



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 659 112 A5

⑤① Int. Cl.⁴: F 15 B 20/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 3514/81

㉔ Anmeldungsdatum: 29.05.1981

㉔ Patent erteilt: 31.12.1986

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 31.12.1986

㉔ Inhaber:
United Technologies Corporation, Hartford/CT
(US)

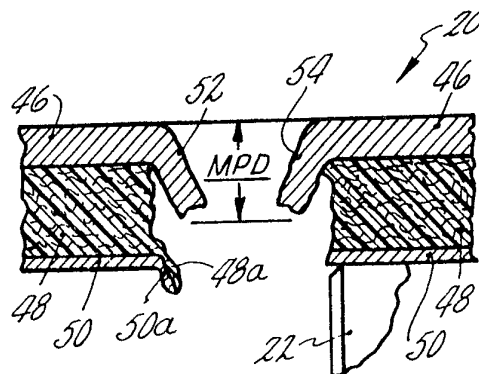
㉔ Erfinder:
Degnan, William George, Huntington/CT (US)
Selleck, Robert Alexander, Trumbull/CT (US)

㉔ Vertreter:
Hug Interlizenz AG, Zürich

⑤④ **Hydraulischer Stellantrieb für militärische Geräte.**

⑤⑦ Der hydraulische Stellantrieb für militärische Geräte, der der Kolben/Zylinder-Bauart angehört, hat ein mehrteiliges Gehäuse (20) aus verschiedenen Werkstoffen. Das Gehäuse umfasst eine tragende Aussenwand (46) und eine fest in die Aussenwand eingepasste zentrale Büchse sowie eine fest in die zentrale Büchse (48) eingepasste Innenwand (50). Die Struktureigenschaften der zentralen Büchse (48) sind so ausgewählt, dass, wenn die Aussenwand durch ein Geschoss mit einem Durchmesser D getroffen wird und/oder dieses in sie eindringt, durch den Aufprall hervorgerufene Spannungswellen von der Aussenwand mit ausreichender Intensität in die zentrale Büchse gehen, um die zentrale Büchse in der Nähe des Geschossaufpralles örtlich zu zerkleinern und wegzuräumen. Die Wandstärke t der zentralen Büchse (48) ist so bemessen, dass die in der Aussenwand (46) gebildeten Kraterzacken nicht weiter radial nach innen vorstehen als die Kraterzacken, die in dem kritischsten Fall durch ein Geschoss gebildet würden, dessen Durchmesser D das Verhältnis $D = 1/3$ erzeugt. Die Eigenschaften der Innenwand (50) sind so ausgewählt, dass derjenige Teil derselben, der sich bei dem weggeräumten Teil der zentralen

Büchse (48) befindet, mit diesem weggeräumt wird, und so das jedwede Kraterzacken, die darin durch Beschuss gebildet werden, durch die Bewegung des Kolbens (22) leicht weggeräumt werden.



PATENTANSPRÜCHE

1. Hydraulischer Stellantrieb für militärische Geräte, mit einem Gehäuse (20), das mit einer tragenden Aussenwand versehen ist, einem beweglichen Teil (22), das innerhalb des Gehäuses (20) angeordnet ist und gemeinsam mit diesem wenigstens eine Druckkammer (24, 26) zum Aufnehmen von Hydrauliköl zur Betätigung des beweglichen Teils innerhalb des Gehäuses begrenzt, und einer Vorrichtung zum Betätigen des beweglichen Teils (22) innerhalb des Gehäuses (20) nach Beschädigung durch ein Geschoss, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (20) mehrteilig und aus verschiedenen Werkstoffen ausgeführt ist und eine zentrale Büchse (48) aufweist, die satt anliegend in die Aussenwand (46) eingepasst ist, aus zerbrechlichem Werkstoff besteht und an der Innenfläche mit einer verschleissbeständigen und schützenden Schicht versehen ist, die die Betätigung des beweglichen Teils (22) in dem Gehäuse (20) im Anschluss an das Auftreten der Beschädigung durch ein Geschoss nicht verhindert.

2. Stellantrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die verschleissbeständige Schicht durch eine Innenwand (50) gebildet ist, die satt anliegend in der zentralen Büchse (48) angeordnet ist.

3. Stellantrieb nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (20) ein Zylinder ist und dass das bewegliche Teil (22) ein zylindrischer Kolben ist, der in dem Gehäuse hin- und herbewegbar ist.

4. Stellantrieb nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Aussenwand (46), die zentrale Büchse (48) und die Innenwand (50) miteinander verbunden sind.

5. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die spezifische Zugfestigkeit der Aussenwand (46) 1378,95 N/mm² oder mehr beträgt.

6. Stellantrieb nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Aussenwand (46) aus ausgewähltem Material besteht, so dass ihre Bruchzähigkeit im wesentlichen sowohl in radialer Richtung als auch in Umfangsrichtung dieselbe ist.

7. Stellantrieb nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Aussenwand (46) aus VIM/VAR-4340-Stahl besteht.

8. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die zentrale Büchse (48) aus einem Werkstoff besteht, der eine niedrige Zugfestigkeit hat, wenn er Zugspannungswellen ausgesetzt ist, die darin radial nach aussen reflektiert werden, der eine hohe Druckbelastbarkeit in einer Richtung radial nach aussen hat, so dass er in der Lage ist, ohne Zerstörung Kräfte des sich darin befindlichen und unter Druck stehenden Hydrauliköls aufzunehmen, und der ausserdem starke orthogonale Eigenschaften hat, so dass die zentrale Büchse (48) nicht beschädigt wird, wenn sie durch Abmessungsänderungen der Aussenwand (46) unter Flüssigkeitsdruck verformt wird, und dass die Zugspannung, die in der zentralen Büchse (48) durch reflektierte Spannungswellen hervorgerufen wird, welche auf sie aufgrund eines Geschossaufpralls auf die Aussenwand (46) ausgeübt werden, als Zugspannung entgegengesetzt zu den hydraulisch erzeugten Druckspannungen gerichtet ist.

9. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die zentrale Büchse (48) aus Laminaten, Teilchen oder Lamellen hergestellt ist.

10. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die zentrale Büchse (48) aus konzentrischen Graphitlaminaten hergestellt ist, die miteinander verbunden sind, oder aus Teilchenmaterial aus epoxidharzgebundenen und gehärteten keramischen oder intermetallischen Hartstoffteilchen oder aus Lamellen, die durch Spritzen von schmelzflüssigem Molybdän gebildet werden, durch das sich einzelne, verbundene Molybdänplättchen bis

zu der gewünschten Wanddicke der zentralen Büchse (48) aufbauen.

11. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenwand (50) aus einem Material besteht, das eine ausreichend niedrige Bruchzähigkeit hat, um mit dem Teil der zentralen Wand weggeräumt zu werden, und eine ausreichend niedrige Restspannung, so dass der Grad und die Ausrichtung von darin durch Geschosseinwirkung gebildeten Kraterzacken wiederholbar sind.

12. Stellantrieb nach Anspruch 1 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenwand (50) aus einem Material besteht, das eine hohe Bruchzähigkeit aufgrund ihrer geringen Wanddicke und eine Restspannung in dem Bereich von -41,37 bis -68,95 N/mm² hat.

13. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenwand (50) aus einem Material besteht, das eine ausgewählte Sprödigkeit hat und das in ausgewählter Weise isotrop ist, so dass gleichmässige kleine Kraterzacken (50a) darin abgewandt von dem Bereich der Zerstörung aufgrund der Beschädigung durch ein Geschoss gebildet werden.

14. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1, 6 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die zentrale Büchse (48) aus miteinander verbundenen Schichten von Laminaten besteht und dass die Innenwand (50) mit ihr durch eine Grundierung verbunden ist, die in die inneren Lamine eindringt, so dass diese von Grundierung durchdrungenen inneren Lamine und die Innenwand (50) in dem Bereich des Geschossaufpralls während der Geschosseinwirkung gemeinsam weggeräumt werden, und zwar durch sich radial nach innen bewegende Druckspannungswellen, die in dem äusseren Gehäuse (46) erzeugt werden, durch sich radial nach aussen bewegende Druckspannungswellen, die an der Grenzfläche zwischen der zentralen Büchse (48) und der Innenwand (50) reflektiert werden, durch sich radial nach aussen bewegende Zugspannungswellen, die an der innenwandfreien Innenoberfläche reflektiert werden, und durch hydraulisch erzeugte Druckspannungen, oder die verbleibenden Kraterzacken werden am Ende des delaminierten Laminatgebietes rissig oder überbeansprucht, was zu niedrigeren Wegräumkräften an den Innenwandkraterzacken (50a) führt.

15. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenwand (50) eine durch Elektroplattierung hergestellte Nickelwand ist.

16. Stellantrieb nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke t der durch Elektroplattierung hergestellten Nickelinne wand (50) und die Kraft F der Betätigungsvorrichtung des beweglichen Teils zum Wegräumen der Innenwandzacken (50a) so gewählt sind, dass folgende Gleichung erfüllt ist:

$$F > \frac{K_2}{t}$$

wobei K eine Konstante ist.

17. Stellantrieb nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die durch Elektroplattierung hergestellte Nickelinne wand (50) eine Wanddicke zwischen 0,25 und 0,76 mm hat.

18. Stellantrieb nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die durch Elektroplattierung hergestellte Nickelinne wand (50) galvanisch verchromt ist.

19. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass der Werkstoff der Aussenwand (46) eine spezifische Zugfestigkeit von 1378,95 bis 1516,85 N/mm² und eine Bruchzähigkeit von 827,37 N/mm² in Längsrichtung und 551,58 N/mm² in Querrichtung aufweist.

20. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 5 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die spezifische Schallimpedanz und die spezifische Zugfestigkeit (UTS) zwischen der Aussenwand (46) und der zentralen Büchse (48) durch folgende Formel ausgedrückt werden können:

$$\frac{P_2}{UTS_2} = \left(\frac{2\rho_2 c_2}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \right) \frac{UTS_1}{UTS_2} = 4 \text{ bis } 5$$

wobei:

P_2 = Spannungswellenamplitude (Druck), die zu der zentralen Büchse (48) übertragen wird,

UTS_2 = spezifische Zugfestigkeit der zentralen Büchse (48) in radialer Richtung,

$\rho_2 c_2$ = spezifische Schallimpedanz der zentralen Büchse (48),

$\rho_1 c_1$ = spezifische Schallimpedanz der Aussenwand (46),

ρ_1 = Massendichte der Aussenwand (46),

ρ_2 = Massendichte der zentralen Büchse (48),

c_1 = Schallgeschwindigkeit in der Aussenwand (46),

c_2 = Schallgeschwindigkeit in der zentralen Büchse (48), und

UTS_1 = spezifische Zugfestigkeit der Aussenwand (46).

21. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Aussenwand (46) eine Wanddicke von etwa 3,18 mm hat, dass die zentrale Büchse (48) eine Wanddicke von etwa 9,02 mm hat und dass die Innenwand (50) eine Wanddicke zwischen 0,25 und 0,79 mm hat.

Die Erfindung bezieht sich auf einen hydraulischen Stellantrieb für militärische Geräte, mit einem Gehäuse, das mit einer tragenden Aussenwand versehen ist, einem beweglichen Teil, das innerhalb des Gehäuses angeordnet ist und gemeinsam mit diesem wenigstens eine Druckkammer zum Aufnehmen von Hydrauliköl zur Betätigung des beweglichen Teils innerhalb des Gehäuses begrenzt, und einer Vorrichtung zum Betätigen des beweglichen Teils innerhalb des Gehäuses nach Beschädigung durch ein Geschoss.

Auf dem Gebiet der Flugzeugsteuerung sind in der Vergangenheit Versuche unternommen worden, die Verletzbarkeit einer Flugzeugsteuerung durch Geschosse zu verringern oder zu eliminieren, indem der Zylinder und/oder der Kolben in gepanzerter Ausführung unter Verwendung herkömmlicher Panzerungstechniken hergestellt worden sind. Eine solche Panzerkonstruktion ist aus der US-PS 3 566 741 bekannt, die eine rohrförmige Panzerplatte beschreibt, welche aus einem aufprallsicheren äusseren Panzermantel und aus einem etwas weicheeren inneren Panzermantel besteht. Solche Konstruktionen haben sich als unzulässig schwer und gross erwiesen und eignen sich deshalb nicht zur Verwendung in Flugzeugen. Weiter haben sie nicht die erwünschte Schussfestigkeit erbracht.

Der Stand der Technik ist, wenn auch nicht notwendigerweise auf dem Gebiet der Flugzeugsteuerung, voll von Patentschriften, die Panzerungen zum Gegenstand haben, d.h. Vorrichtungen, die das Geschoss daran hindern, durch sie hindurchzugehen. Einige Beispiele für diesen Stand der Technik sind die US-PSen 3 977 294, 3 962 976, 4 061 815, 4 048 365, 3 924 083, 3 324 768, 3 813 281, 3 826 172, 3 930 452 und 2 391 535.

Gemäss der US-PS 3 577 306 werden Polymerlamine benutzt, um das Auftreten von Austrittskraterzacken zu verhindern, was im Gegensatz zu der Erfindung steht, welche sich damit befasst, Raum für die Kraterzacken (die auch als

Petalen bezeichnet werden) auf der Geschossaustrittsseite zu schaffen, damit die Kraterzacken eindringen können, ohne den Kolben zu blockieren.

Die US-PS 3 884 127 beschreibt eine Steuerung, bei der sowohl der Kolben als auch die Zylinderstopfbüchse, durch die sich die Kolbenstange erstreckt, so aufgebaut sind, dass sie abscherbar sind, um ein Blockieren oder Verklemmen des Kolbens oder der Kolbenstange zu verhindern. Der aus dieser US-Patentschrift bekannte Gegenstand hat jedoch den Nachteil, dass solche Flugzeugsteuerungen getestet werden müssen, um festzustellen, ob ihr Festigkeitsverband so ist, dass sie ohne Bruch oder dauerhafte Verformung das 2,5fache des normalen Betriebsdrucks, durch den der Kolben in dem Zylinder hin- und herbewegt wird, aushalten können. Dieses Testerfordernis verlangt, dass die Fläche des Kolbens wenigstens das 2,5fache der Fläche der Zylinderstopfbüchse ist, damit dieser Festigkeitsverband gegeben ist, wobei aber trotzdem eine Zylinderstopfbüchse vorliegen muss, die unter normalen Betriebsbedingungen nicht abscherbar ist. Dieses Erfordernis, dass die Kolbenfläche wenigstens das 2,5fache der Stopfbüchsenfläche ist, führt zu einer Steuervorrichtung mit grösserer Umhüllung und mit grösserem Gewicht als sonst notwendig. Dieses Umhüllungs- und Gewichtsproblem kommt noch zu der Tatsache hinzu, dass grössere Hydraulikkammern, die durch einen soliden Kolben gebildet werden, die Verwendung von mehr Hydrauliköl erfordern, was von dem Erfordernis begleitet ist, ein grösseres Hydraulikölzufuhr- und -abgabesystem vorzusehen. Darüber hinaus erzeugt so ein grosser Kolben Betriebskräfte, die grösser als normal sind und durch den übrigen Teil des Steuersystems aufgenommen werden müssen, weshalb das übrige Steuersystem entsprechend verstärkt werden muss, wodurch das Gewichtsproblem weiter vergrössert wird. Die US-PS 4 122 759 gleicht in der Offenbarung der o.g. US-PS 3 884 127.

Die US-PS 4 211 151 beschreibt ein Konzept zum Umhüllen der Kolbenstange einer hydraulischen Zylinder/Kolben-Vorrichtung in einem Steuersystem mit einer Büchse aus einem Material, das entweder zerbrechlich oder verformbar ist, so dass ein Geschossaufprall seine Zerteilung oder Verformung bewirkt und sich andere verformte Materialien in den Raum hineinbewegen können, der durch die zerteilte Hülse zurückgelassen wird, oder andere bewegte Teile das durch Geschossaufprall verlagerte Material weiter verlagern können, damit sich die Kolbenstange nach der Beschädigung durch einen Geschossaufprall weiterhin innerhalb der Büchse bewegen kann. Auf diese Art und Weise ist die Beweglichkeit der Kolbenstange in der Zylinderendwand gewährleistet. Der Zylinder selbst ist dagegen nicht geschützt. Hierzu sind noch besondere Massnahmen erforderlich; dazu bieten sich dem Fachmann die beschriebenen bekannten Ausführungen mit den erwähnten Nachteilen an.

Aufgabe der Erfindung ist es, auch das Gehäuse oder den Zylinder eines hydraulischen Stellantriebs so auszubilden, dass die Beweglichkeit des Kolbens in dem Zylinder gewährleistet bleibt und die Funktion der Blockiersicherheit vorhersehbar und wiederholbar ist, ohne dass mehr als ein Minimum an Gewicht und Raum benutzt zu werden braucht.

Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass das Gehäuse mehrteilig und aus verschiedenen Werkstoffen ausgeführt ist und eine zentrale Büchse aufweist, die satt anliegend in die Aussenwand eingepasst ist, aus zerbrechlichem Werkstoff besteht und an der Innenfläche mit einer verschleissbeständigen und schützenden Schicht versehen ist, die die Betätigung des beweglichen Teils in dem Gehäuse im Anschluss an das Auftreten der Beschädigung durch ein Geschoss nicht verhindert.

Bei diesem Stellantrieb ist dementsprechend die Dicke des äusseren Wandteils durch die Dauerfestigkeit oder durch andere Festigkeitserfordernisse des Stellantriebssystems bestimmt, und die äussere Wand besteht aus einem Material, dessen Bruchzähigkeit ausreichend niedrig ist, so dass die Kraterzacken der äusseren Wand eine vertretbare Tiefe nicht überschreiten und trotzdem die Bruchzähigkeit ausreichend gross ist, um die Systemfestigkeits-, -inspektions- und -dauerfestigkeitserfordernisse zu erfüllen, und bei dem ausserdem die Bruchzähigkeit und die Dauerfestigkeit oder andere Festigkeitseigenschaften sowohl in radialer Richtung als auch in Umfangsrichtung vorzugsweise soweit wie möglich gleich sind, damit eine in bezug auf die Richtung gleichmässige Kraterzackenbildung erzielt wird und bei dem schliesslich die spezifische Zugfestigkeit und das Schallimpedanzverhältnis bei der zentralen Büchse so sind, dass die Beanspruchungs- oder Spannungswellen, die in der äusseren Wand durch den Geschossaufprall und das Eindringen des Geschosses erzeugt werden, auf die zentrale Büchse mit ausreichender Stärke ausgeübt werden, um die zentrale Büchse an der Stelle des Geschossaufpralles zu zerteilen, so dass die zentrale Büchse örtlich weggeräumt wird, um eine Kraterzackenbildung der äusseren Wand in den so freigemachten Raum in der zentralen Büchse hinein zu gestatten, aber nicht so, dass die zentrale Büchse so weit zerstört wird, dass es zu einer Blockierung des Stellantriebs aufgrund irgendeiner Schrägstellung oder Hemmung des Kolbens kommt.

Die durch Geschosseinwirkung hervorgerufenen Anfangsdruckspannungswellen gehen von der äusseren Wand aus radial nach innen durch das Material der zentralen Büchse, so dass ein Teil jeder Anfangswelle an der Grenzfläche zwischen der zentralen Büchse und der inneren Wand reflektiert wird, um sich radial nach aussen als eine Druckspannungswelle durch das Material der zentralen Büchse hindurch weiterzubewegen, während der übrige Teil jeder Anfangswelle durch die innere Wand hindurchgeht, um an der innenwandfreien Oberfläche reflektiert zu werden und radial nach aussen durch die innere Wand und die zentrale Büchse als eine Zugspannungswelle hindurchzugehen, so dass die Druck- und die Zugspannungswellen gemeinsam das Material der zentralen Büchse und das Material der inneren Wand in der Geschossfluglinie wegräumen.

Durch einen Geschossaufprall auf die äussere Wand oder durch das Eindringen eines Geschosses in die äussere Wand werden vier Kräfte erzeugt, die gemeinsam die zentrale Büchse und die inneren Wandteile in der Geschossfluglinie zerteilen, und zwar werden sich radial nach innen bewegende Druckspannungswellen in dem äusseren Gehäuse erzeugt, sich radial nach aussen bewegende Druckspannungswellen werden an der Grenzfläche zwischen der zentralen Büchse und der inneren Wand reflektiert, sich radial nach aussen bewegende Zugspannungswellen werden an der innenwandfreien inneren Oberfläche reflektiert, und es werden hydraulisch Druckspannungen hervorgerufen.

Die zentrale Büchse des Hybridzylindergehäuses kann entweder aus Laminaten, Teilchen oder Lamellen aus ausgewähltem Material bestehen, so dass die zentrale Büchse eine geringe Zugfestigkeit gegenüber den Spannungswellen hat, die sich von der äusseren Wand aus radial nach innen bewegen, und dass die zentrale Büchse eine hohe Druckbelastbarkeit gegenüber radial nach aussen gerichteten Kräften hat, die auf sie durch das Hydrauliköl ausgeübt werden.

Die innere Wand verleiht dem Kolben, der sich auf ihr bewegt, eine verschleissfeste Oberfläche und kann ausserdem als chemischer Isolator für die zentrale Büchse dienen.

Die Innenwand des Gehäuses kann aus einem Material bestehen, das ausreichend spröde und ausreichend isotrop ist,

so dass darin ein gleichmässiges Muster von geradflankigen kleinen Kraterzacken, die von dem Zerstörungsbereich der zentralen Büchse weggerichtet sind, gebildet wird.

Die Innenwand des Gehäuses kann eine geringe Restspannung haben, wodurch jedwede Kraterzacken, die darin durch Geschosseinwirkung gebildet werden, aus geradlinigen Sternberstrissen resultieren, so dass die Kraterzacken durch den Kolben einer nach dem anderen weggeräumt werden, was zu einer im wesentlichen konstanten und minimalen Kraterzackenwegräumbelastung des Kolbens führt.

Die äussere Wand kann aus VIM/VAR-4340-Stahl, d.h. aus vakuuminduktionsgeschmolzenem/vakuumlichtbogenumgeschmolzenem Nickel-Chrom-Molybdän-Stahl mit 0,40% C bestehen, die zentrale Büchse kann entweder aus verbundenen Graphitlaminaten, epoxidgebundenen Hartstoffteilchen oder aus Lamellen aus gespritztem Molybdän bestehen, und die innere Wand kann aus Nickel durch Elektroplattieren hergestellt sein mit einer Wanddicke zwischen 0,254 und 0,762 mm.

Die durch Elektroplattieren hergestellte innere Nickelwand kann galvanisch mit Chrom überzogen und auf die endgültige Grösse geschliffen, und die zentrale Büchse kann einen Laminataufbau haben, mit dem aufgerauhten Umfang der inneren Wand durch Grundierung verbunden sein, die in die inneren Lamine eindringt, so dass nach dem Härten die inneren Lamine, die so durchdrungen worden sind, und der innere Wandteil durch den Aufprall und das Eindringen eines Geschosses gemeinsam weggeräumt werden oder leicht wegräumbare Kraterzacken bilden.

Das Gehäuse des Stellantriebes ist funktional, leicht herstellbar und bietet eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, dass es keine Blockierung aufgrund einer Beschädigung durch Geschosseinwirkung verursacht.

Während dem Betrieb ist das Gehäuse mit Hydrauliköl gefüllt, so dass ein Geschossaufprall auf das Gehäuse eine Versteifung des Gehäuses durch Flüssigkeitsdruck in dem Hydrauliköl bewirkt.

Ein 14,5-mm-Geschoss kann durch das Gehäuse hindurchgehen, ohne dass der Stellantrieb seine Beweglichkeit verliert, das Gehäuse ist 15% leichter als bekannte Stahlwandgehäuse, und es ist 440% leichter als das bekannte Panzerstahlwandgehäuse.

Ein Ausführungsbeispiel des Stellantriebs wird im folgenden unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigt

Fig. 1 in teilweise weggebrochener Darstellung Stellantriebe in Tandemanordnung, bei denen ein mehrteiliges Gehäuse aus verschiedenen Werkstoffen (Hybridgehäuse) benutzt wird und die zu Steuerungszwecken eine Flugzeugsteuerfläche in ausgewählter Weise positionieren,

Fig. 2 eine vergrösserte Längsschnittansicht eines Stellantriebes mit dem Hybridgehäuse,

Fig. 3 zu Erläuterungszwecken eine vergrösserte Teillängsschnittansicht der Wand des Hybridgehäuses,

Fig. 4 in ähnlicher Darstellung wie in Fig. 3 einen Teilwandabschnitt des Hybridgehäuses, die dessen Zustand nach dem Auftreffen, Eindringen und Hindurchgehen eines Geschosses zeigt, durch das Kraterzacken in dem äusseren Wandteil gebildet worden sind, die von den weggeräumten Teilen der zentralen Büchse und der inneren Wand aufgenommen werden, welche gemäss der Darstellung entweder vollständig oder teilweise frei von Kraterzacken ist,

Fig. 5 eine vergrösserte Teillängsschnittansicht der Wand des Hybridgehäuses, die die Anfangseinwirkung des Aufpralls eines Geschosses, den Anfang des Eindringens desselben sowie Spannungswellen zeigt,

Fig. 6 ein Diagramm, das die Kraterzackenabmessungen in

Prozent in Abhängigkeit von dem Verhältnis t/D zeigt, wobei t die Hybridgehäuseausenwanddicke und D der Durchmesser des drohenden Geschosses oder der drohenden Geschosse ist,

Fig. 7 ein Diagramm, das den Gesamteinfluss der Geschossgeschwindigkeit auf die Ausenwandkraterzackentiefe zeigt,

Fig. 8a eine durch Geschosseinwirkung in der Innenwand des Hybridgehäuses nach der Erfindung gebildete Kraterzacke zur Veranschaulichung der Kraft, die ein Stellantriebskolben aufbringen muss, um die Zacke im Anschluss an eine durch Geschosseinwirkung hervorgerufene Beschädigung wegzuräumen,

Fig. 8b die Kraterzacke in einer Endansicht und

Fig. 9 ein Sternberstrissmuster in der Innenwand des Hybridgehäuses, um zu veranschaulichen, wie durch die Kolbenbewegung aus dem Rissmuster gebildete Zacken einer nach dem anderen weggeräumt werden.

Die Erfindung wird im Zusammenhang mit hydraulischen Stellantrieben in einem Flugzeugsteuersystem beschrieben, es ist aber klar, dass die Stellantriebe durch jede andere Art von Fluid gesteuert und zum Steuern irgendeiner zu steuernden Vorrichtung benutzt werden könnten und dass statt Doppel-Zylinder/Kolben-Vorrichtungen, wie sie hier beschrieben sind, die Sicherheitsvorrichtung aus Ende an Ende angeordneten Zylinder/Kolben-Vorrichtungen irgendeiner beliebigen Antriebsart, beispielsweise mit einem Elektromotor oder mit einem manuell betätigten Hebel als Antrieb, bestehen könnte. Weiter wird der Stellantrieb zwar als eine typische hydraulische Zylinder/Kolben-Vorrichtung beschrieben, statt eines hin- und hergehenden Kolbens könnte das bewegliche Teil aber ebensogut irgend ein anderes bewegliches Teil sein, beispielsweise ein drehbares Teil innerhalb des Hydraulikzylinders, das sich in bezug auf diesen bewegt, um die Steuerfunktion zu erfüllen, oder es könnte irgend eine Kombination von Dreh- und Translationsbewegung erforderlich sein, wie in einem elektrischen Stellantrieb mit einem Schrauben- oder Schneckenantrieb.

Fig. 1 zeigt doppelte Stellantriebe 10, 12, die Teil eines Flugzeugsteuersystems 14 sind und zum ausgewählten Positionieren eines Flugzeugsteuerteils 16 gemäss den Befehlen des Flugzeugsteuersystems dienen, welches die dargestellten hydraulischen Steuereinrichtungen 18 enthält. In der hier beschriebenen bevorzugten Ausführungsform sind die Stellantriebe 10 und 12 gleich, weshalb nur der Stellantrieb 12 beschrieben wird. Der Stellantrieb 12 (vgl. Fig. 2) hat ein zylindrisches Gehäuse 20, bei dem es sich um ein Hybridgehäuse handelt, das im folgenden noch ausführlicher beschrieben ist. Das Hybridgehäuse 20 umschliesst einen Kolben 22, so dass Kammern 24 und 26 auf entgegengesetzten Seiten desselben gebildet sind, die wahlweise unter Druck stehendes Hydrauliköl aus den hydraulischen Steuereinrichtungen 18 empfangen, so dass sich der Kolben 22 in dem Hybridgehäusezylinder 20 hin- und herbewegt. Eine Kolbenstange 28 geht in herkömmlicher Weise von dem Kolben 22 aus und erstreckt sich durch ein Zylinderwandteil 30, so dass ihr freies Ende nach ausserhalb des Zylinders 20 vorsteht und zusammen mit der Kolbenstange des Stellantriebs 10 mit einer Platte 32 verbunden werden kann, die ihrerseits in herkömmlicher Weise mit dem Flugzeugsteuerteil 16 verbunden ist. Das Wandteil 30 hat herkömmliche Dichtungen 34, 36, 38 und 40 sowie einen Abstreifring 42 und wird durch eine Mutter 44 festgehalten. Die Endwand oder Stopfbüchse 30 des Stellantriebs 12, die in Fig. 2 gezeigt ist, könnte auch durch die zerbrechbare Stopfbüchse ersetzt werden, die aus der US-PS 3 884 123 bekannt ist.

In einer Steuervorrichtung 14 der in Fig. 1 gezeigten Art

können die Stellantriebe 10 und 12 in herkömmlicher Weise hydraulisch gesteuert werden, um gemeinsam eine Steuerfläche 16 in ausgewählter Weise zu positionieren, wobei diese Steuerfläche 16 entweder durch den Stellantrieb 10 oder durch den Stellantrieb 12 allein gesteuert werden kann und wobei dann, wenn entweder der Stellantrieb 10 oder der Stellantrieb 12 durch Geschosseinwirkung beschädigt ist, die Steuerfläche 16 durch den unbeschädigten Stellantrieb gesteuert werden kann, solange die durch Beschuss hervorgerufene Beschädigung des beschädigten Stellantriebes keine Blockierung des Kolbens verursacht. Zum Vermeiden der Blockierung des Kolbens durch Geschosseinwirkung wird das Hybridgehäuse 20 benutzt, das nun beschrieben wird.

Zu Erläuterungszwecken ist in Fig. 3 ein vergrösserter Abschnitt des Hybridgehäuses 20 gezeigt, das aus einer Ausenwand 46, einer zentralen Büchse 48 und einer Innenwand 50 besteht, die satt aneinander anliegen und miteinander verbunden sind, so dass sie eine einstückige Wand bilden, wobei aber die Geometrie und das Material, aus welchem die Ausenwand 46, die zentrale Büchse 48 und die Innenwand 50 hergestellt werden, in ausgewählter Weise so gewählt werden, dass sie in Zusammenwirkung eine Kolbenblockierung verhindern, falls ein Geschoss auftreffen und aufgehalten werden sollte oder auftreffen, eindringen und durch das Hybridgehäuse 20 hindurchgehen sollte. Das zu erreichende Ziel ist in Fig. 4 gezeigt, in der das Auftreffen, Eindringen und Hindurchgehen eines Geschosses durch die Ausenwand 46 Spannungswellen in der Ausenwand erzeugt hat, die auf die zentrale Büchse 48 und die Innenwand 50 mit ausreichender Intensität ausgeübt worden sind, so dass Teile der zentralen Büchse 48 und der Innenwand 50 in der Nähe des Geschossaufpralls zerteilt und weggeräumt worden sind und Ausenwandkraterzacken 52 und 54 radial nach innen in den weggeräumten Bereich der Teile 48 und 50 vorstehen können, allerdings bis zu einer ausgewählten maximalen Zackentiefe MPD, die die Dicke der zentralen Büchse 48 und der Innenwand 50 nicht übersteigt, so dass im Anschluss an eine durch Beschuss hervorgerufene Beschädigung der Kolben 22 sich weiterhin blockierungsfrei innerhalb des Hybridgehäuses 20 hin- und herbewegen kann, wobei die Antriebskraft ausgenutzt wird, die auf ihn durch den zweiten Stellantrieb oder durch andere Arten von Vorrichtungen, die oben beschrieben sind, ausgeübt wird. Die Bewegung des Kolbens 22 wird dazu führen, dass jedwede Kraterzacke 50a, die in der Innenwand 50 durch Beschuss gebildet worden sind, weggeräumt werden.

Zum besseren Verständnis der Bedeutung des Aufbaues des Hybridgehäuses 20 wird auf Fig. 5 Bezug genommen, um die Auswirkung zu beschreiben, die der Aufprall und das Eindringen eines Geschosses auf das Gehäuse haben. Wenn hier die Rede ist vom Aufprall oder Auftreffen des Geschosses, vom Auftreffen und Eindringen des Geschosses sowie vom Auftreffen, Eindringen und Hindurchgehen des Geschosses, so ist das so zu verstehen, dass dadurch dieselben Ergebnisse erzeugt werden. Wenn das Geschoss auf die Ausenwand 46 auftrifft und in diese eindringt, wie es in Fig. 5 gezeigt ist, wird eine Reihe von als Spannungswellen bezeichneten Druckwellen in der Ausenwand erzeugt, und aufgrund des ausgewählten Schallimpedanzverhältnisses zwischen der Ausenwand 46 und der zentralen Büchse 48 gehen diese Spannungswellen mit ausreichender Intensität durch die Grenzfläche zwischen ihnen hindurch und in die zentrale Büchse 48, so dass die radial gerichteten Drücke (d.h. Druck- und Zugkräfte), welche auf die zentrale Büchse 48 durch die durch sie hindurchgehenden Spannungswellen ausgeübt werden, bewirken, dass die zentrale Büchse 48 in der Nähe des Geschossaufpralls zerteilt und weggeräumt und mit ihr der Innenwandteil in der Nähe des Geschossaufprallbe-

reiches weggeräumt wird, so dass das in Fig. 4 gezeigte Ergebnis erzielt wird. Dieses Ergebnis besteht darin, dass mit dem Geschoss, das durch das Hybridgehäuse 20 hindurchgegangen ist, die zentrale Büchse und die Innenwandteile in unmittelbarer Nähe des Aufprallbereiches weggeräumt worden sind, so dass die in der Aussenwand 46 durch das Auftreffen, Eindringen und Hindurchgehen des Geschosses durch das Hybridgehäuse 20 gebildeten Kraterzacken in der Aussenwand eine kleinere maximale Kraterzackentiefe MPD als die kombinierten Wanddicken der zentralen Büchse 48 und der Innenwand 50 haben, wodurch dem Kolben 22 gestattet wird, sich in dem Gehäuse 20 ohne Blockierung hin- und herzubewegen.

Insbesondere sind bei einem Geschossaufprall die Spannungswellen in dem äusseren Gehäuse 46 Druckspannungswellen, d.h. im Vorzeichen kompressiv, und sie bewegen sich in radialer Richtung nach innen. Die Materialien, die für das äussere Gehäuse 46 und die zentrale Büchse 48 gewählt werden, sind so, dass die Grösse der anfänglichen Druckspannungswellen, die in die zentrale Büchse 48 gehen, in der direkten Fluglinie des Geschosses ausreichend ist, um sowohl die Graphitlamine als auch das Epoxidverbindungsmaterial zu pulverisieren, wenn die zentrale Büchse 48 den bevorzugten Laminataufbau hat, der im folgenden noch näher beschrieben ist. In von der Geschossfluglinie entfernten Bereichen werden die Graphitlamine intakt bleiben, aber das Epoxidverbindungsmaterial wird durch die durch es radial nach innen hindurchgehenden Druckwellen pulverisiert. Wenn jede Druckwelle den innersten Punkt der zentralen Büchse 48 erreicht, wird ein Teil von ihr über die Grenzfläche in die Innenwand 50 übertragen, und ein anderer Teil von ihr wird durch die Grenzfläche reflektiert, um zu einer Druckspannungswelle zu werden, die sich radial nach aussen bewegt. Derjenige Teil der Druckwelle, der in die Innenwand 50 geht, trifft auf die innenwandfreie Innenoberfläche und wird als eine Zugspannungswelle reflektiert, da sich das Vorzeichen der Spannungswelle umkehrt, wenn sie an einer freien Oberfläche reflektiert wird. Es ist somit zu erkennen, dass es nun zwei reflektierte Spannungswellen gibt, die auf das Material der zentralen Büchse 48 einwirken, nämlich erstens die Druckwelle, die an der Grenzfläche zwischen der zentralen Büchse 48 und der Innenwand 50 reflektiert wurde, und zweitens die Zugspannungswelle, die an der freien Innenoberfläche der Innenwand 50 reflektiert wurde. Diese Wellen liegen sehr nahe beieinander und können als ein Doublet behandelt werden. Die Amplitude der reflektierten Zugspannungswelle ist beinahe gleich der Amplitude der ursprünglichen Druckspannungswelle (etwa 5% kleiner) und dient dazu, beim Zurückgehen durch die bereits beschädigte Struktur der zentralen Büchse 48 die bereits delaminierte Graphitschicht abzurollen und den Delaminierungsbereich weiter zu vergrössern. Anschliessende Spannungswellen zeigen alle dasselbe Verhalten und verlagern deshalb das Materialversagen durch Laminatabschälung, Zerbrechen der Epoxidbindung, Laminatabschälung von der Geschossfluglinie zunehmend weiter nach aussen. Dieses Wellenumkehrkonzept ist ausführlicher in «Stress Waves in Solids» von H. Kolsky, 1963, Dover Publications, Inc., New York, beschrieben. Das Material der Innenwand 50 wird so gewählt, dass die durch die anfängliche Geschosseinwirkung hervorgerufene Spannungswelle eine ausreichende Zugspannung zu der Innenwand nach der Reflexion überträgt, damit die Spannungsamplituden etwas grösser sind als die spezifische Festigkeit des Innenwandmaterials, so dass die Innenwand zuerst versagt und von dem Punkt aus, wo die Geschossfluglinie die Innenwand schneidet, sternförmig birst. Diese Sternberstisse bleiben relativ gerade, und jedwede Innenwandkraterzacken, die durch Geschosseinwirkung

erzeugt werden, werden durch den Stellantriebskolben nacheinander weggeräumt. Das führt zu einer im wesentlichen konstanten und minimalen Zackenwegräumbelastung des Kolbens.

Das aufeinanderfolgende Hinweggehen von Druckwellen und Zugwellen über die durch Geschosseinwirkung delaminierten Lamine der zentralen Büchse 48 bewirkt, dass diese durch Biegebeanspruchung an dem Punkt brechen, wo die Laminierung endet. Das Material der Innenwand 50 hat eine ausreichende Bruchzähigkeit, so dass die darin aufgrund der vorgenannten Sternberstanfangsrisse gebildeten Kraterzacken (vgl. Fig. 9) gewöhnlich durch Biegebruch mit den Laminen der zentralen Büchse nicht vollständig weggeräumt werden, sondern anschliessend durch die Vorbeibewegung des Kolbens weggeräumt werden. Solche Innenwandkraterzacken sind auf der rechten Seite von Fig. 4 weggeräumt gezeigt, wobei aber in der Darstellung in Fig. 4 der Innenwandkraterzacken 50a und das damit verbundene innere Laminat 48a der zentralen Büchse 48 nicht weggeräumt worden sind und durch den Kolben 20 weggeräumt werden können oder nicht, je nach der Grösse des Kolbenhubes.

Es ist eine wichtige Lehre der Erfindung, dass die Hybridgehäuseaussenwand 46, die zentrale Büchse 48 und die Innenwand 50 in ausgewählter Weise bemessen und aus ausgewählten Materialien hergestellt werden, so dass das Ergebnis einer solchen durch ein Geschoss daran hervorgerufenen Beschädigung das in Fig. 4 gezeigte Aussehen hat, wodurch eine Kolbenblockierung vermieden wird. Die drei Teile 46, 48 und 50 des Hybridgehäuses 20 werden einzeln betrachtet, um die Wichtigkeit ihrer Bemessung und des zum Herstellen derselben gewählten Materials darzulegen.

Die Dicke t der Aussenwand 46 wird durch die Dauerfestigkeit oder durch andere Festigkeitserfordernisse des Systems diktiert, in welchem der Stellantrieb 12 benutzt werden soll, da die Aussenwand 46 das hauptsächlich tragende Teil des Hybridgehäuses 20 ist, während die zentrale Büchse 48 und die Innenwand 50 grundsätzlich keine tragenden Teile sind. Es ist wichtig, dass die Aussenwand 46 aus einem Material hergestellt wird, dass die gewünschte Stosswellenamplitude beim Geschossaufprall erzeugt, und dass ein ausreichender Teil dieser Amplitude zu der zentralen Büchse 48 und der Innenwand 50 übertragen wird, um das erwünschte Wegräumergebnis zu erzeugen, damit die Aussenwandkraterzacken eindringen können. Die Faktoren, die die Intensität der Spannungswellen festlegen, welche auf die zentrale Büchse 48 von der Aussenwand 46 her aufgrund eines auf diese auftreffenden Geschosses ausgeübt werden, sind erstens die spezifische Zugfestigkeit der Aussenwand 46 und die Art und Weise, auf die die Geschossbelastungsgeschwindigkeit diese scheinbare Festigkeit erhöht, und zweitens das Schallimpedanzverhältnis AIR oder K zwischen den Materialien der Aussenwand 46 und der zentralen Büchse 48. Das Schallimpedanzverhältnis muss ausreichend sein, damit die zentrale Büchse 48 durch die Spannungswellen in der Nähe des Geschossaufpralls entfernt (weggeräumt) wird, aber nicht so gross, dass die zentrale Wand 48 in dem Ausmass beschädigt wird, dass der Kolben 22 blockiert wird.

Die Gleichung für das Schallimpedanzverhältnis lautet:

$$AIR = \rho_2 c_2 \div \rho_1 c_1$$

wobei ρ_2 die Dichte des zentralen Wandteils, c_2 die Schallgeschwindigkeit in dem zentralen Wandteil 48, ρ_1 die Dichte der Aussenwand 46 und c_1 die Schallgeschwindigkeit in der Aussenwand 46 ist.

Die unten angegebene Gleichung, bei der AIR für diesen Fall angewandt wird, gilt für diejenigen Spannungswellen, die normal zu der Grenzfläche zwischen der Aussenwand

und der zentralen Büchse übertragen werden, und definiert die Amplitude der Spannungswelle in der zentralen Büchse, ausgedrückt als Druck P_2 :

$$P_2 = \left(\frac{2p_2 c_2}{p_2 c_2 + p_1 c_1} \right) P_1$$

wobei P_1 die Amplitude in dem Aussenwandmaterial und P_2 die Amplitude in dem Material der zentralen Büchse ist. Die Erfahrung hat gezeigt, dass ein Wert von P_2 , der vier- bis fünfmal grösser als die spezifische Zugfestigkeit des Bindemittels (Epoxidharzes) der zentralen Büchse ist, eine ausreichende Beschädigung der zentralen Büchse ergibt, damit ein ausreichendes Beschädigungsvolumen in der zentralen Büchse erzeugt wird, um Kraterzacken von der äusseren Wand aus das Eindringen ohne weitere nachteilige Folgen zu gestatten. Die Erfahrung hat weiter gezeigt, dass Materialkombinationen, die zu einem Wert von P_2 führen, welcher das Fünfzehn- bis Zwanzigfache der spezifischen Zugfestigkeit von Teilchenmaterial – Bindemittel ist, zu einer derartigen Gesamtbeschädigung der zentralen Büchse führen wird, dass am Schluss eine Gefahr einer Blockierung besteht, weil unzureichend Material der zentralen Büchse und der Innenwand zurückbleibt, um den Kolben zu führen, und es daher zu einer Blockierung aufgrund Schrägstellens des ungeführten Kolbens kommen kann. Der Fachmann ist in der Lage, Materialien, die Spannungswellen mit geringerer Amplitude bilden (z.B. Titan), mit Materialien für die zentrale Büchse 48 mit verbesserter Schallimpedanz zu kombinieren (beispielsweise Borcarbid-Hartstoffteilchen, die durch einen Epoxidklebstoff miteinander verbunden sind, wobei das Teilchenmaterial der zentralen Büchse dazu führt, dass der Wert von P_2 fünfzehn- bis zwanzigmal so gross ist wie die spezifische Zugfestigkeit des Epoxids, wenn das Aussenwandmaterial hochfester Stahl ist), um dasselbe Ergebnis zu erzielen.

Es ist weiter die Erfahrung gemacht worden, dass ein Zustand der Radialkompression in dem Material der zentralen Wand 48 das Ausmass der Beschädigung des Materials der zentralen Wand durch die von der Aussenwand her übertragene Spannungswellenamplitude weiter verringern wird. Dieser Druckspannungszustand in dem Material der zentralen Wand 48 verändert nicht die übertragene Spannungswellenamplitude in irgendeinem merklichen Ausmass, sondern verändert das Ansprechen des Materials der zentralen Wand. Die Erfahrungen mit leeren Stellantriebsgehäusen und mit Hydrauliköl gefüllten Stellantriebsgehäusen zeigen, dass das primäre (grundlegende) Hybridgehäuse aus einem äusseren Teil aus hochfestem Stahl, einem zentralen Teil aus Graphit/Epoxid und einem inneren, durch Elektroplattierung hergestellten Nickelteil bei dieser Verringerung der Beschädigung des Materials der zentralen Wand noch in der oben beschriebenen Weise arbeiten wird. Der radiale Druckspannungszustand in dem Material der zentralen Wand wurde durch Flüssigkeitsdruck hervorgerufen, der seinerseits durch das Aufprallen des Geschosses auf das Aussenwandmaterial hervorgerufen wurde.

Es ist weiter wichtig, dass die Aussenwand 46 eine ausreichend hohe Bruchzähigkeit hat, um die Dauerfestigkeits- und andere Festigkeitserfordernisse des Systems zu erfüllen, aber eine ausreichend niedrige Bruchzähigkeit hat, so dass die in dem Aussenwandteil durch Beschädigung durch ein Geschoss gebildeten Kraterzacken nicht so lang sind, dass sie eine maximale Kraterzackentiefe MPD erzeugen können, durch die das Blockieren des Kolbens verursacht würde.

Die Bruchzähigkeit eines Materials ist der Widerstand des Materials gegen einen Riss in einem Spannungsfeld. Je länger der Riss in einem Gebäude ist, um so tiefer dringt der

Kraterzacken ein. Demgemäss ergeben Materialien mit höherer Bruchzähigkeit tiefere Kraterzacken als Materialien mit niedrigerer Bruchzähigkeit.

Es ist weiter wichtig, dass die Dauerfestigkeitseigenschaften der Aussenwand in der Längs- sowie in der Umfangsrichtung soweit wie möglich gleich sind, damit eine Aussenwand mit minimalem Gewicht erzielt wird. Tangentiale Dauerfestigkeitseigenschaften sind für dieses Erfordernis wichtig. Es ist weiter wichtig, dass die Bruchzähigkeit ausserdem in der Längs- sowie in der Umfangsrichtung soweit wie möglich gleich ist, damit Kraterzackenabmessungen nach dem Eindringen eines Geschosses vorliegen, die so gleichmässig wie möglich sind. Die Bruchzähigkeit beeinflusst die Kraterzackenabmessung, wie oben erwähnt, dahingehend, dass eine hohe Bruchzähigkeit tiefere Kraterzacken (d. h. eine grössere Kraterzackenabmessung) als eine niedrige Bruchzähigkeit verursacht. Auf dieselbe Weise würden starke Änderungen in der Bruchzähigkeit zwischen der Längsrichtung und der Umfangsrichtung zu einer bevorzugten Richtung für die Bildung von Kraterzacken führen, und es könnte dazu kommen, dass es weniger möglich ist, die Kraterzackenabmessungen und die erforderliche Dicke der zentralen Wand vorherzusagen. Die Möglichkeit, die maximale Kraterzackenabmessung vorherzusagen, ist ein wichtiges Merkmal des Hybridgehäuses.

Was die zentrale Büchse 48 anbelangt, so ist es wichtig, dass diese eine Schwächungszuggrundebeine relativ zu anderen Richtungen hat, d. h., dass sie eine geringe Zugfestigkeit in der Richtung radial einwärts hat. Bei normalen Stellantriebsbetätigungsdrücken und beim anfänglichen Durchgang der Druckspannungswelle wird die Schwächungszuggrundebeine unter Druckbelastung stehen. Die normalen Stellantriebsbetätigungsdrücke werden keine Beschädigung der Grundebeine verursachen, da die hervorgerufene Spannung der Schwächungsrichtung entgegengesetzt ist. Hohe Druckspannungswellendrucke, wie sie beim anfänglichen, radial nach innen erfolgenden Durchgang auftreten, werden zum Zerbrecen des Epoxidbindemittels in der bevorzugten Laminatausführungsform oder in dem Teilchenmaterial (epoxidgebundene Borcarbid-Hartstoffteilchen) führen, aber nicht in den Lamellen (flammgespritztes Molybdän). Zur allgemeinen Anwendbarkeit auf sämtliche drei Fälle der zentralen Büchse, nämlich auf Laminat, Teilchenmaterialien und Lamellen, sollte die reflektierte, radial nach aussen gerichtete Zugspannungswelle als die Hauptursache für die Zerstörung der zentralen Büchse 48 angesehen werden. Es sei angemerkt, dass in denjenigen Materialien der zentralen Büchse, bei denen Epoxidharz als Bindemittel benutzt wird, sowohl die Druckspannungswellen als auch die Zugspannungswellen eine Beschädigung verursachen, die oben als ein Materialversagen durch Zerbrecen-Abschälen-Zerbrecen beschrieben worden ist. Bei dem flammgespritzten Molybdän ist die hauptsächliche Art des Versagens das Abschälen, während das Zerbrecen beträchtlich wenig (oder praktisch nichts) zu dem Versagen beiträgt, das den grundlegenden Wegräumvorgang ergibt. Weiter sollte die zentrale Büchse 48 gute mechanische Eigenschaften in Richtungen orthogonal zu der radialen Richtung haben, so dass Durchbiegungen der äusseren Wand 46 unter normalen Betriebsbedingungen nicht Dehnungen hervorgerufen, die unerwünschte Verschlechterungen dieser Eigenschaften verursachen (d. h. zyklisch hervorgerufene Moduländerungen oder eine sich steigernde Beschädigung durch Ermüdung, die die Leistungsfähigkeit des Stellantriebssystems verschlechtern würden).

Der Zweck und die erforderlichen Eigenschaften der Innenwand 50 bestehen darin, dass sie in der Lage sein muss, das Material in der zentralen Büchse 48 vor jedweder uner-

wünschten Auswirkung, die das Hydrauliköl auf es haben kann, zu schützen. Die Innenwand 50 dient ausserdem als Unterlage für einen galvanisch aufgetragenen Chromüberzug, der seinerseits als verschleissarme Lauffläche für den Kolben 22 dient. Die Innenwand 50 muss eine hohe spezifische Zugfestigkeit und eine entsprechende grosse Härte haben, wie beispielsweise $R_c 51,5$ (nominal). Das Innenwandmaterial muss spröde sein und muss Restspannungseigenschaften haben, etwa $-68,95 \text{ N/mm}^2$ kompressiv, da diese geringe Restspannung bewirkt, dass geradlinige Sternberst-
risse in der Innenwand durch Beschädigung durch ein Geschoss gebildet werden, wobei die Richtung der Risse in dem Sternberstmuster vorhersagbar ist, so dass, wenn Innenwandkraterzacken durch Beschädigung durch ein Geschoss gebildet werden, der Kolben 22 nur einen solchen Kraterzacken gleichzeitig wegräumen muss. Das führt zu einem ziemlich gleichmässigen Plateau der erforderlichen Wegräumbelastung für das Steuersystem.

Es hat sich gezeigt, dass durch Elektroplattierung aufgetragenes Nickel ein gutes Material für die Innenwand 50 ist. Das Aufbringen des Nickels durch Elektroplattierung kann auf einem Dorn erfolgen, welcher dann als ein Werkzeug beim Aufwickeln der Lamine der zentralen Büchse 48 benutzt werden kann. Dieses durch Elektroplattierung niedergeschlagene Nickel kann ausserdem in mehreren gewünschten Längen hergestellt werden, die es gestatten, die Innenwand und die zentrale Büchse durch automatische Maschinen herzustellen und dann dieselben auf Länge abzuschneiden und anschliessend den Dorn zu entfernen. Nickel hat ebenfalls eine hohe Härte, eine grosse Festigkeit und eine relativ niedrige Dehnungsgrenze. Seine Bruchzähigkeit ist ebenfalls gross, und zwar, weil die Innenwand 50 relativ dünn ist. Zur Verschleissverhinderung kann Nickel relativ leicht galvanisch mit Chrom überzogen werden, was für den Aufbau des Hybridzylinders sehr wichtig ist, da es die Herstellung dieses mehrteiligen Gehäuses so gestattet, dass jedwede Abweichungen der Toleranz, die durch das Aufbauen der verschiedenen Teile verursacht werden, bei dem galvanischen Überzugsprozess kompensiert werden können. Im Anschluss an das Zusammenfügen der Aussenwand, der zentralen Büchse und der Innenwand wird also die Innenbohrung der Innenwand 50 galvanisch mit Chrom überzogen und dann geschliffen, so dass die erforderlichen Toleranzen in dem Fertigschleifvorgang erzielt werden. Weiter hat es sich gezeigt, dass bei einer Nickelinnenwand die beiden inneren Lagen des Laminats der zentralen Büchse, wie beispielsweise Graphitlamine, fest an dem Nickel haften, trotz der durch Geschosseinwirkung hervorgerufenen Spannungswellen, die dort hindurchgehen. Das ist ein Vorteil beim Wegräumen der wenigen Nickelkraterzacken, die nicht mit der explodierenden zentralen Büchse weggeräumt werden, durch den Kolben. Die Nickelinnenwand reisst entweder an dem Punkt oder wird an diesem überbeansprucht, wo die Spannungswelle Graphitenden delaminiert hat, und wird deshalb spröde brechen. Das macht das Wegräumen der Nickelkraterzacken viel einfacher, wenn sich der Kolben 22 im Anschluss an eine Beschädigung durch ein Geschoss an ihnen vorbeibewegt. Die geringere Restspannung in dem Nickel führt zu einem vorhersagbaren Muster der Sternberst-
risse. Es kann gezeigt werden, dass die primären Kraterzackewegräumbelastungen durch Versagen beim Biegen der Kraterzacken der Innenwand 50, die durch die Beschädigung durch ein Geschoss nicht weggeräumt worden sind, verursacht werden, und zwar folgendermassen:

Spannung beim Versagen = $MC \div I$

wobei, wie am besten anhand der Fig. 8a und 8b verständlich wird,

M gleich dem Moment beim Versagen ist, d. h. Kraft $F \times$ Kraterzackenlänge a ,

C gleich der halben Dicke t der Wand 50 und 50a, d. h. gleich $0,5 t$, ist, und

I gleich $bt^3 \div 4$ ist, wobei b das Basismoment der Kraterzacke 50a ist;

durch Einsetzen ergibt sich:

Spannung beim Versagen = $\frac{2a}{t^2} \left(\frac{F}{b} \right)$, wobei $\frac{2a}{t^2}$ eine Konstante ist.

Es ist daher zu erkennen, dass die Spannung beim Versagen in der Nickelinnenwand 50 umgekehrt proportional zu dem Quadrat der Nickelinnenwanddicke t ist.

Eine mikrosekundenweise Analyse des Zustands der Spannungswellen in dem äusseren Gehäuse 46 und der zentralen Büchse 48 wurde auf 0,79 mm der Projektileindringung in das äussere Gehäuse durchgeführt. Durch diese Stufe der Eindringung existierte ein Minimum von sieben Spannungswellen in dem äusseren Gehäuse und der zentralen Büchse, und der Grad der Beschädigung in der zentralen Büchse schien so stark zu sein, dass eine weitere Analyse unnötig war. Das zeigte, dass die zentrale Büchse stark beschädigt wird und beginnt, in dieser Stufe der Eindringung auszuweichen. Die Untersuchung zeigte, dass die zentrale Büchse und die Innenwand keinen Einfluss auf die Kraterzackenbildung des äusseren Gehäuses 46 haben, da die maximale Kraterzackenbildung während der Endstufen des Eindringens des Geschosses in das äussere Gehäuse 46 aufzutreten scheint, wenn die zentrale Büchse und die Innenwand zerstört worden sind. Es wurde ausserdem festgestellt, dass aufeinanderfolgende Spannungswellen in dem äusseren Gehäuse 46 anscheinend gebildet werden, wenn Anfangsspannungswellen an der Grenzfläche zwischen dem äusseren Gehäuse 46 und der zentralen Büchse 48 und ausserdem an der freien Fläche der Innenwand 50 reflektiert werden, was zu einem Überlastungszustand führt, wenn die zurückreflektierten Wellen sich zu den Spannungen addieren, die durch das weitere Eindringen des Geschosses in das äussere Gehäuse 46 hervorgerufen werden. Umfangszuspannungen in dem äusseren Gehäuse 46 sind in einer gewissen Stufe des Eindringens stark genug, um Zugrisse hervorzurufen, und zwar in Längsrichtung und in tangentialer Richtung, bevor die Spannungswellen ein Versagen durch Scherung in der radialen Richtung verursachen, wodurch es zu einem typischen Versagen durch Stopfenausstoss (plug-out) beim Eindringen von Geschossen kommt. Tests bestätigten, dass die Endstufen des Eindringens eines Geschosses in das äussere Gehäuse die Kraterzackenabmessungen in dem hier beschriebenen Stellantrieb/Hybridgehäuse-Aufbau steuern. Spannungswellen durch Flüssigkeitsdruck scheinen in dem äusseren Gehäuse nicht nennenswert zu sein, bis das Geschoss teilweise in das Gehäuse eingedrungen ist, wenn jedoch das Geschoss tief in die Aussengehäusewand eindringt, führt der Spannungszustand in dem äusseren Gehäuse aufgrund des Flüssigkeitsdruckes zu einer beträchtlich geringeren Gehäuseverformung (Unrundheit) und zu einer kleineren effektiven Kraterzackentiefe. Es konnte weiter gezeigt werden, dass diese Flüssigkeitsdruckwirkung die Gesamtfläche der zentralen Büchse und der Innenwand, die zerstört wird, verringert, da der Flüssigkeitsdruck die Innenwand und die zentrale Büchse unter grosse stetige radiale Druckbeanspruchungen bringt, wenn die Zugspannungswellen bewirken, dass die zentrale Büchse und die Innenwand örtlich explodieren.

Als Beispiele für besondere Materialien, die sich bei der Verwendung für das Hybridgehäuse 20 als zufriedenstellend erwiesen haben, sei angegeben, dass die Aussenwand 46 aus VIM/VAR-4340-Stahl hergestellt werden kann, bei welchem es sich um einen doppeltvakuumgeschmolzenen Stahl handelt, der eine spezifische Zugfestigkeit zwischen 1378,95 und

1516,85 N/mm² sowie eine Bruchzähigkeit von 827,37 N/mm² in Längsrichtung und von 551,58 N/mm² in Querrichtung hat, was ausführlicher in dem Navy Report NAEC-AML-1947-21, Mai 1964, beschrieben ist. Die Aussenwand 46 könnte ausserdem aus der Legierung 300 M hergestellt werden, die eine spezifische Zugfestigkeit in dem Bereich von 1792,64 bis 1930,53 N/mm² hat. Daten über VIM/VAR 4340 und 300 M finden sich in dem MIL-HDBK-56 oder in dem Structural Alloys Handbook oder in anderen Handbüchern über Materialeigenschaften, und diese Werkstoffe können als Rohstoff von mehreren qualifizierten Rohstofflieferanten bezogen werden.

Die zentrale Büchse 48 wird aus ausgewähltem Material hergestellt, so dass sie durch Spannungswellen örtlich zerbrechlich ist oder örtlich zum Explodieren gebracht werden kann, damit das Material derselben weggeräumt werden kann. Die zentrale Büchse 48 kann aus Laminaten, Teilchenmaterialien oder Lamellen hergestellt werden. Wenn die zentrale Wand 48 aus Laminaten hergestellt werden soll, können Graphit/Epoxid-Lamine von Hand oder maschinell für diesen Zweck unter irgendeinem Winkel gewickelt und miteinander verklebt werden, und es ist vorzuziehen, die Schnittflächen des Graphits mit einem Material zu versiegeln, um heisses Hydrauliköl daran zu hindern, das Epoxidbindemittel zu verschlechtern. Eine dünne Schicht von galvanisch abgeschiedenem Nickel wäre ein typisches derartiges Versiegelungsmaterial.

Wenn die zentrale Büchse 48 aus Teilchenmaterial hergestellt werden soll, eignen sich für diesen Zweck Aluminiumoxid(Al₂O₃)- oder Borcarbid(B₄C)-Hartstoffteilchen, die durch Epoxidharz gebunden worden sind, das dann gehärtet worden ist. Wenn die zentrale Büchse 48 aus Lamellen hergestellt werden soll, kann Molybdänpulver bis zum schmelzflüssigen Zustand erhitzt und dann flammgespritzt werden, so dass einzelne, verbundene Lamellen oder Plättchen bis zur nötigen Wanddicke des zentralen Büchsenteils aufgebaut werden können.

Wenn die zentrale Büchse 48 aus Laminaten hergestellt werden soll, ist es wichtig, dass eine Grundierung, wie beispielsweise Meltbond 6726, zwischen der aufgerauten äusseren Oberfläche der Innenwand 50 und den Laminaten benutzt wird, damit die inneren Lamine durchdrungen werden und nach dem Härten eine feste und nachgiebige Verbindung zwischen den inneren Laminaten und der Innenwand vorhanden ist. Diese Verbindung dient zum Wegräumen der inneren Lamine aufgrund der durch Geschosseinwirkung erzeugten Spannungswellen oder hat zur Folge, dass die Innenwand durch die daran befestigten Lamine örtlich auf Biegung überbeansprucht wird, so dass das Wegräumen der Innenwandzacken, die zurückbleiben können, unterstützt wird. Es hat sich gezeigt, dass durch Elektroplattierung aufgebrachtes (chemisch niedergeschlagenes) Nickel ein gutes Material zur Verwendung als Innenwand 50 ist. Die Dicke des durch Elektroplattierung aufgebrachten Nickels der Innenwand 50 sollte für optimale Wegräumkräfte zwischen 0,25 und 0,76 mm liegen, die Dicke könnte aber kleiner oder grösser sein, je nach dem besonderen Verwendungszweck.

Das durch Elektroplattierung aufgebrachte Nickel hat eine ausreichend niedrigere Restspannung und ist ausreichend duktil, so dass jedwede Kraterzacken, die darin durch Beschädigung durch ein Geschoss gebildet werden können, durch den Kolben 22 mit einer angemessenen Wegräumkraft beseitigt werden können.

In der Praxis hat es sich gezeigt, dass ein typisches Hybridgehäuse 20, bei dem ein VIM/VAR-4340-Stahl von 1378,95 bis 1516,85 N/mm² und mit einer Dicke von 3,20 mm, eine zentrale Büchse aus laminiertem Graphit/Epoxidharz von

8,99 mm und eine durch Elektroplattierung hergestellte Nickelinnenwand von 0,76 mm benutzt wurden, sich als zufriedenstellend erwies.

Die Arbeit auf diesem Gebiet hat ergeben, dass es eine sehr wichtige Beziehung zwischen der Tiefe einer Kraterzackenbildung, die in der äusseren Wand 46 durch Beschädigung durch ein Geschoss verursacht wird, und dem Verhältnis der Dicke t der Aussenwand zu dem Durchmesser D des drohenden Geschosses gibt. Es wurde festgestellt, dass die maximale Kraterzackentiefe MPD auftritt, wenn das dimensionslose Verhältnis t/D gleich etwa $\frac{1}{3}$ ist, ungeachtet, aber nicht unabhängig von der Geschossgeschwindigkeit. Kleinere oder grössere Geschosse als dasjenige, dessen Durchmesser D das kritische Verhältnis $t/D = \frac{1}{3}$ bildet, werden eine kleinere Kraterzackenabmessung erzeugen. Es ist deshalb klar, dass die Hauptgefahr für eine Kolbenblockierung aufgrund der Beschädigung durch ein Geschoss auftritt, wenn für das Verhältnis $t/D = \frac{1}{3}$ gilt, da die maximale Kraterzackenabmessung MPD (Fig. 4) bei diesem Verhältnis auftritt. Diese bei $t/D = \frac{1}{3}$ auftretende Abmessung MPD diktiert die Dicke der zentralen Büchse 48, die erforderlich ist, um zu verhindern, dass die Aussenwandkraterzacken von der Aussenwand aus radial nach innen soweit eindringen, dass sie den Kolben blockieren.

Die Bedeutung dieses Kriteriums und seine Wichtigkeit für den Entwurf von Stellantrieben, wie beispielsweise Servoeinrichtungen, bei denen das hier beschriebene Hybridgehäuse benutzt wird, werden anhand von Fig. 6 deutlich. Gegenwärtig kann gezeigt werden, dass der Durchmesser der verschiedenen Geschosse, die für moderne Flugzeuge eine Bedrohung darstellen, 5,56, 7,62, 12,7, 14,5, 20,0, 23,0, 30,0 und 37,0 mm beträgt. Fig. 6 ist ein Diagramm, in welchem die Kraterzackenabmessung oder -tiefe PD über dem Verhältnis t/D aufgetragen ist, und es ist zu erkennen, dass die maximale Kraterzackentiefe MPD auftritt, wenn t/D gleich etwa ein Drittel ist. Es ist weiter zu erkennen, dass t/D -Verhältnisse, die sowohl kleiner als auch grösser als $\frac{1}{3}$ sind, eine kleinere Kraterzackentiefe erzeugen. 100% Kraterzackentiefe (MPD) waren bei dem hier beschriebenen Stellantrieb 11,53 mm.

Die Bedeutung der Feststellung, dass 100% Kraterzackentiefe (MPD) auftreten, wenn gilt $t/D = \frac{1}{3}$, liegt in der Tatsache, dass sie für alle Materialien, alle Geschosse, alle Geschwindigkeiten und alle Neigungen gilt.

Eine wichtige Funktion, die das Diagramm von Fig. 6 erfüllt, besteht darin, dass der Stellantriebsentwerfer anhand dieses Diagramms feststellen kann, wie gross die maximale Kraterzackenabmessung MPD sein wird. Wenn die Wanddicke der zentralen Büchse 48 gleich dieser Abmessung oder grösser ist, werden keine Kolbenblockierprobleme auftreten, wohingegen dann, wenn die Abmessung der Wand der zentralen Büchse kleiner als diese Abmessung ist, mit einer Kolbenblockierung zu rechnen ist. Aus praktischen Gründen muss jedoch die Dicke der zentralen Büchse auch unter dem Gesichtspunkt des Gewichtes betrachtet werden. Es wäre demgemäss nicht vernünftig, eine Kolbenblockierung dadurch zu vermeiden, dass die Wanddicke der zentralen Büchse übermässig gross gemacht wird, weil dadurch ein sehr schwerer Stellantrieb erzeugt werden würde. Das Diagramm, das in Fig. 6 gezeigt ist, ist ein sehr wichtiges Konstruktionshilfsmittel, weil der Innendurchmesser des Stellantriebs oder der Servoeinrichtung durch die Funktion festgelegt ist, die der Stellantrieb erfüllen muss, und dadurch wiederum ist der Innendurchmesser der Innenwand 50 festgelegt. Die Arbeit hat ergeben, dass die Dicke (zwischen 0,25 und 0,76 mm), die die durch Elektroplattierung hergestellte Nickelinnenwand 50 haben sollte, und damit diese Abmessung festgelegt ist.

Die Dicke t der Aussenwand 46 wird durch die Dauerfestigkeitserfordernisse dieses tragenden Teils diktiert, und sie wird deshalb unter Verwendung herkömmlicher analytischer Verfahren ermittelt. Wenn deshalb die Aussenwanddicke t und der Durchmesser (die Durchmesser) des drohenden Geschosses (der drohenden Geschosse) bekannt sind, kennt der Entwerfer auch das interessierende Verhältnis (die interessierenden Verhältnisse) t/D und kann Fig. 6 benutzen, um die maximale Kraterzackentiefe zu bestimmen, die bei dem Stellantrieb auftreten wird. Diese maximale Kraterzackentiefe MPD wird die Wanddicke der zentralen Büchse 48 festlegen, die zum Kompensieren der maximalen Kraterzackentiefe MPD erforderlich sein wird, ohne dass es zur Kolbenblockierung kommt, wie es in Fig. 4 gezeigt ist.

Die Geschwindigkeit des Geschosses hat eine sehr definierte Auswirkung auf die seitliche Beschädigung und die Kraterzackentiefe, welche durch den Aufprall, das Eindringen und das Hindurchgehen des Geschosses erzeugt werden. Das ist in Fig. 7 dargestellt. Fig. 7 zeigt, dass, wenn VIM/VAR-4340-Stahl für die Aussenwand 46 benutzt wird, die Geschossgeschwindigkeit, welche die grösste seitliche Beschädigung des Gehäuses und damit die grösste Kraterzackentiefe aufgrund der Beschädigung durch Geschosseinwirkung erzeugt, ungefähr die Geschossgeschwindigkeit $V_{50} + 60,96$ bis $91,44$ m/s ist, wobei V_{50} die Geschossgeschwindigkeit ist, bei der 50% der Geschosse durch das Ziel abgewehrt werden.

Das hier beschriebene Hybridgehäuse ist 15% leichter als die im Stand der Technik in Stellantrieben, wie beispielsweise Servoeinrichtungen, verwendeten Stahlgehäuse, und, wenn die im Stand der Technik benutzten Stellantriebsgehäuse so dimensioniert werden, dass sie zu einem Panzer werden, um ein Geschoss abzuwehren, würde das Gewicht eines so mächtigen Gehäuses das 4,4fache des Gewichtes des hier beschriebenen Hybridgehäuses betragen.

Das hier beschriebene Konzept des Hybridgehäuses könnte auch auf die Kolbenstange 28 angewandt werden,

aber in umgekehrter Reihenfolge, so dass die Aussen- und Innenwände vertauscht werden und sich auf entgegengesetzten Seiten der zentralen Büchse befinden, damit ein Geschoss, das auftritt und durch die hohle Kolbenstange 28 hindurchgeht, beim Eindringen Kraterzacken erzeugt, die in bezug auf die Stirnwand 30 kein Blockierproblem mit sich bringen, weil sie von dieser weggerichtet sind, aber Kraterzacken, die durch das Geschoss auf der entgegengesetzten Seite beim Verlassen der hohlen Kolbenstange 28 erzeugt werden, in den weggeräumten Teilen der zentralen Büchse 48 und der durch Elektroplattierung hergestellten Nickelinnenwand aufgenommen werden und deshalb keine Blockierprobleme zwischen der Stirnwand 30 und der Kolbenstange 28 mit sich bringen. Was das bevorzugte Verfahren des Herstellens des Hybridgehäuses 20 anbetrifft, so hat es sich gezeigt, dass die Innenwand 50 am besten hergestellt wird, indem durch Elektroplattierung Nickel auf einen ausgewählte Abmessungen aufweisenden Dorn aufgebracht wird und die Innenwand 50 galvanisch verchromt und in einem abschliessenden Arbeitsgang bei der Fertigung des zusammengebauten Hybridgehäuses durch Schleifen der Innenwand 50 auf die endgültige Grösse gebracht wird. Die Aussenwand 46 wird in herkömmlicher Weise mit der Wanddicke t hergestellt, die für die Tragfestigkeit erforderlich ist. Das in Fig. 6 gezeigte Diagramm wird dann benutzt, um die maximale Kraterzackentiefe zu ermitteln, die sich aufgrund des zu erwartenden Verhältnisses t/D ergibt. Diese Abmessung wird die Dicke der zentralen Büchse festlegen, und die zentrale Büchse kann in herkömmlicher Weise aus Laminaten, Teilchenmaterialien oder Lamellen hergestellt werden, wie es oben beschrieben worden ist. Schliesslich, wenn die zentrale Büchse 48 satt anliegend in der Aussenwand 46 angeordnet ist, wird die Innenwand 50 satt anliegend in die zentrale Büchse 48 eingefügt. Das Hybridgehäuse wird in herkömmlicher Weise gehärtet, so dass die drei Teile 46, 48 und 50 desselben zu einem integralen oder einstückigen zylindrischen Gehäuse miteinander verbunden werden.

Fig. 1

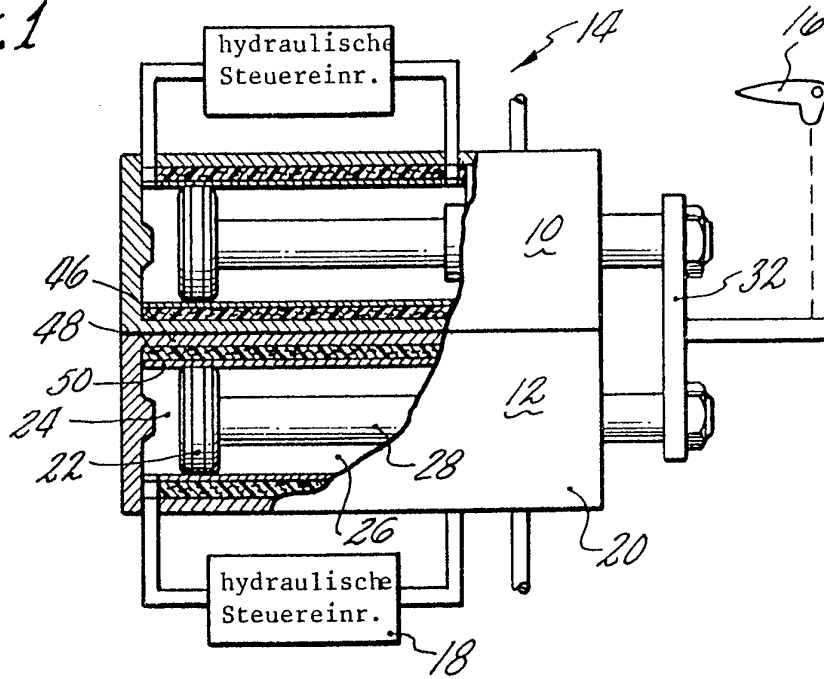


Fig. 2

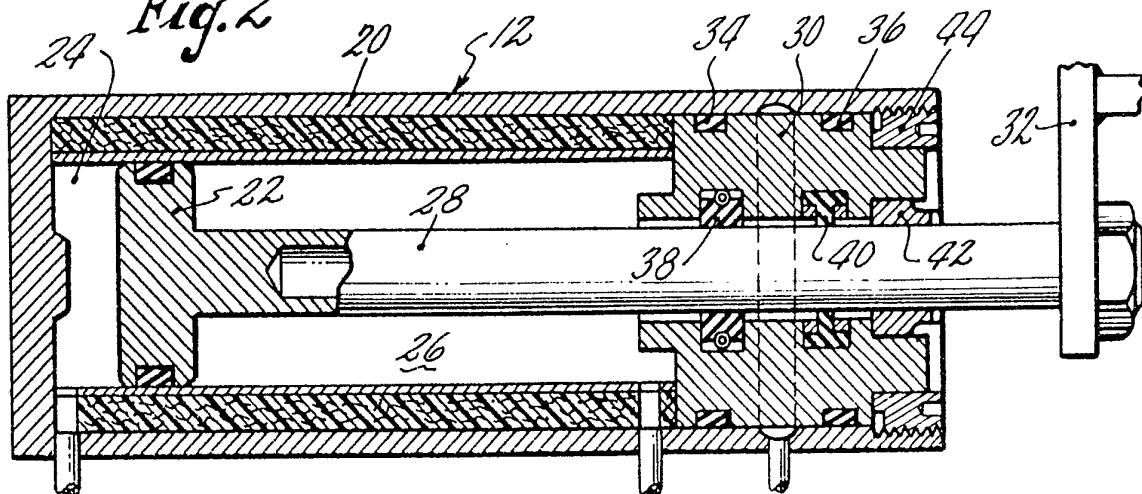


Fig. 3

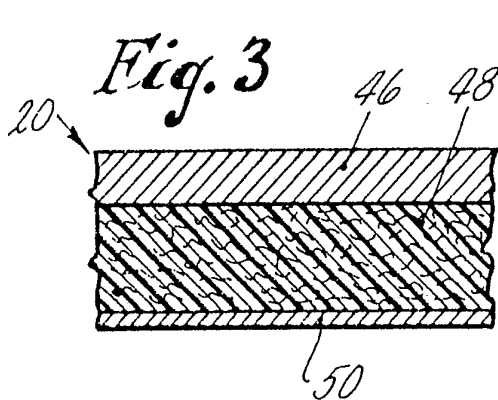


Fig. 4

