

## Laufschwingungen bei Präzisionswaffen

Läufe schwingen beim Schuss. Um das "wie" ranken sich viele Behauptungen und Vermutungen. Der technische Leiter einer kalifornischen Denkfabrik hat dazu einiges zu sagen, auch wenn einige seiner Konstruktionen als geheim eingestuft wurden. Der Schwerpunkt liegt auf Silhouetten-Waffen, die weit und präzise treffen, jedoch leicht sein müssen.



1. Silhouetten-Pistolen mit schwingungstechnisch bearbeiteten Läufen: Vorne Wassers "Feldschlange" aus den 80er Jahren, in der Mitte die "Production" mit 10  $\frac{3}{4}$  Zoll-Lauf und hinten die "Unlimited" von Sardec. Beide mit Verschluss, Abzug und Visiertunnel aus einer Titanium-Legierung.

**Text: Sam H. Goldstein**

**Fotos: Hans Mosimann, SHG, Juri A. Honegger**

Dass Läufe von Gewehren schwingen, ist schon länger bekannt. Die erste wissenschaftliche Untersuchung darüber dürften C. Cranz und K.R. Koch gemacht haben. Sie hatte den Titel "Untersuchungen über die Vibration des Gewehrlaufs" und erschien als "Abhandlung der 2. Classe" in der königlichen Akademie der Wissenschaften im 19. Band, 3. Abteilung. Begonnen wurde mit dem Mausergewehr Modell 71 und in der Einleitung wurde erwähnt, dass schon in den 30er Jahren des 19. Jahrhunderts beim Infantriegewehr 71 beobachtet wurde, dass der Abgangswinkel der Geschosse nicht mit der Laufseelenachse übereinstimmen würde. Major Weygand hätte 1876 dann in Leipzig publiziert, dass der Winkel bis zu einem viertel Grad variere – von Schuss zu Schuss und auch von Gewehr zu Gewehr. Eine Beeinflussung würde durch die Laborierung, aber auch durch die Anlage des Schaftes und die Lauflänge zu beobachten sei. Im "Compendium der theoret. äusseren Ballistik" von Cranz, das 1896 erschien, nahm dieses Phänomen immerhin schon 10 Seiten ein. Allerdings waren sich die Ballistiker vor 130 Jahren noch nicht einig, ob die Schwingungen – damals noch "Vibrationen" genannt - oder ausserballistische Effekte für die Streuungen mehr verantwortlich waren.

Cranz und Koch stellten dann am physikalischen Institut der technischen Hochschule Stuttgart am 30. November 1898 eine aufwendige Untersuchung vor, die sich mit Schwingungen und deren Auswirkung beim Schuss befasste. Sie wiesen Grund- und Obertöne beim Lauf des Gewehres 71 mit Sand auf aufgeklebten Papierstreifen, aber auch schon mit Funkenphotographie nach. Sogar Patronen mit elektrischer Zündung benutzten sie, um die Vibration des Schlagbolzens auszuschalten.

Obwohl diese Untersuchungen sehr aufwendig waren, zeigten sie nur wenig Lösungen auf, denn die verwendeten Messgeräte waren noch sehr einfach, sodass viele trefferrelevante Effekte nicht gefunden werden konnten. Dass die gefundenen Schwingungen bis auf die 5. Stelle hinter dem Komma analysiert wurde, täuschte lediglich die Genauigkeit bis auf 10 Mikrosekunden vor. Auch konnten mehrdimensionale Schwingungen zwar vermutet, aber nicht analysiert werden.

## **Schweizer Wissenschaft**

Spätere Untersuchungen am Frankfort Arsenal und bei Rheinmetall führten nicht wesentlich weiter. In den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts kam

Bewegung in die Szene, als der schweizer Physiker Guido J. Wasser bei der deutschen physikalischen Gesellschaft eine Untersuchung über Laufschrwingungen an einer Silhouetten-Pistole publizierte. Er leitete das Labor bei Sony und hatte die besten M3glichkeiten der Analyse von Schwingungen, zumal dies sein Spezialgebiet ist. Unter Akustikern – speziell in den USA – gilt er als findiger Analytiker, der auch in der elitären Audio Engineering Society durch raffinierte Ideen bekannt ist. Seine unkonventionellen Messmethoden waren schon in den 70er Jahren bei Studer-Revox in der Schweiz aufgefallen, sodass ihm Willi Studer himself als 24jährrigem die gesamte Akustikentwicklung und Lautsprecher-Fertigung anvertraut hatte. Danach baute er für drei HiFi-Zeitschriften in Deutschland und den Niederlanden ein gemeinsames Messlabor auf und gehörte zu den ersten Nichtasiaten, die zu japanischen Produktionen eingeladen wurden. Nachdem er das Institut Normtest, das sich mit Optik und Akustik befasst, konzipiert hatte, landete er bei Sony. Kurz zuvor hatte diese Firma das erste Heimvideosystem, Betamax, vorgestellt und der CD-Player stand auch schon in den Startlöchern. Was den japanischen Konstrukteuren nicht gelang, stellte das europäische Labor fertig und Betamax hatte nun HiFi-Ton in Stereo und die CD wurde weltweit nicht in Japan, sondern in Düsseldorf als serienreif vorgestellt. In der Zeit erschien Wassers Bass-Kochbuch in einem niederländischen Verlag und noch weitere interessante Publikationen, die als zentrales Thema eine kreative Schwingungsphysik hatten.

1982 wurde von einem Niederländer, einem Deutschen und einem Schweizer in Zürich die "Swiss Acoustic Research & Development Engineering Company" als Aktiengesellschaft gegründet. Nachdem ich in Rhodesien das Rundfunksystem aufgebaut hatte, wurde ich von SARDEC als technischer Leiter engagiert. Meine erste grosse Aufgabe war, für das junge Medium "Digital-Aufnahme" einen Referenz-Lautsprecher zu konstruieren. Für die vielen Detailprobleme setzten wir freiberuflich Spezialisten ein und ich engagierte Wasser für die Umsetzung des Bassbereichs. Als Perfektionist griff er nicht auf die von mir vorgesehenen, sündhaft teuren Chassis von JBL zurück, sondern liess bei Isophon in Berlin einen speziellen Tieftöner bauen, der deutlich besser für den Zweck geeignet und zudem noch preisgünstiger war. Hier lernte ich seine Devise kennen: immer möglichst nahe an die Perfektion, aber mit unkonventionellen Methoden das Ganze preiswert halten.

Obwohl er nur für die tiefen Klänge zuständig war, machte er Peter Walker von Quad/Huntington und Kazuo Okano von Panasonic in seiner charmanten Art so lange Verbesserungs-Vorschläge, bis sie diese nutzten und den Mittel- und Hochtonbereich umkonstruierten. Es war nicht von Übel, denn als ich das Endprodukt 1983 an der 73. AES Convention in Eindhoven vorstellte (Preprint No. 1968), wurde es als Referenz für digitale Produktionen akzeptiert. Später zog ich mit Sardec nach San Francisco, da der Monitor

sich in den kleinen europäischen Studios nicht durchsetzte. In den grossen Abhörräumen der USA war er ideal.

Ich hatte mich in den Staaten immer wieder mal mit schiessen und Wiederladen beschäftigt und wusste, dass Wasser ein passabler Schütze mit dem schweizer Karabiner 31 war. In den 80ern gehörte er zu den besten Auslandschweizer und war bei den Schweizer Schützen Köln einige Zeit Schützenmeister und später Präsident.

Wir befassten uns in den 70ern neben Akustik auch mit neuartigen Waffen und Patronen und machten erste Versuche mit Messungen von trefferrelevanten Laufschrägungen. Bald merkten wir, wie kompliziert dieses Thema ist und wie überrascht war ich, als ich plötzlich auf Wassers Publikation "Schwingungstechnische Analyse und Optimierung einer Sportpistole nach IHMSA-Regeln" stiess, die in "Fortschritte der Akustik", dem Jahresband der deutschen physikalischen Gesellschaft, erschienen war. Mit den Möglichkeiten seines High-Tech-Labors konnte er Schwingungen so gut analysieren, wie damals wohl sonst kaum jemand auf diesem Planeten. Hilfreich war wohl auch, dass Präsident von Sony Europa der schweizer Jack Schmuckli war und Schiessen als Nationalsport in diesem Land gilt. Wasser meinte mal, dass für ihn noch wichtiger der Hausmeister gewesen wäre, ein guter Schütze in einem deutschen Reservistenverband. Allerdings hätte er ihn die ersten Jahre kaum verstanden, da dieser nur kölner Dialekt gesprochen hätte.

## **Wassertropfen**

Für Spezialaufgaben im Subsonic-Bereich hatte ich eben die Patrone "338 WaterDrop" entwickelt, als ich Hilfe für einen Lauf mit integriertem Schalldämpfer benötigte. Die Patronen-Bezeichnung hat nichts mit dem schweizer Physiker zu tun, sondern rührt von dem 300 gr.-Geschoss her, das rückwärts fliegt und dadurch einem fallenden Wassertropfen ähnelt. Bei der Konzeption der Waffe kamen mir jedoch Wassers Ideen zu gute, der Laufschrägungen mittels Messmikrophonen (Druckempfänger) analysiert hatte. Daraus entstand ein Messverfahren, das Samuel Grossen bei SIG Arms für die Konzeption der schweizer Sturmgewehr 90 erfolgreich kopierte.

Anstelle der akustischen Druckaufnehmer setzte ich magnetische Wandler ein, die ich genauso dreidimensional über eine FFT-Analyse auswertete – ein Verfahren, das auf den Theorien von Fourier beruhte, aber erst jetzt erst praktikabel auswertbar war. Dadurch werden Analysen weniger durch Schallreflexionen gestört.

Aus all diesen Messungen stellte sich folgende Konsequenz für Gewehrläufe heraus:

1. Wichtig ist eine hohe Masse, die bei herkömmlichen Laufstählen vor allem durch grossen Durchmesser erzielt wird. Mehr Masse benötigt längere Zeit, um sie zum Schwingen anzuregen. Im Idealfall hat das Geschoss die Mündung schon hinter sich, bevor diese angeregt wird. Allerdings sind solchen Bestrebungen durch die gewünschten Maximalgewichte diverser Pflichtenhefte oder Sportordnungen Grenzen gesetzt.
2. Um das Gesamtgewicht nicht allzusehr anzuheben, ist es sinnvoll, Verschluss und Schaft aus einem leichten Material herzustellen. Holz ist meist leichter als die verwendeten Kunststoffe für Schäfte (abgesehen von den ganz teuren geschäumten Exemplaren in einer Aramid-Schale), aber der Verschluss kann aus Titanlegierungen gefertigt werden. Sofern die Verriegelung direkt im Lauf erfolgt, ist auch Alu als Verschluss-Material möglich. Allerdings haben dessen Legierungen recht hohe Ausdehnungen bei Temperaturerhöhung und neigen zur Spaltkorrosion – speziell in Verbindung mit Stählen (andere elektrochemische Wertigkeit) und Handschweiss.
3. Eine sinnreiche Laufkontur kann die trefferrelevanten Schwingungen stark reduzieren, ohne die Masse zu hoch werden zu lassen. Dabei ist folgendes zu beachten:
  - a. Sofern es sich innenballistisch verantworten lässt, sollten Läufe besser kurz und dick ausfallen. Neben dem schnelleren Geschossdurchgang lässt sich ein kurzer Lauf weniger biegen. Ein Lauf von 48 cm Länge und 20 mm Durchmesser wiegt genausoviel wie einer von 60 cm Länge, aber nur 18 mm Durchmesser. Die Biegesteife des kürzeren Exemplares ist jedoch weit höher. Also ist kurz und dick (auch hier) besser als lang und schmal!
  - b. Eine zylindrische Form hat nur wenige, aber dafür stark ausgeprägte Eigenresonanzen. Besser ist ein Konus, der vorne in einem Gewicht endet. Also hinten beim Patronenlager und bis zum Bereich des höchsten Druckes maximale Dicke, um Verformungen zu minimieren. Danach ein leichter Konus, der gegen vorne im Durchmesser abnimmt und dadurch keine parallelen Flächen bildet. Somit entfallen Eigenresonanzen, bzw. diese löschen sich gegenseitig aus und es entsteht ein akustisches Bandpass-Filter.
  - c. Kurz vor der Mündung steigt der Durchmesser in einem engen Radius wieder zur vollen Dicke an. Diese massive Mündung erhöht das Trägheitsmoment und vermindert das Aufgehen der Mündung. Speziell bei gehämmerten Läufen erreicht man damit einen etwas engeren Ausgang, was die Präzision und Lebensdauer fördert.

- d. Um Longitudinalwellen zu stören, ist es sinnvoll, auf der Lauflänge 2-3 Verdickungen stehen zu lassen, die so angeordnet sind, dass ein Teil der Welle reflektiert und ein anderer abgeschwächt durchgelassen wird. Bei optimaler Anordnung löschen sich die unterschiedlichen Phasenwinkel aus.

Wichtig ist, zu wissen, dass zwar die Schallgeschwindigkeit in der Luft um 330 m/s liegt, dieser sich jedoch im Laufstahl mit rund 2000 m/s fortpflanzt. Während das Geschoss im Lauf vom Ruhezustand bis zu etwa Mach 3 beschleunigt wird, startet die akustische Welle schon beim Auftreffen des Schlagbolzens auf dem Zünder mit Mach 6. Wenn in der Patrone die Treibladung angefeuert wird und der Druck steigt, ist die erste akustische Welle schon auf dem Weg zur Mündung. Dort wird sie reflektiert und trifft beim Rücklauf auf die zweite, weit energiereichere Welle, die durch den ansteigenden Patronen-Innendruck von 3000-4000 bar ausgelöst wurde. Wenn das Projektil sich aus der Patrone schiebt und noch ohne Drehung auf die Felder des Laufes trifft, regt die energiereiche zweite Welle schon die Mündung zu Schwingungen an. Nun wird das Geschoss ruckartig an den Feldern gebremst und gleichzeitig zur Drehung um seine Achse gezwungen. Diese Verformungsarbeit löst die dritte Längswelle aus und zieht noch eine Drehbewegung hinter sich her. Auf seinem Weg nach vorne lösen die Leistenkräfte eine Torsionsbewegung aus und der Gasdruck hinter dem Geschoss vergrößert den Laufdurchmesser. Auch diese Wellen laufen zur Mündung und schaukeln sich teilweise auf, sodass die Lauschwingungen immer kräftiger werden. Bis das Geschoss die Mündung erreicht, sind sie schon mehrfach zwischen dieser und dem Verschluss hin- und hergependelt. Je kleiner die Laufmasse im Verhältnis zur anregenden Energie und je ebenmässiger (zylindrisch) der Lauf, desto stärker sind die Laufausschläge, wenn das Geschoss endlich aus der Mündung in die Aussenballistik entlassen wird.

Sogar bei Kleinkaliber (.22 l.r.) sind diese Ausschläge nachweisbar. Am einfachsten ist dies bei Laufkürzungen festzustellen. Eigene Messungen, aber auch die von Liesa und Beurtheret zeigten die typischen Schwingungsbilder von Resonanzen. Bei der Originallänge des Laufes eines KK-Gewehres zeigte das Streuungsbild eine senkrechte Ellipse. Beim Kürzen schrumpfte diese zu einem Punkt und wurde danach horizontal, dann diagonal und danach wieder kreisförmig. Die Streuung nahm zwar stetig ab, da die Steife durch die geringere Länge zunahm, aber die Art der Trefferbilder ist typisch für Schwingungen. Daraufhin konzipierten wir einen Lauf für die Freipistole von Rhöner Sportwaffenbau, damit diese als Silhouetten-Pistole optimiert werden konnte. Mit der Serienwaffe gewann der Finne Nokio Jari 1995 auf Anhieb die Europameisterschaft in Norwegen – sogar in der Unlimited-Disziplin. Leider existiert die Firma nicht mehr, denn in der Präzision ist diese preisgünstige KK-Waffe kaum zu schlagen.

## Wärme

Läufe heizen sich durch die Schüsse auf. Einerseits durch die Verbrennungsgase in der Hülse und im Lauf, aber auch durch die Reibung der Geschosse an den Feldern und Zügen. Etwas reduzieren kann der Schütze diese Belastung, indem er die leere Hülse nach dem Schuss auswirft, bevor die Hitze das Lager erreicht. Allzuviel bringt das jedoch nicht, genauso wenig, wie der Ruf nach kälterem Pulver. Der Unterschied zwischen sogen. heissem und kaltem Pulver macht gerade mal 300 Celsius aus, also keine 15 Prozent der maximalen Verbrennungs-Temperatur.

Was jedoch sehr viel ausmacht, ist die Geschwindigkeit, mit der die brennenden Pulverteile durch den Lauf schmirgeln. Es ist eben nicht so, dass die Treibladung mehrheitlich in der Patronen-Hülse verbrennt und die Gase das Geschoss zur Mündung katapultieren. Der grösste Teil wird im Lauf verbrannt und bei den meisten Patronen sogar noch ein Teil vor der Mündung. Je schneller die harten, brennenden Pulverteile durch den Lauf schmirgeln, desto eher wird der Übergangskegel ausgebrannt, die Felder verrundet und die Präzision leidet. Bei Geschossgeschwindigkeiten über 1000 m/s hält ein Lauf nur noch einige hundert Schuss konstante Qualität. Im Bereich um 700 – 800 m/s kann man jedoch mit einigen 10.000 Schuss rechnen, bis Qualitätseinbussen merkbar werden. Das ist jedoch auch nur eine totale Einsatzzeit von weniger als einer Minute – bei einer Millisekunde pro Schuss. Allerdings sollte sich niemand beklagen, dass danach ein neuer Lauf für einige hundert Euro fällig wird, denn die verschossene Munition liegt im Bereich von vielen tausend Euro.

## Fluten

Das Fluten der Läufe wird oft als Wundermittel gegen Schwingungen und Hitze propagiert. Einige Hersteller behaupten sogar, dadurch die Läufe leichter und biegesteifer zu machen. Natürlich werden sie leichter – wenn auch nur wenig - wenn man Material wegnimmt. Aber biegesteifer werden sie natürlich nicht. Woher auch? Durch geschickte Anordnung der Flutungen können Schwingungen etwas reduziert werden, obwohl die Masse und damit das Beharrungsvermögen (Massenträgheit) sinkt. Allerdings kauft man sich durch Flutungen ein anderes Problem ein: Sind diese nicht sehr exakt im selben Abstand und mit exakt gleicher Wanddicke zur Bohrung, verbiegt sich der Lauf bei Erwärmung. Ähnliches passiert auch mit ungünstig angebrachten Alu-Teilen, da Aluminium eine deutlich grössere Ausdehnung bei Wärme hat als Stahl.

Gerade bei zylindrischen oder nur leicht konischen Läufen, die liegend geschossen werden, kann die Treffpunktlage langsam nach oben wandern. Liegt eine Flutung genau unten und wird das Gewehr wenig bewegt, sammelt sich in dieser Kehlung die heisse Luft. Steigt die Wärme über dem Lauf schnell weg, dehnt er sich unten mehr aus und verbiegt sich geringfügig nach oben. Ein paar Bogenminuten sind so erreichbar und drei davon machen auf 300 m rund 10 cm Treffpunktverlagerung aus. Also sollte unten ein Steg und keine Flutung sein. Dann kann die Hitze aufsteigen.

## **Farbe**

Schwarz mag schick aussehen und ist im militärischen Bereich sicher ein Argument. Dass durch dunkle Farbe die Wärme besser abgestrahlt wird, stimmt zwar, aber nur da, wo wirklich gestrahlt wird. Das ist bei Verbrennungsmotoren so – kurz vor der Glut. Gewehrläufe für sportlichen Einsatz sind jedoch weit von solchen Temperaturen entfernt. Im Innern treten zwar 2000 Grad Celsius für eine Millisekunde auf, aber dagegen hilft der Chromanteil. Was aussen den Lauf genausoviel aufheizen kann wie die Treibladung, ist die Sonneneinstrahlung. Stehen die Waffen während eines Durchganges immer wieder im Gewehrrechen in praller Sonne, ist deren Einfluss auf die Lauftemperatur höher als der Pulverabbrand.

Dass die Sonneneinstrahlung von hellen Flächen reflektiert, von dunklen jedoch absorbiert wird, ist altbekannt. Richtig bewusst wurde es mir jedoch, als im Gebirge eines Winters jemand Kaffepulver aus der Espressomaschine auf den Schnee verstreute. Nach zwei Tagen war der Schnee unter dem dunklen Pulver einen Meter tief geschmolzen. Nachdem ich ein schwarzes Teflonbrett, das in der Sonne getrocknet hatte, vor Schreck fallen liess, aber das weisse Pendant problemlos wegtragen konnte, legte ich zwei neue Läufe in die Mittagssonne. Nach einer Stunde zeigte der Fühler im Patronenlager unglaubliche 58 Grad Celsius beim silbern glänzenden stainless Steel. Das annähernd gleich schwere geflutete mattschwarze Exemplar im selben Kaliber zeigte gut 20 Grad mehr an. Aktuelle Pressemeldungen von wissenschaftlichen Erkenntnissen, dunkle Flächen würden besser vor Sonnenstrahlung schützen, sind Unsinn und deren Publizierung ist lediglich auf die Dummheit einiger Journalisten zurückzuführen.

Nun sind solche Temperaturen für den Stahl kein Problem. Aber Patronen reagieren leider recht empfindlich darauf. Heisses Pulver benötigt weniger Energie, um die Zündtemperatur zu erreichen. Dies kommt der Druckerzeugung zu gute. Somit ist bei Hitze die Geschossgeschwindigkeit höher, was zu anderen Laufschrägungen und zu einer gestreckteren Flugbahn führt. Also ziehe ich aus verschiedenen Gründen polierte stainless

Läufe den schicken schwarzen vor. Im Zielfernrohr stören Reflexe kaum und wenn doch, decke ich sie mit einem Flimmerband ab!

## **Lauf richten**

Besonders europäische Hersteller schöner Jagdwaffen beschäftigen einen Künstler, der verzogene Läufe wieder geradebiegt. Durch den Stress der Bearbeitung und das Abdrehen der Rohlinge entspannen sich diese etwas unregelmässig. Allerdings ist das recht gering und nur ein geschultes Auge erkennt beim Blick durch die Bohrung, dass die Kreise nicht konzentrisch, sondern leicht oval verlaufen. Von aussen ist meist nichts zu bemerken. Um der Schönheit willen biegt deshalb ein begnadeter Handwerker den Lauf so lange in die Gegenrichtung, bis auch er keine Abweichung von der Geraden mehr ausmachen kann. Ich bewundere solches Können, auch wenn es für die Schussleistung unsinnig ist.

Läufe erreichen erst nach einigen Dutzend Schuss ihr Optimum. Das liegt nicht nur an den noch etwas rauhen Zügen. Auch die Spannung muss aus dem Material herausgeschossen werden. Durch die heftige Belastung werden Spannungen praktisch herausmassiert. Die abgekürzte Methode wird durch längeres Kühlen erreicht. Ein vorher gerade gerichteter Lauf wird durch Entspannen meist wieder so krumm, wie er mal war, auch wenn dies kaum jemand sieht. Der Laufrichter sorgt also lediglich dafür, dass es länger dauert, bis eine konstante Treffpunktlage erreicht ist.

## **Drucksteigerung**

In einigen Wiederladebüchern wird immer noch erzählt, dass ein Heraussetzen der Geschosse bis an den Übergangskegel zu gefährlichen Drucksprüngen führen könne. Behauptet wird, wenn das Geschoss anliegen würde, müsse nicht nur die Auszugskraft aus der Hülse, sondern gleichzeitig die Kraft zum Einpressen in die Felder aufgebracht werden. Beide Kräfte würden sich addieren. Die Theorie klingt einleuchtend, aber offensichtlich hat das niemand ausprobiert, denn diese doppelte Komponente ist leider eine Ente:

Die Kraft die benötigt wird, um ein Gewehrgeschoss (ohne Crimp) aus dem Hals zu ziehen, entspricht beim Kaliber .30 (7-8 mm) zuerst maximal 20 kg, die sich innerhalb etwa eines Kalibers – bis das Geschoss herausfällt – auf Null reduziert. Dies geschieht annähernd linear, denn zuerst ist die Reibfläche am höchsten, und parallel zur Fläche, mit der das Geschoss gehalten wird, nimmt der Widerstand ab.

Die Einpress-Kraft in die Felder des Laufes beginnt mit Null und steigert sich innerhalb der Führung von rund 15 mm auf ca. 200 kg. Der Effekt ist zwar nicht linear, da Verformung und Reibung vorliegen, aber sie steigt, bis sie am Geschosheck ihr Maximum erreicht.

Eine Verdoppelung der Kraft kann somit nicht auftreten, denn die eine fällt ab während die andere erst ansteigt. Auch wenn diese Messungen rein statisch sind, spiegeln sie einigermaßen die Vorgänge beim Schuss. Durch die Massenträgheit des Geschosses ist der Effekt sogar noch günstiger. Der höchste Druck und die höchste Beschleunigung treten nach ca. 3 – 5 cm Geschossweg auf, und da sind Auszugs- und Einpresskraft schon längst nicht mehr wirksam. Für die Präzision ist ein Anliegen der Ogive an den Feldern im Übergangskonus besser. Dadurch wird das sonst ohne Drall anführende Geschoss nicht wieder abgebremst und zu einer Richtungsänderung durch die Felder gezwungen, sondern beginnt schon beim Anfahren mit der Drehung.

Dass diese Gegenthese mit der Praxis übereinstimmt, zeigten eigene Messungen, aber auch ein Grossversuch des renommierten deutschen Institutes DEVA. Man mass Druck und Geschwindigkeit bei verschiedenen Patronen, bei denen man die Geschosse bis zur Anlage herauszog oder in kleinen Schritten bis zu 6 mm hineindrückte. Natürlich immer bei identischer Ladung. Dabei traten weder die vorhergesagten höheren Drücke, noch Drucksprünge (höhere Streuung) auf, wenn die Geschosse nach vorne bis zur Anlage gesetzt wurden. Das Gegenteil ist der Fall. Wird das Geschoss weiter nach hinten gesetzt, reduziert dies den Brennraum, was wiederum höheren Druck ergibt. Bei der Patrone 7x57 wurde der Maximaldruck beim Anliegen an die Felder um 12,2 Prozent geringer als bei der Fabriklänge. Bei anderen Patronen im Bereich von .222 bis 8 x 68 S war die Reduktion nicht so hoch, sodass Friedhelm Kersting zum Schluss kam, dass: "...setztiefenabhängige Gasdruckänderungen vernachlässigbar sind!" Also dürfte diese alte Legende nicht nur durch die Logik, sondern auch durch Messungen einer honorigen Institution widerlegt sein. Nun bin ich gespannt, wie lange sie noch in der Wiederlade-Literatur erwähnt wird.

## **Silhouette spezial**

Gerade bei Waffen fürs Metallsilhouetten-Schiessen (siehe Grundsatzartikel in SWM 2-4/2002) ist eine Laufoptimierung gefragt. Bei den Pistolen und Revolver muss die erlaubte Lauflänge von 10  $\frac{3}{4}$  bzw. 15 Zoll ausgenutzt werden, um genügend Geschwindigkeit zu erreichen. Der schwere Widder steht 200 m entfernt und ist nur durch einen kräftigen Geschoss-Impuls von den Füßen zu werfen. Bei den beiden Gewehr-Disziplinen steht er sogar

500 m entfernt und muss nicht etwa liegend oder kniend, sondern stehend angepeilt werden.

Präzision ist auch gefragt, denn einige Ziele sind nur 2 MOA (Bogenminuten) hoch. Mit einem Benchrest-Gewehr wäre dies kein Problem, aber die erlaubten Waffen-Gewichte liegen in dieser Sportart viel niedriger. Von den maximalen 4,2 bzw. 4,5 kg bleiben nach Abzug eines Zielfernrohrs mit Montage lediglich 3,5 kg übrig. Bei Benchrest entspricht das gerade mal dem Lauf. Die leichten Silhouetten-Läufe verlangen geradezu nach einer Schwingungs-Optimierung. Ideal wäre ein Modell mit einem konischen Jagdlauf für die Hunting-Disziplin und einem optimierten Wechsellauf für die schwere Klasse. Das spart Flugkosten, denn die diesjährige WM findet in Südafrika statt und da zählt zwar nicht jedes Gramm, aber ein eingespartes Gewehr schon. In Neuhausen hatte man so etwas geschaffen, aber dann doch nicht ins Programm genommen. Jetzt arbeitet Krico daran.

## **Fazit**

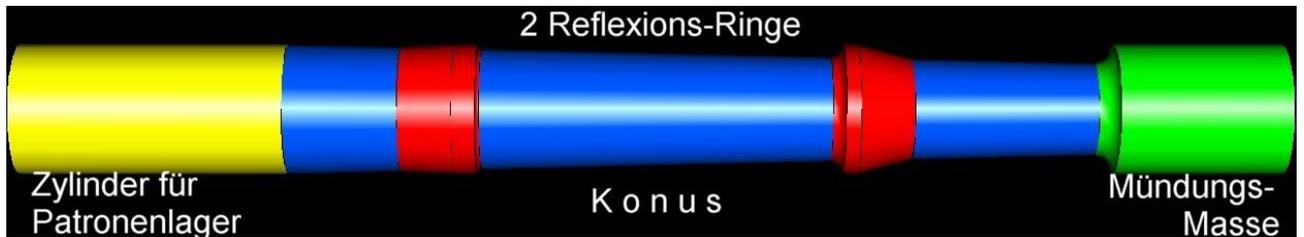
Wo ein schwerer Bull-Barrel aus Gewichtsgründen nicht eingesetzt werden kann, hilft eine spezielle Laufkontur weiter. Je weniger Masse eingesetzt werden darf, desto ausgeklügelter muss diese aussehen. Grundlage für ein Optimum bildet die moderne Schwingungsphysik. Dünne Läufe unter Zugspannung zu setzen bringt auch Vorteile, die jedoch durch den notwendigen, stabilen Laufmantel wieder relativiert werden. Ähnlich verhält es sich mit definierten Abstützungen am Vorderschaft, um Schwingungen abzuleiten.

Es gibt kein Patenrezept für gut schießende Läufe – nur wissenschaftliche Grundlagen, die geschickt kombiniert werden sollten. Dies jedoch beherrschen nur wenige.

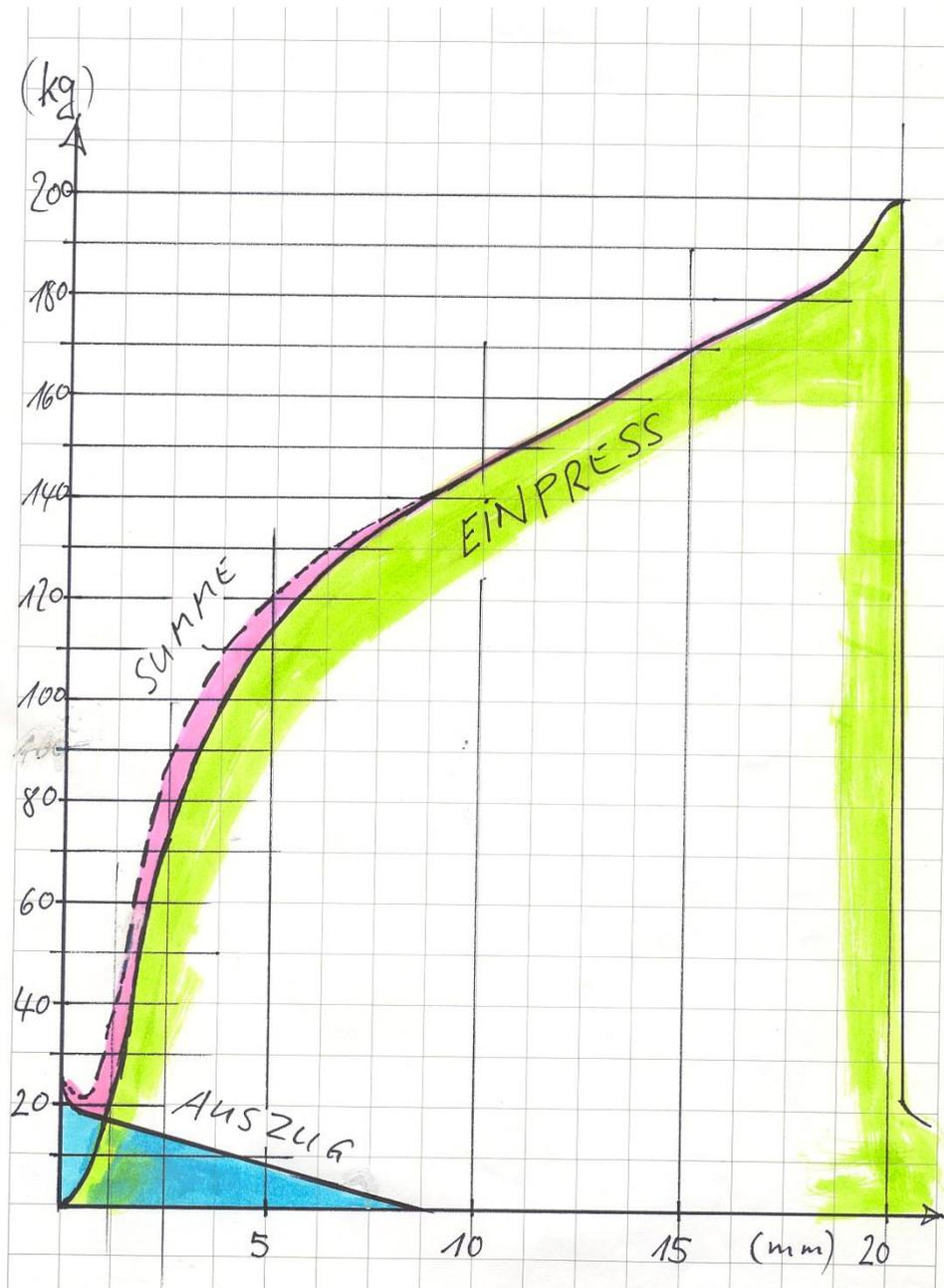
Illustrationen siehe nächste Seiten:



2. Der Lauf eines Gewehr-Prototypen von SIG stellt die momentan höchste Perfektion der Schwingungs-Optimierung dar. Links ein gehämmerter Rohling.



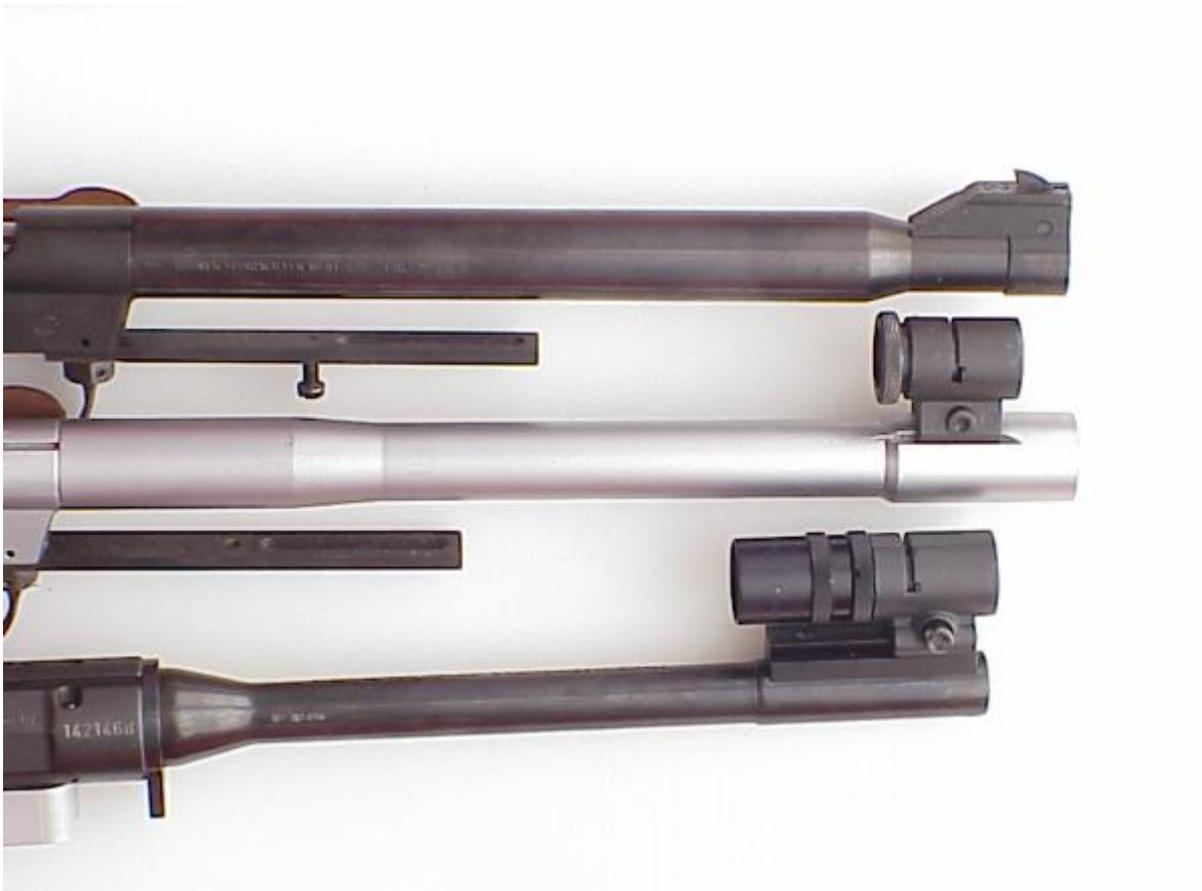
3. Schwingungstechnisch ideale Laufkontur, konstruiert aus einem Zylinder um das Patronenlager, gefolgt von einem Konus und einer dicken Mündung. Dazwischen Dämpfungs-Ringe.



4. Verlauf von Auszugs- und Einpresskraft bei der Patrone 7 GJW. Eine Addition der Kräfte, vor der immer noch gewarnt wird, findet nicht statt. Erst nach 27 mm Geschößweg erreicht die Ladung den höchsten Pulver-Druck!



5. Temperaturmessung im Patronenlager eines hell polierten Laufes bei Sonneneinstrahlung.



6. 22er: Unten der Hornet-Lauf von Anschütz's Feldpistole, oben der bullige der Tristar von Rhöner-Sportwaffenbau und in der Mitte ein schlecht schiessender Prototyp mit unsinnigem Profil.



7. Details eines schwarzen, gefluteten Laufes unter einem silberfarbenen Abstimmring.

#### Literatur:

Goldstein, S.H.: Optimierung einer Silhouetten-Pistole unter schwingungstechnischen und thermodynamischen Aspekten (Jahresband '99 der deutschen Arbeitsgemeinschaft Akustik)

Kersting/DEVA: Druck und Geschwindigkeit verschiedener Laborierungen (DWJ 1/93)

Liesa, Pascal: Unlimited resurrection (Silhouette France No.31 – Sept/Okt 1994)

Scovill, Dave: Firearm Pressure Factors (Wolfe Publishing, Arizona 1990; ISBN: 0-935632-85-9)

Wasser, G.J.: Laufschwingungsmessungen (DAGA-Jahrbuch 89, Seiten 303-306)