



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 437 675 B1**

12

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

Veröffentlichungstag der Patentschrift: **11.01.95**

Int. Cl.⁶: **F41A 21/18**

Anmeldenummer: **90118945.6**

Anmeldetag: **04.10.90**

Waffenrohr mit optimiertem Drallverlauf.

Priorität: **17.01.90 DE 4001130**

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.07.91 Patentblatt 91/30

Bekanntmachung des Hinweises auf die
Patenterteilung:
11.01.95 Patentblatt 95/02

Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB LI SE

Entgegenhaltungen:
GB-A- 127 849
GB-A- 1 323 593
GB-A- 2 156 055
US-A- 3 496 667
US-A- 3 616 562

"Waffentechnisches Taschenbuch", 5. Auflage,
1980, Seiten 523-529, Rheinmetall GmbH,
Düsseldorf, DE

Patentinhaber: **Rheinmetall Industrie GmbH**
Pempelfurtstrasse 1
D-40880 Ratingen (DE)

Erfinder: **Krumm, Herbert, Dr.**
Adlerstrasse 1a
W-4044 Kaarst 1 (DE)

EP 0 437 675 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Waffenrohr mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 1.

Bei derartigen gezogenen Waffenrohren hängt deren Lebensdauer bekanntermaßen wesentlich von der Leistenkraft ab. Dieser Zusammenhang, auch hinsichtlich der Auslegung eines Zug-Feld-Profils und eines dementsprechenden Drallverlaufs im Waffenrohr, ist ausführlich im "Waffentechnischen Taschenbuch" der Fa. Rheinmetall GmbH, 5. Auflage 1980, Seiten 523 bis 529, erläutert und beschrieben. Danach kann die Leistenkraft $R(x)$ über den Geschößweg x in Längsrichtung im Waffenrohr in guter Näherung beschrieben werden durch:

$$R(x) \approx \frac{4 \cdot J}{D^2 \cdot m_G} \left[\frac{dy}{dx} \cdot p(x) + \frac{d^2y}{dx^2} \cdot v_G^2 \cdot m_G \right]$$

mit den Bedingungen:

$$\frac{dy}{dx} = \tan \alpha(x) \quad \text{und} \quad \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d\alpha(x)}{dx} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha(x)}$$

Dabei sind:

- J: das Trägheitsmoment des Geschosses um seine Längsachse
- D: das Kaliber des Waffenrohres
- m_G : die Geschöß-Masse
- y : die abgewinkelte Umfangersrichtung
- $p(x)$: der auf den Geschößboden wirkende Gasdruck
- $v_{G(x)}$: die Geschößgeschwindigkeit
- $\alpha(x)$: der Drallwinkel

Von daher ist klar, daß bei vorgegebener Geschößmasse m_G , Geschößgeschwindigkeit $v_G(x)$ und Gasdruck-Verlauf $p(x)$ der Drallverlauf des betrachteten Waffenrohres den Leistenkraft-Verlauf $R(x)$ entscheidend beeinflusst.

Bei dem bislang - vor allem bei großkalibrigen Waffenrohren - aus fertigungstechnischen Gründen am häufigsten verwendeten Konstant-Drall, bei dem der Drallwinkel $\alpha(x)$ unabhängig vom Geschößweg x ist, folgt jedoch nachteiligerweise der Leistenkraftverlauf $R(x)$ proportional dem Gasdruckverlauf $p(x)$. Es tritt ein ausgeprägtes, lokales Maximum der Leistenkraft auf, das örtlich mit dem Gasdruck-Maximum im Waffenrohr zusammenfällt und zu einer unerwünscht hohen, lokalen Beanspruchung führt.

Schon frühzeitig sind daher Überlegungen angestellt worden, die Leistenkraft durch Verwendung eines parabolischen, sinusförmigen oder kubisch-parabolischen Drallverlaufs zu verringern, wie im "Waffentechnischen Taschenbuch" der Fa. Rheinmetall GmbH, 5. Auflage, 1980, Seiten 523 bis 529, ausgeführt.

Diese, insbesondere in Bild 1137 auf Seite 525 des "Waffentechnischen Taschenbuchs", als progressiv bezeichneten Drallverläufe zeigen, daß beim parabolischen und beim kubisch-parabolischen Drall eine große Leistenkraft $R(x)$ an der Waffenrohrmündung auftritt, die sich nachteilig auf die Flugbahn des Geschosses auswirken kann. Außerdem hat sie einen sogenannten Torsional-Impuls-Effekt auf das Waffenrohr zur Folge und ruft damit unerwünschte Waffenrohrschwingungen um die Rohrseelenachse hervor, wobei das Geschöß zusätzlich belastet wird.

Wie aus Bild 1137 auf Seite 525 des "Waffentechnischen Taschenbuchs" weiter hervorgeht, zeigt der sinusförmige Drallverlauf zwar noch ein ausgeprägtes Maximum der Leistenkraft, aber auch eine deutlich verringerte Leistenkraft an der Mündung. Da jedoch bei bisher gefertigten Waffenrohren mit sinusförmigen Drallverlauf für Maschinenkanonen der Drallwinkel $\alpha(x)$ von einem Anfangsdrallwinkel $\alpha_A = 0^\circ$ bis zu einem Enddrallwinkel $\alpha_E = 6,5^\circ$ an der Waffenrohrmündung zunimmt, wird der durch die verringerte Leistenkraft an der Mündung erzielte Vorteil teilweise durch einen ausgeprägten Umformprozeß eines Führungsbandes des Geschosses aufgezehrt. Diese Verhältnisse werden umso ungünstiger, je breiter das Führungsband ist.

Bei Artillerierohren, deren Geschosse üblicherweise besonders breite Führungsblätter besitzen, erhöht ein beim Anfangsdrall $\alpha_A = 0^\circ$ beginnender progressiver Drallwinkelverlauf die Belastung der Führungsblätter, zumal wenn ein üblicher Enddrallwinkel von $\alpha_E \approx 9^\circ$ erreicht werden soll. In diesem Fall wird nahezu die gesamte Breite des Führungsbandes durch Änderung des Drallwinkels umgeformt, so daß die

Gefahr besteht, daß das Führungsband im Waffenrohr versagt.

Aus der GB-A-2 156 055 ist es bekannt, den Drallverlauf durch eine parabolische Drallkurve zu definieren. Die einzelnen Parameter des entsprechenden Polynoms werden dabei derart gewählt, daß sich ein Leistenkraftverlauf ergibt, bei dem die Leistenkraft über den Geschossweg im Waffenrohr am Beginn der Züge steil ansteigt, über einen folgenden weiten Bereich des Waffenrohres möglichst konstant bleibt und zur Mündung wieder abfällt. Allerdings weist der vorgeschlagene parabolische Drallwinkelverlauf den Nachteil auf, daß die gewünschte Anpassung an einen vorgegebenen trapezförmigen Leistenkraftverlauf nur recht unvollständig möglich ist.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, die oben geschilderten Nachteile der bei bekannten Waffenrohren verwendeten Drallarten zu vermeiden und einen Drallwinkelverlauf $\alpha(x)$ anzugeben, der beim Abschuss des jeweiligen Geschosses möglichst genau zu einem vorgegebenen trapezförmigen Leistenkraftverlauf im Waffenrohr führt.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein gattungsgemäßes Waffenrohr mit den erfindungsgemäßen Merkmalen des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus dem Unteranspruch hervor.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels eines Artillerierohres vom Kaliber 155 mm und einer Waffenrohlänge von 52 Kaliber ausführlich mit Hilfe von Figuren erläutert und beschrieben. Dabei zeigen im einzelnen:

Figur 1: ein Diagramm eines Drallwinkels $\alpha(x)$, aufgetragen gegen eine Waffenrohlänge x des erfindungsgemäßen Waffenrohres im Intervall zwischen den auf der Abszisse markierten Positionen x_A und x_B (entspricht x_E);

Figur 2: ein Diagramm einer sich aus dem Drallwinkelverlauf $\alpha(x)$ gemäß Figur 1 ergebenden Leistenkraft $R(x)$ aufgetragen gegen die Waffenrohlänge x ;

Figur 3: ein Diagramm (gegenüber Fig. 1 in verkleinertem Maßstab) Drallwinkelverlauf $\alpha(x)$ mit dem erfindungsgemäßen Drallwinkelverlauf gemäß Figur 1 im Vergleich zum Konstantdrall und zum parabolischen Drall in einem entsprechenden Waffenrohr und

Figur 4: ein Diagramm der sich aus den Drallwinkelverläufen $\alpha(x)$ gemäß Figur 3 ergebenden Leistenkräfte $R(x)$ für die in Figur 3 dargestellten Drallarten.

Ausgehend von einem gegebenen Gasdruckverlauf $p(x)$ und einer gegebenen Geschossgeschwindigkeit $v_G(x)$ wurde im bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ein Artillerie-Waffenrohr vom Kaliber $D = 155$ mm und einer Waffenrohlänge x mit $0 \leq x \leq 52 D$ für den gewünschten Drallwinkelverlauf $\alpha(x)$ gemäß

$$\alpha(x) = \sum C_n \cdot \cos(n \cdot x \cdot \pi \cdot f / x_E) ; 0 \leq n \leq 10$$

eine gerade Fourier-Reihe angesetzt. Der Enddrallwinkel α_E ist aus ballistischen Gründen mit $\alpha_E = 8,969^\circ$. Um am Drallbeginn $x = x_A$ und am Drallende $x = x_E$ ähnlich günstige Verhältnisse wie beim bekannten Konstantdrall zu erzielen, muß der Drallverlauf $\alpha(x)$ an diesen Stellen x_A , x_E eine nahezu horizontale Tangente besitzen, so daß

$$\frac{d\alpha}{dx} = -\frac{f \cdot \pi}{x_E} \sum n \cdot C_n \cdot \sin(n \cdot \pi \cdot x \cdot f / x_E) \approx 0$$

der Faktor f im Argument der trigonometrischen Glieder der obigen Fourier-Reihe dient zur Verkürzung der Periode und beeinflusst daher die Leistenkraft $R(x)$ an der Waffenrohrmündung $x = x_E$. Vorzugsweise gilt für den Faktor f

$$1,0 < f < 1,2.$$

Ein weiterer wichtiger Parameter zur Beeinflussung der Leistenkraft $R(x)$ ist der Anfangsdrallwinkel $\alpha(x) = \alpha_A$.

Dem in Figur 1 dargestellten Diagramm des Leistenkraftverlaufes $\alpha(x)$ eines erfindungsgemäßen Waffenrohres liegen neben den schon vorher erwähnten Werten folgende Koeffizienten zugrunde, die mit Hilfe eines an sich bekannten numerischen Optimierungsverfahrens ermittelt wurden:

$$\begin{array}{ll}
\alpha_A = 5,298^\circ & \hat{\alpha}_A = 0,0925 \\
C_1 = -1,82927 & C_6 = 0,02020 \\
C_2 = 0,22474 & C_7 = 0 \\
C_3 = 0 & C_8 = 0,00117 \\
C_4 = 0,10200 & C_9 = 0 \\
C_5 = 0,01480 & C_{10} = 0,00001.
\end{array}$$

Mit der schon oben erwähnten Ableitung

$$\frac{d\alpha}{dx} = -\frac{f \cdot \pi}{x_E} \sum n \cdot C_n \cdot \sin(n \cdot \pi \cdot x \cdot f / x_E) \approx 0$$

und den Beziehungen

$$\frac{dy}{dx} = \tan \alpha(x) \quad \text{und} \quad \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d\alpha(x)}{dx} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha(x)}$$

ist bei vorgegebenem Gasdruck-Verlauf $p(x)$ und Geschößgeschwindigkeitsverlauf $v_G(x)$ die Leistenkraft $R(x)$ entlang des Rohres gemäß

$$R(x) \approx \frac{4 \cdot J}{D^2 \cdot m_G} \cdot \left[\frac{dy}{dx} \cdot p(x) + \frac{d^2y}{dx^2} \cdot v_G^2 \cdot m_G \right]$$

festgelegt. Die derart bestimmte Leistenkraft $R(x)$ ist im Diagramm in Figur 2 dargestellt.

Aufgrund des gewählten Enddrallwinkels von $\alpha_E = 8,969^\circ$ ergibt sich ein großer Anfangsdrallwinkel von $\alpha(x_A) = 5,298^\circ$. Die damit erzielte Drallwinkeländerung entlang des Rohres von $\Delta\alpha = \alpha_E - \alpha_A = 3,6289^\circ$ ist vorteilhafterweise sehr klein, so daß ein übliches Führungsband auf seinem Weg durch das Waffenrohr nur geringfügig umgeformt wird. Darüber hinaus zeigt Figur 2, daß das Maximum der Leistenkraft $R(x)$ im wesentlichen über den Geschößweg x konstant bleibt.

Weiterhin vorteilhaft ist der erfindungsgemäß bestimmte kleine Anfangsdrallwinkel von $\alpha_A = 5,298^\circ$, da er sich günstig auf den sogenannten Torsional-Impuls-Effekt auswirkt und daher die Schwingungsneigung des Waffenrohres reduziert.

Figur 3 zeigt zur Verdeutlichung den erfindungsgemäßen Drallwinkelverlauf $\alpha(x)$, der hier wie in Figur 1 als durchgezogene Linie dargestellt ist, im Vergleich mit heute bisher verwendeten Drallarten für ein entsprechendes Waffenrohr. In Figur 3 ist der Konstantdrall als strich-punktierte Kurve und der parabolische Drall als strichlierte Kurve dargestellt.

Ausgehend von den in Figur 3 abgebildeten Drallwinkelverläufen $\alpha(x)$ ergeben sich die in Figur 4 dargestellten Leistenkraftverläufe $R(x)$ für die jeweiligen Drallarten. In Figur 4 wurde die Darstellungsweise der Kurven gemäß Figur 3 verwendet.

Aus Figur 4 geht deutlich hervor, daß bei einem erfindungsgemäßen Waffenrohr gegenüber dem heute noch bei Artillerierohren üblichen Konstantdrall das Leistenkraftmaximum um ca. 42% reduziert ist.

Bei dem heute bei Maschinenkanonen üblichen parabolischen Drall, der hier auf ein dem erfindungsgemäßen beispielhaft dargestellten Artillerierohr zu Vergleichszwecken übertragen wurde, wäre zwar mit einem erfindungsgemäß konstruierten Waffenrohr nur eine Reduzierung des Leistenkraftmaximums um ca. 11% möglich, aber der parabolische Drall würde das Führungsband eines Geschosses während des Geschößdurchlaufs von x_A nach x_E wegen $\Delta\alpha \approx 9^\circ$ stark verformen und möglicherweise versagen lassen. Außerdem nimmt beim parabolischen Drall die Leistenkraft $R(x_E)$ an der Mündung ihren Maximalwert an, so daß es zu einem Drehmomentenstoß auf das austretende Geschöß kommt und u. U. zu einer Störung des

Geschoßabganges.

Demgegenüber beträgt die mündungsseitige Leistenkraft $R(x_E)$ des erfindungsgemäßen Waffenrohres - wie Figur 4 zeigt - lediglich noch 10% des Maximalwertes.

Insgesamt ergeben sich gegenüber bekannten Waffenrohren mit üblichen Drallverläufen bei dem erfindungsgemäßen Waffenrohr die folgenden Vorteile:

- o geringere Belastung des Zug-Feldprofiles, d. h. geringerer Rohrverschleiß und bessere Ermüdungslebensdauer
- o geringere Führungsbandbeanspruchung
- o geringere Belastung der Drallaufnahme
- o geringere Anregung von Rohrschwingungen
- o günstige Abgangsbalistik des Geschosses durch verringerte Leistenkraft an der Waffenrohrmündung
- o geringfügige Umformung des Führungsbandes des Geschosses durch verringerte Drallwinkeländerung während des Geschöddurchlaufes durch das Waffenrohr.

Die Herstellung erfindungsgemäßer Waffenrohre selbst großen Kalibers mit den oben diskutierten erfindungsgemäßen Drall-Gesetzmäßigkeiten ist mit den heute bekannten CNC-gesteuerten Nut-Ziehmaschinen ohne größere Schwierigkeiten möglich.

Patentansprüche

1. Waffenrohr mit einem Drallverlauf mit einem veränderlichen Drallwinkel ($\alpha(x)$) und einer beim Verschießen eines Geschosses wirkenden Leistenkraft ($R(x)$), wobei das Waffenrohr derart konstruiert ist, daß die Leistenkraft ($R(x)$) über den Geschößweg (x) im Waffenrohr bei vorgegebener Geschößmasse (m_G), Geschößgeschwindigkeit ($v_G(x)$) und Gasdruckverlauf ($p(x)$) am Beginn der Züge ($x = x_A$) steil ansteigt, über einen folgenden weiten Bereich des Waffenrohres im wesentlichen konstant bleibt und zur Mündung ($x = x_E$) steil abfällt, und wobei das Maximum der Leistenkraft ($R(x)$) gegenüber einem entsprechenden Waffenrohr mit einem üblichen Konstantdrall um mindestens ein Viertel reduziert ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß der die Leistenkraft ($R(x)$) bestimmende Drallwinkel ($\alpha(x)$) durch eine gerade Fourier-Reihe gemäß

$$\alpha(x) = \sum C_n \cos(n\pi f/x_E); 0 \leq n \leq 10$$

beschrieben wird, wobei gilt:

35

1,0 < f < 1,2	
$C_1 = -1,82927$	$C_6 = 0,02020$
$C_2 = 0,22474$	$C_7 = 0$
$C_3 = 0$	$C_8 = 0,00117$
$C_4 = 0,10200$	$C_9 = 0$
$C_5 = 0,01480$	$C_{10} = 0,00001$

40

2. Waffenrohr nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Schonung eines Führungsbandes des Geschosses eine Änderung ($\Delta\alpha$) des Drallwinkels ($\alpha(x)$) von einem Anfangsdrallwinkel ($\alpha_A = \alpha(x_A)$) am Beginn der Züge bis zu einem Enddrallwinkel ($\alpha_E = \alpha(x_E)$) an der Mündung kleiner als $5,5^\circ$ ist, so daß gilt:

45

$$\Delta\alpha = \alpha_E - \alpha_A < 5,5^\circ$$

50

Claims

1. A gun barrel with rifling characteristics having a variable angle of twist ($\alpha(x)$) and land force ($R(x)$) acting on a projectile when fired, the barrel being so designed that the land force ($R(x)$) increases steeply over the distance (x) travelled by the projectile along the barrel for a given projectile mass (m_G), projectile speed ($v_G(x)$) and gas pressure characteristics ($p(x)$) at the start of the rifling ($x = x_A$), remains largely constant over a subsequent ample length of the barrel and steeply decreases towards the muzzle ($x = x_E$), the maximum of the land force ($R(x)$) being reduced by at least a quarter by comparison with a corresponding barrel with a customary constant twist rifling, characterised by the fact

55

that the angle of twist ($\alpha(x)$) determining the land force ($R(x)$) is described by a straight Fourier series according to:

$$\alpha(x) = \sum C_n \cos(n\pi f/x_E); 0 \leq n \leq 10$$

wherein:

1.0 < f < 1,2	
$C_1 = -1,82927$	$C_6 = 0,02020$
$C_2 = 0,22474$	$C_7 = 0$
$C_3 = 0$	$C_8 = 0,00117$
$C_4 = 0,10200$	$C_9 = 0$
$C_5 = 0,01480$	$C_{10} = 0,00001$

2. A gun barrel in accordance with Claim 1, characterised by the fact that to prevent straining a guide band of a projectile the change ($\Delta\alpha$) of angle of twist ($\alpha_A = \alpha(x_A)$) at the beginning of the rifling to a final angle of twist ($\alpha_E = \alpha(x_E)$) at the muzzle is less than 5.5° , so that the following applies:-

$$\Delta\alpha = \alpha_E - \alpha_A < 5,5^\circ$$

Revendications

1. Tube d'arme à feu à rayures avec un angle d'inclinaison variable ($\alpha(x)$) et une force de mise en rotation ($R(x)$) agissant lors du tir d'un projectile, le tube étant réalisé de telle sorte que la force de mise en rotation ($R(x)$), le long du parcours (x) du projectile dans le tube, croît de façon rapide au début des rayures ($x = x_A$) pour une masse (m_G) et une vitesse ($V_G(x)$) du projectile ainsi qu'une courbe de variation de la pression des gaz ($p(x)$) prédéterminée, puis, dans une zone suivante du tube, reste sensiblement constante et décroît de façon rapide vers la bouche ($x = x_E$) et le maximum de la force de mise en rotation ($R(x)$) étant réduit d'au moins 1/4 par rapport à celui existant dans un tube à rayures à pas constant usuel, caractérisé en ce que l'angle d'inclinaison de rayure ($\alpha(x)$) déterminant la force de mise en rotation ($R(x)$) est défini par une série de Fourier paire suivant la formule

$$\alpha(x) = \sum C_n \cos(n\pi f/x_E); 0 \leq n \leq 10$$

avec

1,0 < f < 1,2	
$C_1 = -1,82927$	$C_6 = 0,02020$
$C_2 = 0,22474$	$C_7 = 0$
$C_3 = 0$	$C_8 = 0,00117$
$C_4 = 0,10200$	$C_9 = 0$
$C_5 = 0,01480$	$C_{10} = 0,00001$

2. Tube d'arme à feu selon la revendication 1, caractérisé en ce que pour économiser une bande de guidage du projectile, une variation ($\Delta\alpha$) de l'angle d'inclinaison des rayures ($\alpha(x)$), d'un angle de départ ($\alpha_A = \alpha(x_A)$) au début de la rayure jusqu'à un angle final ($\alpha_E = \alpha(x_E)$) à la bouche, est inférieure à $5,5^\circ$, de sorte que

$$\Delta\alpha = \alpha_E - \alpha_A < 5,5^\circ$$

