



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.

Silhouetten-Pistolen mit schwingungstechnisch bearbeiteten Läufen: Vorne Wassers «Feldschlange» aus den 80er Jahren, in der Mitte die «Production» mit 10-Zoll-Lauf und hinten die «Unlimited» von Sardec. Beide mit Verschluss, Abzug und Visiertunnel aus einer Titanium-Legierung.



am 30. November 1898 eine aufwändige 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.

sekunden vor. Auch konnten mehrdimensionale Schwingungen zwar vermutet, aber nicht analysiert werden.

Schweizer Wissenschaft

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

Da Berechnungen der optimalen Laufkontur sehr komplex sind, versucht man sich mit unterschiedlichen Formen und deren Messung dem Ideal empirisch zu nähern. Oben der Serienlauf einer RPM von Jim Rock und darunter Prototypen.

– 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 24-jährigem 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 vorgesehene, 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

Laufschwingungen bei Präzisionswaffen

- Text: Sam H. Goldstein
- Fotos: Hans Mosimann
- Sam H. Goldstein
- Guido J. Wasser
- Illustration: Juri A. Honegger

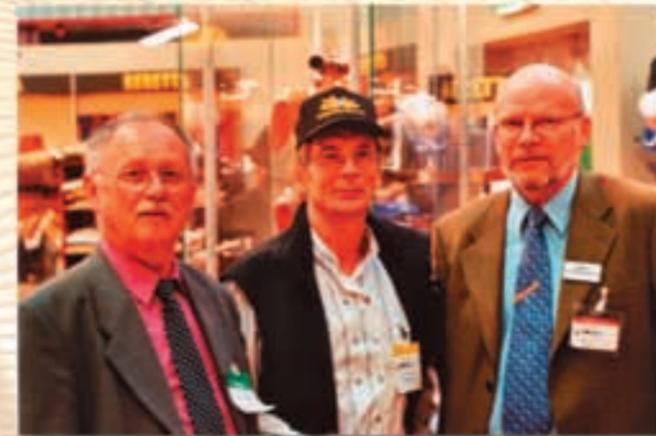
Das Läufe von Gewehren schwingen, ist schon länger bekannt. Die erste wissenschaftliche Untersuchung darüber dürften C. Cranz und K.R. Koch gemacht haben. Sie hatte den Titel «Untersuchungen über die Vibration des Gewehrlaufs» und erschien als «Abhandlung der 2. Classe» in der königlichen Akademie der 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 variiere – 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 aussenballistische Effekte für die Streuungen mehr verantwortlich waren.

Cranz und Koch stellten dann am physikalischen Institut der technischen Hochschule Stuttgart



Unterschiedliche Patronen benötigen unterschiedliche Lauflängen und regen diese mannigfach an. Bei der verkürzten .50 BMG (links) werden weit höhere Energien frei als bei der 7,65 Para (rechts).



Drei unkonventionelle europäische Ballistiker: Horst Grillmayr, Wien/Damaskus, Guido J. Wasser, Schweiz und Erkki Kauppi, Finnland (v.l.n.r.).

Obwohl diese Untersuchungen sehr aufwändig 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 Mikro-

sekunden in die Szene, als der Schweizer Physiker Guido J. Wasser bei der Deutschen Physikalischen Gesellschaft eine Untersuchung über Laufschwingungen an einer Silhouetten-Pistole publizierte. Er leitete das Labor bei Sony und hatte die besten Möglichkeiten der Analyse von Schwingungen, zumal dies sein Spezialgebiet ist. Unter Akustikern – speziell in den USA

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 Auslandschweizern 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 Laufschwingungen. 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 der 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 Laufschwingungen mittels Messmikrophonen (Druckempfänger) analysiert hatte. Daraus entstand ein Messverfahren, das Samuel Grossen bei SIG Arms für die Konzeption des Schweizer Sturmgewehrs 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 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 allzu sehr 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 Verschlussmaterial 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 schnellen 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 Exemplars ist jedoch dreimal 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

Schwingungstechnisch ideale Laufkontur, konstruiert aus einem Zylinder um das Patronenlager (gelb), gefolgt von einem Konus (blau) und einer dicken Mündung (grün). Dazwischen Dämpfungsringe (rot).



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

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 Laufschwingungen 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 ebenermassiger (zylindrisch) der Lauf, desto stärker sind die Laufaus schläge, 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 diejenigen von Liesa und Beurheret 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.

SWM