt, wird nachfolgend unter Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 in einer Schnittdarstellung den prinzipiellen Aufbau eines elektropneumatischen Schlagwerks mit parallel geschalteter, elastischer, mechanischer Druckfeder in hinterer Totpunktposition des Erregerkolbens;

Fig. 2 eine Zwischenposition im Arbeitshub des Erregerkolbens, bei der die elastische Druckfeder zu wirken beginnt, wenn der Flugkolben und eine Prellhülse am Erregerkolben aufeinander treffen;

Fig. 3 eine Hubposition des Erregerkolbens, insbesondere den unteren oder vorderen Totpunkt, bei der die erfindungsgemäße elastische Druckfeder vollständig oder weitgehend vollständig komprimiert ist;

Fig. 4 die Zunahme der Kraft zwischen Flug- und Erregerkolben, d. h. die durch die Druckkraft der Luftfeder aufgebaute Kraft (oben) bzw. die Zunahme der Kraft (unten), beides aufgetragen über dem Abstand zwischen Flugkolben und Erregerkolben bei zurückfahrendem Erregerkolben und nachfolgendem Flugkolben.

**[0019]** Die anhand der Fig. 5 erläuterten Bauteile bzw. die grundsätzliche Funktionsweise des elektropneumatischen Schlagwerks werden nicht erneut erläutert. In den Fig. 1 bis 3 sind insoweit die gleichen Bezugshinweise eingetragen.

**[0020]** Anhand der Schnittdarstellungen eines elektropneumatischen Schlagwerks mit gemäß der Erfindung parallel geschalteter Druckfeder, wie in unterschiedlichen Arbeitspositionen in den Fig. 1 bis 3 dargestellt, werden nachfolgend die erfindungssignifikanten Merkmale besonders erläutert.

**[0021]** Wie beispielsweise die Fig. 1 zeigt, umgibt den verschlankten Erregerkolben 1 eine an diesem über eine Ringschulter 15 abgestützte elastische Druckfeder 12, die insbesondere als Schraubenfeder oder Tellerfeder ausgeführt sein kann. Andererseits wirkt die elastische Druckfeder 12 auf eine am Außenumfang im Führungsrohr 4 geführte auf dem verjüngten Erregerkolben 1 axial verschiebbliche Prellhülse 11, an deren freier, stirnseitiger Umlaufläche ein erster Dichtring 16 eingesetzt ist. Ein zweiter, innerer Dichtring 13 sitzt in einer Ringnut im Bereich der Stirnfläche des Erregerkolbens 1 und sorgt für eine Abdichtung zwischen dem Erregerkolben 1 und der axial verschiebblichen Prellhülse 11. Die Fig. 1 zeigt die der Darstellung in Fig. 5 entsprechende Leerlaufstellung; der Erregerkolben 1 steht im oberen oder hinteren Totpunkt; die Schnauföffnungen 6 sind bei nach vorne oder unten verschobener Steuerhülse 5 freige-

geben.

**[0022]** Die Fig. 2 veranschaulicht eine Zwischenposition des Erregerkolbens 1 bei dessen Rückwärtshub, und zwar zu dem Zeitpunkt, zu dem der nachfolgende Flugkolben 7 die bei entlasteter Druckfeder 12 vorstehende Prellhülse 11 erreicht, also dem Zeitpunkt, zu dem die elastische Druckfeder 12 zu wirken beginnt. Die Luftfeder 9 ist jetzt im Raum innerhalb der vorstehenden Prellhülse 11 gefangen. Die in den Erregerkolben 1 (oder auch in den Flugkolben 7) integrierte elastische Druckfeder 12 ist jetzt parallel zur Luftfeder 9 geschaltet und wird komprimiert. Dadurch wird die Kennlinie der Luftfeder 9 linearisiert, was bewirkt, dass die Druck- bzw. Kraftspitzen geglättet und reduziert werden. Die Beschleunigungsphase beim Rückwärtshub des Erregerkolbens 1 wird verlängert und gleichmäßiger und kann dem Optimum einer konstanten Beschleunigungsphase relativ nahe kommen, so dass gegenüber den spitzenartigen Beschleunigungen durch die Kompression der Luftfeder 9 allein eine wesentliche Verbesserung erreicht wird.

**[0023]** Mit zunehmender Annäherung des Flugkolbens 7 an den Erregerkolben 1 wird, wie die Fig. 3 zeigt, die Luftfeder 9 stark komprimiert. Gleichzeitig wird aber auch durch die Verschiebung der Prellhülse 11 nach hinten die elastische Druckfeder 12 zusammengepresst. Noch bevor die Druckfeder 12 vollständig komprimiert ist, steigt die Kennlinie der Luftfeder 9 so stark an, dass letztere die Kennlinie der beiden parallel wirkenden Federn dominiert.

**[0024]** Anhaltspunkte für eine optimale Dimensionierung der zusätzlichen elastischen Druckfeder 12 sowie für eine angepasste Optimierung der Flugkolbenbeschleunigung mit einer gleichzeitigen maximalen Reduzierung der auf das Hand-Arm-System eines Benutzers übertragenen Vibrationen werden nachfolgend dargestellt.

**[0025]** Unter der zulässigen Annahme, dass das Gas (Luft) in der Luftfeder 9 isentrop komprimiert wird, gilt:

$$p \cdot V^{\kappa} = \text{const}$$

**[0026]** Dabei bedeutet p den Druck in der Luftfeder 9 und  $\kappa$  den Isentropen-Koeffizienten, der für Luft etwa  $\kappa = 1,4$  beträgt. V bezeichnet das Volumen der Luftfeder, d. h. dieses Volumen ist abhängig vom Abstand x zwischen der dem Erregerkolben 1 zugewandten Hinterfläche 17 des Flugkolbens 7 und der gegenüberliegenden Vorderfläche 18 des Erregerkolbens 1. Es gilt:

$$V(x) = A \cdot x = \frac{d^2}{4} \cdot x$$

dabei sind:

x: der variable Kompressionweg der Luftfeder oder der Abstand zwischen der Vorderfläche 18 des Erregerkolbens 1 und der Hinterfläche 17 des Flugkolbens 7;

A: die Querschnittsfläche des Flugkolbens (bzw. Erregerkolbens);

d: der Durchmesser des Flugkolbens (bzw. Erregerkolbens).

**[0027]** Damit ergibt sich für die Federkennlinie der Luftfeder  $F_{LF}(x)$  eine hyperbolische Funktion:

$$F_{LF}(x) = A \cdot p_0 \cdot \left( \frac{x_0}{x} \right)^{\kappa}$$

**[0028]** Darin bezeichnet  $x_0$  zunächst grundsätzlich die Position, bei der der Druck  $p_0$  gemessen wird. Wird für  $p_0$  der Außendruck angesetzt (1 bar), so bezeichnet  $x_0$  die mittlere Schlagwerkslänge, da im Betriebszustand bei maximalem Abstand zwischen Erregerkolben 1 und Flugkolben 7 ein Unterdruck erzeugt wird.

**[0029]** Die elastische Druckfeder 12 andererseits hat eine mehr oder weniger lineare Federkennlinie  $F_E(x)$ . Ab einem gewissen Abstand a von der Vorderfläche 18 des Erregerkolbens 1 (vgl. Fig. 2) kommt sie zum Einsatz:

$$F_E(x) = \begin{cases} R \cdot (a - x) + F_0 & (x \leq a) \\ 0 & (x > a) \end{cases}$$

**[0030]** Darin bezeichnet  $R$  die Federkonstante und  $F_0$  die Federvorspannung. Die graphische Darstellung der Fig. 4 zeigt die Kraftkennlinie (oben) der Kombination der Luftfeder 9 und einer elastischen Druckfeder 12, ausgelegt für ein pneumatisches Schlagwerk eines Bohr- und/oder Meisselhammers.

**[0031]** Für die beiden Kurvendarstellungen der Fig. 4 gelten folgende Parameter:

|                                             |                       |
|---------------------------------------------|-----------------------|
| Führungsrohrdurchmesser:                    | $d = 30 \text{ mm}$   |
| Maximaler Kompressionsweg der Luftfeder:    | $x_0 = 35 \text{ mm}$ |
| Außendruck:                                 | $p_0 = 1 \text{ bar}$ |
| Isotropenkoeffizient für Luft:              | $\kappa = 1.4$        |
| Federkonstante der zusätzlichen Druckfeder: | $R = 30 \text{ N/mm}$ |
| Wirkabstand der zusätzlichen Druckfeder:    | $a = 25 \text{ mm}$   |
| Vorspannung der zusätzlichen Druckfeder:    | $F_0 = 10 \text{ N}$  |

**[0032]** Beim ersten Blick auf das obere Diagramm in Fig. 4 scheint die elastische Druckfeder 12 (Kurve a) nur einen geringen Einfluss zu haben. Bei näherer Betrachtung jedoch sieht man, dass die elastische Druckfeder 12 eher langreichweitig wirkt und dort auch härter ist als die Luftfeder (Kurve b). Der Grund liegt darin, dass die Härte der Luftfeder 9 invers zum Abstand, d. h. hyperbolisch abnimmt, die der elastischen Druckfeder 12 aber nur linear. Das untere Diagramm der Fig. 4 verdeutlicht das Kräfteverhältnis der beiden Federn.

**[0033]** Die Luftfeder 9 entwickelt erst bei sehr geringen Abständen zwischen Flug- und Erregerkolben von kleiner als beispielsweise 7 mm relevante Kräfte. Dies erkennt man gut aus der Kennlinie der prozentualen Kraftzunahme als Funktion des Abstands  $x$  zwischen Flug- und Erregerkolben. Die Kurve c, die Summenkurve aus a und b lässt die Funktion der zusätzlichen elastischen Druckfeder 12, nämlich die Langreichweitigkeit der Wechselwirkungskraft zwischen Erregerkolben 1 und Flugkolben 7 erkennen. Ab einer gewissen Distanz zwischen Erreger- und Flugkolben dominiert die elastische Druckfeder 12 über die Luftfeder 9. In diesem Bereich wird das Verhalten hauptsächlich durch die elastische Druckfeder bestimmt, d. h., die Kraft-Weg-Kennlinie ist in guter Näherung linear, was aus der Summenkurve c gut ersichtlich ist.

**[0034]** Unter Bezug auf die am Ende der Beschreibung angegebenen Literaturstellen Lit. [1] und Lit. [2] wird nachfolgend ein mathematisches Modell für die optimale Erregung eines pneumatischen Schlagwerks für den beschriebenen Anwendungsfall erläutert.

**[0035]** Die Bewegungsgleichung des Flugkolbens 7 ist bei Vernachlässigung der Reibung gegeben durch:

$$\ddot{x}_{FK}(t) = u(t) = \frac{\tilde{u}(t)}{m_{FK}} \quad (\text{Gl. 1})$$

**[0036]** Darin bezeichnet  $x_{FK}$  die Position des Flugkolbens 7, gemessen von der Position des Aufpralls in Richtung des Döppers 8, d. h.  $x_{FK}$  ist negativ, wenn eine Bewegung in Richtung Erregerkolben 1 als positive Geschwindigkeit angenommen wird.  $u(t)$  bezeichnet die Beschleunigung des Flugkolbens in  $[\text{m/s}^2]$  und  $m_{FK}$  die Masse des Flugkolbens in  $[\text{kg}]$ .

**[0037]** Um eine periodische Bewegung mit der Frequenz  $f = 1/T$  der Energie  $E$  und der Aufprallgeschwindigkeit  $v$  zu realisieren, muss die Bewegungsgleichung (1) folgenden periodischen Randbedingungen genügen:

$$\begin{aligned}x_{FK}(t=0) &= 0 \\ \dot{x}_{FK}(t=0) &= v_{vor} \\ x_{FK}(t=T) &= 0 \\ \dot{x}_{FK}(t=T) &= v_{vor}\end{aligned}\tag{Gl. 2}$$

**[0038]** Darin bezeichnet  $v_{vor}$  die Aufprallgeschwindigkeit des Flugkolbens 7 unmittelbar vor dem Stoß und  $v_{nach}$  die Rückprallgeschwindigkeit nach dem Stoß.

**[0039]** Wird Gl. (1) in anderer Form unter Verwendung der Randbedingungen der Gl. (2) und der Beziehung

$$v_{nach} = -k \cdot v_{vor}\tag{Gl. 3}$$

umgeschrieben, wobei  $k$  die Stoßzahl oder Schlagzahl bedeutet, so ergibt sich:

$$\begin{aligned}(1+k) \cdot v_{vor} &= \int_0^T u(\tau) d\tau \\ kT \cdot v_{vor} &= \int_0^T (T-\tau) \cdot u(\tau) d\tau\end{aligned}\tag{Gl. 4}$$

**[0040]** Die Variable  $\tau$  dient nur als Integrationsvariable über die Schlagperiode  $T$ :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

wobei  $f$  die Schlagfrequenz (z. B. 50 Hz) bezeichnet.

**[0041]** Auf der rechten Seite der Gl. (4) stehen bekannte Größen. Die linke Seite beinhaltet den (noch) unbekannten Verlauf der Beschleunigung.

**[0042]** Dabei stellt sich die Frage, wie muss die Beschleunigung  $u(t)$  aussehen, damit minimale Vibrationen im Gerät entstehen. Gesucht wird  $u(t)$ , so dass folgende Beziehung minimiert wird:

$$\min_u \max_{t \in [0, T]} |u(t)|\tag{Gl. 5}$$

**[0043]** Die mathematische Grundlage für die Lösung des Problems ist grundsätzlich in Lit. [1] und Lit. [2] beschrieben. Wendet man diesen bekannten mathematischen Ansatz auf das hier untersuchte Problem an, so erhält man für die optimale Beschleunigung  $u(t)$  des Flugkolbens, d. h. für eine Minimierung der Beziehung, nach Gl. (5):

$$u_0(t) = U_0 \cdot \text{sgn} \left[ n_1^0 \cdot (T-t) + n_2^0 \right]\tag{Gl. 6}$$

**[0044]** Gemäß Gl. (6) entspricht die maximale Beschleunigung einer stückweise konstanten Funktion mit einem Sprung innerhalb des Intervalls  $[0, T]$ . Demnach muss  $u_0(t)$  die folgende Form haben:

$$u_0(t) = \begin{cases} -U_0 & \text{falls } t \in [0, t_1] \\ +U_0 & \text{falls } t \in [t_1, T] \end{cases}\tag{Gl. 7}$$

[0045] Wird diese Lösung in Gl. (4) eingesetzt, integriert und nach  $t_1$  und  $U_0$  aufgelöst, so erhält man:

$$\frac{t_1}{T} = \frac{1}{1+k} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1-k^2}{2}} \right)$$

$$U_0 = \frac{(1+k)^2 \cdot v_-}{2T \cdot \left( 1 - \frac{(1-k)^2}{2} - \frac{1-k}{2} \right)} \quad (\text{Gl. 8})$$

[0046] Die Beschleunigung  $\tilde{a}(t)$  des Gerätegehäuses ist annähernd proportional zur Beschleunigung des Flugkolbens und gegeben durch:

$$\tilde{a}(t) \approx \frac{m_{FK}}{M} \cdot u^0(t)$$

$$k = \frac{v_{nach}}{v_{vor}} \approx 0.2 \dots 0.3 \quad (\text{Gl. 9})$$

[0047] Als vorteilhaftes Ergebnis der Erfindung ergibt sich also bei einer Optimierung der Flugkolbenbeschleunigung auch eine Optimierung, also eine Minimierung, der Hand-Arm-Vibrationen.

#### Literaturhinweis:

[0048]

Lit. [1]: Babitsky, V. I.: Theory of Vibro Impact Systems and Applications. Springer Verlag, Berlin 1998.

Lit. [2]: Babitsky, V. I.: Handheld Percussion Machine as a discrete nonlinear converter. Journal of Sound and Vibration, 214(1): 165-182, 1998.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Reduktion von Druckspitzen in einem elektropneumatischen Schlagwerk einer Handwerkzeugmaschine, bei dem ein elektromotorisch angetriebener Erregerkolben über eine von diesem komprimierte Gasfeder auf einen Zwischenkolben wirkt, der seinerseits ein Werkzeug schlagend antreibt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kennlinie der Kraft der Luftfeder beim Rückprall des Zwischenkolbens durch die Wirkung einer mechanischen Druckfeder linearisiert wird.

2. Elektropneumatisches Schlagwerk einer Handwerkzeugmaschine mit einem elektromotorisch angetriebenen Erregerkolben, der über eine von diesem bei einem Arbeitshub komprimierte Gasfeder auf einen ein Werkzeug schlagend antreibenden Zwischenkolben wirkt, **gekennzeichnet durch** eine zwischen dem Erregerkolben (1) und dem Zwischenkolben (7) wirkende zusätzliche, elastische, mechanische Druckfeder (12).

3. Elektropneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elastische Druckfeder am Erregerkolben angebracht ist.

4. Elektropneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elastische Druckfeder am Zwischenkolben angebracht ist.

5. Elektropneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die am Erregerkol-

ben oder am Zwischenkolben angebrachte Druckfeder über eine den Kolbenmantel umgebende, relativ zum Kolben (1 oder 7) axial verschiebbliche Prellhülse (11) auf den Zwischenkolben (7) einerseits bzw. den Erregerkolben (1) andererseits wirkt.

- 5     **6.** Elektropneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Federhärten bzw. Federkennlinien der Luftfeder (9) einerseits und der elastischen Druckfeder (12) andererseits so aufeinander abgestimmt sind, dass Druckspitzen auf den Antrieb des Erregerkolbens gegenüber einem druckfederlosen Schlagwerk deutlich reduziert sind.
- 10    **7.** Elektropneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elastische Druckfeder so ausgelegt ist, dass sie bei maximaler Einzelhubkompression der Luftfeder, d. h. bei geringstem Abstand zwischen Erreger- und Zwischenkolben, weitgehend vollständig komprimiert ist.
- 15    **8.** Elektropneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 5, **gekennzeichnet durch** eine Umlaufdichtung (12, 13) zwischen der freien Umrandungsstirnfläche der Prellhülse (11) und der gegenüberstehenden Stirnfläche des Zwischen- bzw. des Erregerkolbens.
- 20    **9.** Bohr- und/oder Meisselhammer, ausgerüstet mit einem elektropneumatischen Schlagwerk nach einem der vorstehenden Ansprüche 2 bis 8.

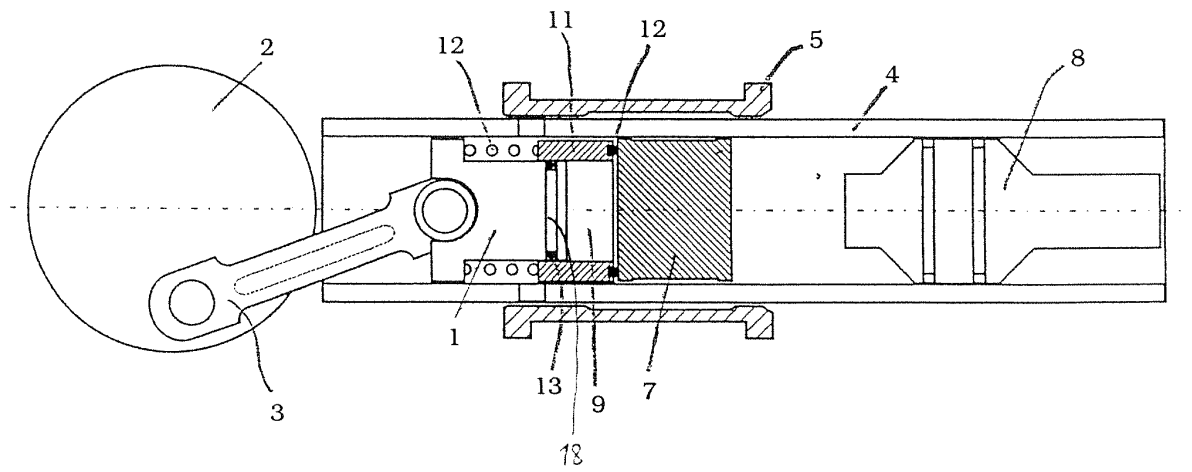
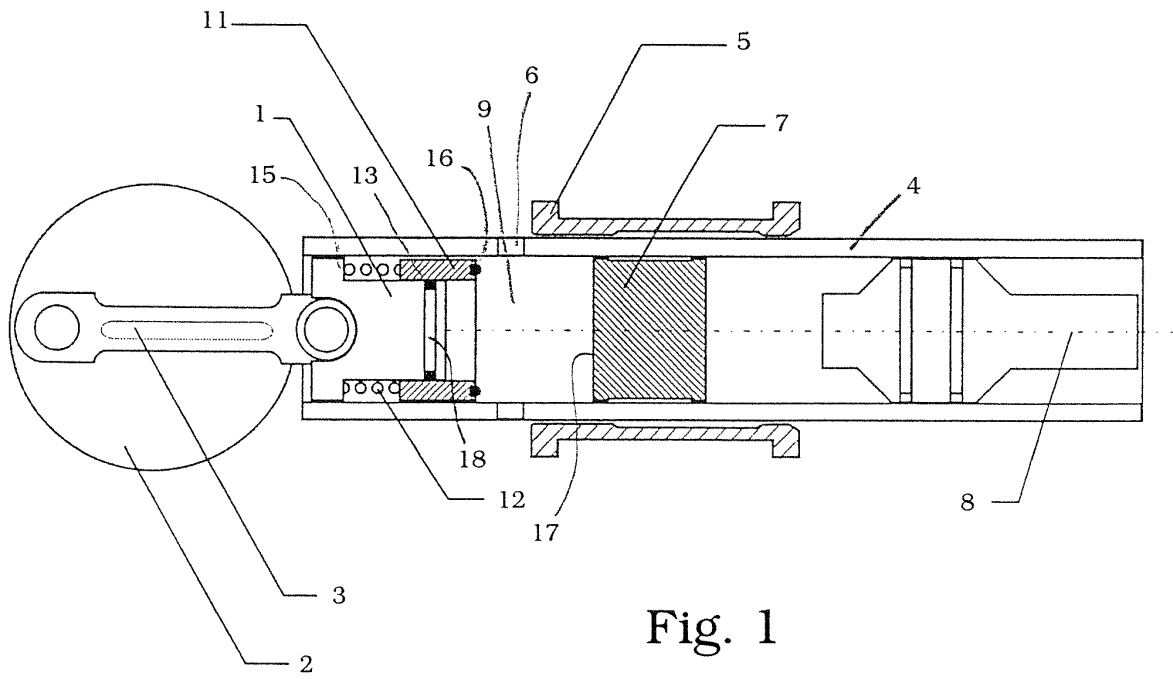
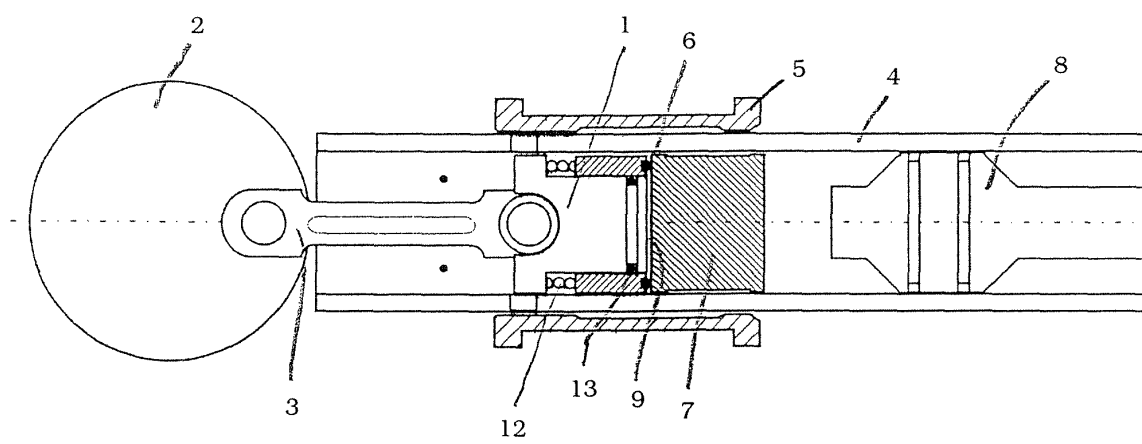


Fig. 3



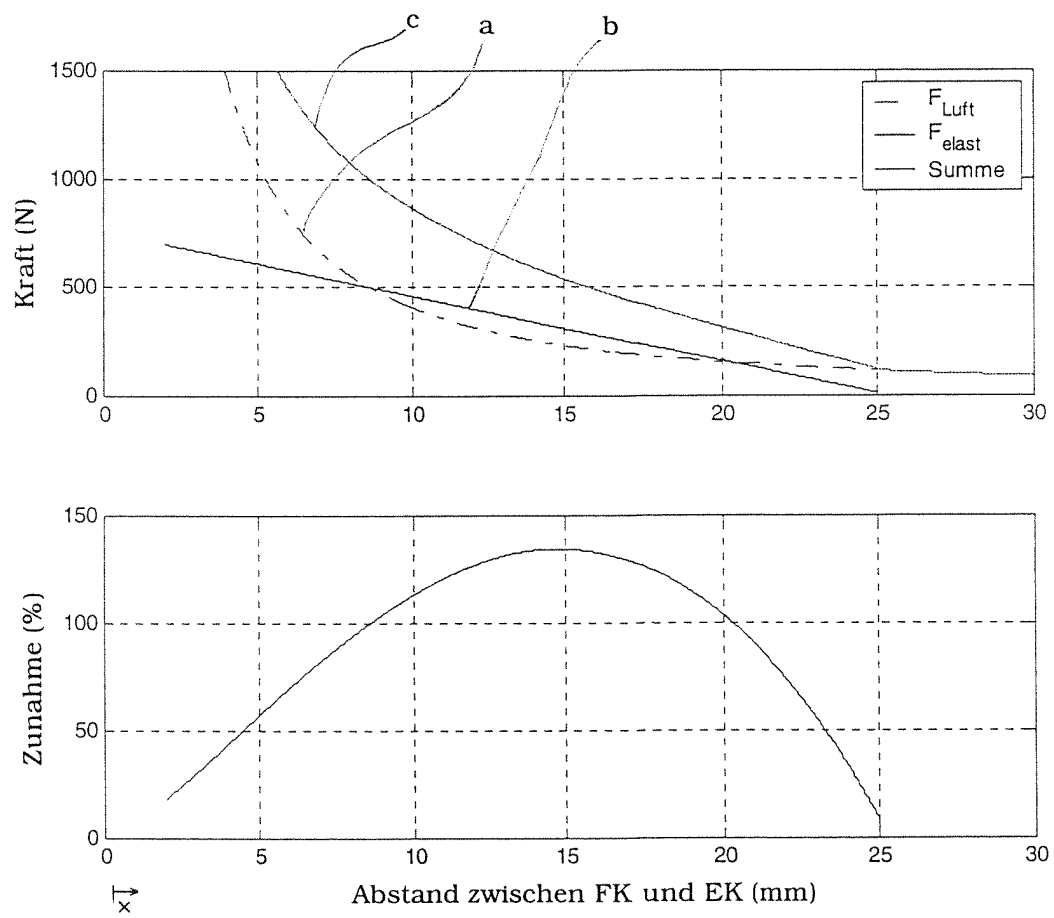
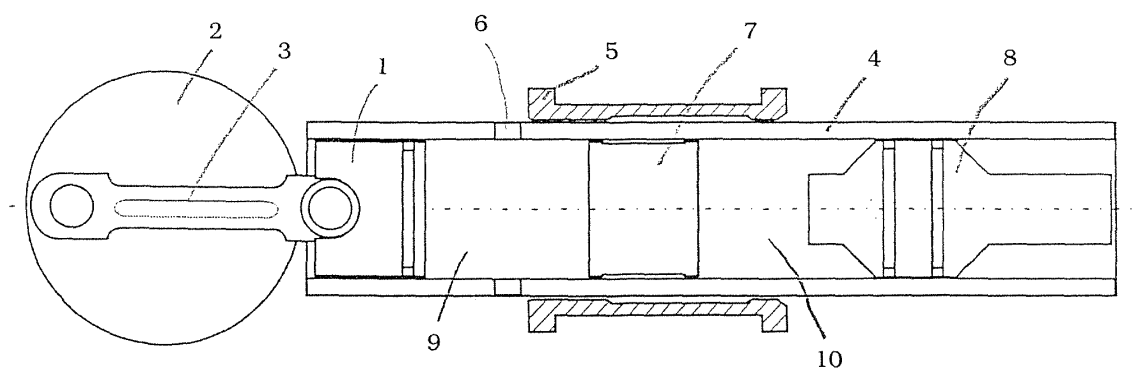


FIG. 4

Fig. 5





Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 04 10 1433

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile     | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7) |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | DE 27 26 214 A (HILTI AG)<br>21. Dezember 1978 (1978-12-21)<br>* Abbildung 2 *<br>----- | 1,2,9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | B25D17/24<br>B25D17/06                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | B25D                                    |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                         |
| Recherchenort<br>Den Haag                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                         | Abschlußdatum der Recherche<br>17. September 2004                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Prüfer<br>Fiorani, G                    |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                         | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>.....<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                         |

1  
EPO FORM 1503 03.82 (P04/C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 04 10 1433

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

17-09-2004

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| DE 2726214 A                                       | 21-12-1978                    | DE 2726214 A1                     | 21-12-1978                    |
| -----                                              |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82