

Loopkarakteristiek, Positieve Compensatie en tunen

De accuratesse van een geweer is totaal afhankelijk van de specifieke combinatie loop, staartstuk, kolf en munitie. Het is daarom onmogelijk om "theoretisch" de resultaten te voorspellen. De spreiding van de kogels is voornamelijk bepaald door de stabiliteit van het 'lanceerplatform' waar de schutter natuurlijk ook onderdeel van uit maakt. Het moment van separatie is wanneer de kogel de loopmonding verlaat. De mate waarin de loopmonding in zijn uitgangspositie terugkeert en de stabiliteit zijn daarom heel belangrijk. De stabiliteit wordt bepaald en gecontroleerd door een complexe interactie tussen de verschillende componenten van het 'systeem'.

Eerst wat theorie

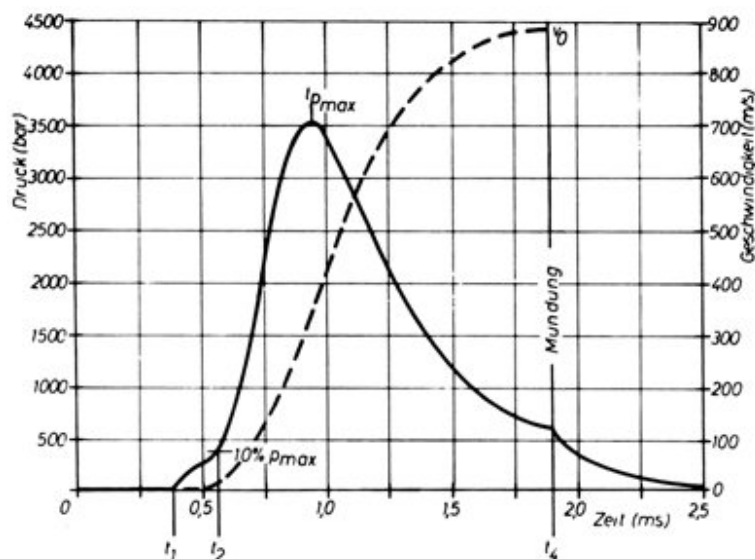
Vanaf het moment dat de schutter wil vuren, duurt het ongeveer 0,2 sec. voordat de trekkervinger het 'hersenbevel' heeft opgevolgd. De slagpin slaat ca. 0,005 sec. later tegen de ontsteking van de patroon. Daarna ontbrandt het kruit in de patroonhuls in 0,0004 sec. In totaal dus 0,2054 sec. Door de ontstekingsvlam van het slaghoedje wordt de kruitlading ontstoken en begint zich gasdruk te ontwikkelen. Pas wanneer er voldoende gasdruk is opgebouwd wordt de kogel uit de huls en vervolgens in de trekken en velden geduwd. Deze chemische reactie blijft doorgaan, zelfs nadat de kogel de loop al heeft verlaten. Na ca 0,004 sec komt de kogel los uit de huls en begint hij zijn traject door de loop. We zitten dan op 0,2094 sec. Vervolgens begint de kogel snelheid te maken totdat hij uiteindelijk de loopmonding verlaat. De looplengte van een klein kaliber sportgeweer bedraagt ca. 630mm en de kogel doet daar ca. 0,0024 seconde over. In totaal zijn er dan 0,212 seconden verlopen.

De meeste vuurwapens hebben spiraalvormige trekken en velden in de loop, waardoor de kogel tijdens zijn reis door de loop een rotatie meekrijgt. De kogel verlaat de loop met een snelheid van ca 325 m/s dat is 1152 km/h. en een rotatiesnelheid van 813 omw/sec. of 48768 omw/min.

De tijd die de kogel nodig heeft om zich door de loop te verplaatsen kunnen we *bij benadering* berekenen:

$$\text{Tijd} = (\text{looplengte} \times 4) / (\pi \times V_0)$$

tijd in seconden, looplengte in meters, V_0 = mondingsnelheid in m/s, $\pi = 3.14$



Voorbeeld van tijdverloop/gasdruk/kogelsnelheid in een groot kaliber geweerloop.

De getrokken lijn is het drukverloop in de loop, de gestippelde lijn is het snelheidsverloop van de kogel in loop.

Op de horizontale lijn de tijdschaal in milliseconde, de verticale lijn is de gasdruk in bar.

0 = slagpin raakt het slaghoedje

0 - t_1 = ontstekingsmiddel transformatietijd

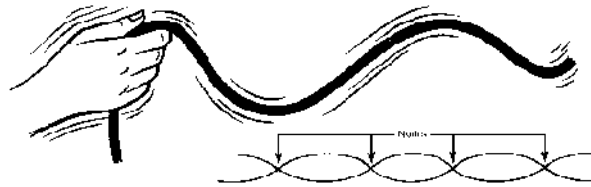
0- t_2 = ontsteking waarbij t_2 het punt van 10% maximale druk is. De kruitverbranding begint bij t_2 tot het verminderen van de gasdruk waar alle kruit verbrand is.

t_4 = het moment dat de kogel de loopmonding verlaat. De totale schotontwikkelingstijd is 0 - t_4 .

Vanaf het moment dat de trekker wordt overgehaald en de slagpen het ontstekingsmiddel laat ontbranden tot het moment dat de kogel de loopmonding verlaat werken er een aantal impulsen op het geweer, die allemaal in verschillende sterktes naar het staartstuk, de loop en de kolf worden doorgegeven. Deze impulsen zijn onder andere: de vangpal die de slagpin vrijgeeft, de slagpen die naar voren beweegt, de inslag van de slagpen, het naar voren bewegen en vervolgens stuiten van de patroon in de kamer. Dan begint het slagsas te ontsteken, en daarna de kruitlading te ontbranden. Bij voldoende gasdruk wordt de kogel uit de huls geduwd, beweegt de kogel naar voren en wordt via de overgangsconus de trekken en velden ingedrukt. Vanwege de spoed van de trekken en velden begint de kogel om zijn lengteas te roteren terwijl hij door de loop richting de loopmonding beweegt, daardoor een koppel opwekkend. Er ontstaat een cirkelvormige boog of oscillerend patroon in de loop. De hitte van de verbrandende kruitlading, samen met de drukgolf die opgewekt wordt door de expanderende gassen genereren eveneens een nog grotere in 3 dimensies oscillerende beweging in de loop.

Al deze bewegingen veroorzaken spanning in de loop en oscilleren met een aantal verschillende harmonische patronen welke, indien niet op enigerlei wijze gecontroleerd, veroorzaken dat de kogel de loopmondning verlaat op een ander moment in de sinusvormige trilling.

Iedere loop veroorzaakt harmonische trillingen (oscillatie) als een kogel wordt afgevuurd, ongeacht of het een grootkaliber, kleinkaliber of luchtgeweer is. De beweging die de loop maakt kan je voorstellen als driedimensionale sinusgolven en een kurkentrekkerbeweging die ontstaat wanneer de kogel door de trekken en velden in een snelle rotatie voortbewogen wordt.



Het is onmogelijk om iedere beweging van de loop te elimineren. Zelfs de dikste loop zal bij ieder schot bewegen, en iedere variatie in kogelsnelheid zal de positie van de loopmondning op het moment dat de kogel de loop verlaat veranderen. Deze bewegingen van de loopmondning zal de spreiding van de treffers laten toenemen. De meeste wapensmeden zijn het er over eens dat een loop vrij moet liggen om te kunnen buigen. Het idee hierachter is dat als de beweging van de loop niet opgeheven kan worden het beter is om hem op een constante wijze te laten bewegen. Dat is dan ook de reden dat wedstrijdgeweren een geheel vrij liggende loop bezitten en dat alleen het staartstuk contact met de kolf maakt en er stevig in bevestigd is.

Zware of lichte lopen

Zware lopen oscilleren, en lichte lopen oscilleren, maar ze oscilleren met verschillende frequenties en amplitudes (uitwijking). Een grote diameter (stijve) loop zal een hoge frequentie hebben met kleine amplitude, een loop met een kleinere diameter een lagere frequentie met grote amplitude. Als de kogel de loop verlaat in de dikke loop zullen verschillen in de kogelsnelheid resulteren in meer extreme (verticale) variatie van het trefpunt. De loop met de lagere frequentie zal een minder grote variatie tonen. Daar tegenover staat dat de stijvere loop een kleinere amplitude (uitwijking) heeft als de dünnere loop. Beide lopen kunnen daardoor grote accuratesse tonen. Het voordeel van de dünnere loop is dat de loop bij variërende omstandigheden (temperatuur etc.) langer "in tune" blijft en daardoor regelmatigere groepen produceert en makkelijker te 'tunen' is.

Dikke of dünnere lopen

Er bestaat geen definitief bewijs dat zware dikke lopen accurater zijn als lichte lopen. Hoewel een zware loop beter stil te houden is, hebben experimenten in schietbokken aangetoond dat het gewicht van de loop geen invloed heeft op de accuratesse. Zolang de loop bij ieder schot precies hetzelfde reageert, zullen alle kogels in een heel kleine groep treffen. Een groep schutters die overstapte van een lichte naar een zware loop waren de militaire grootkaliber teams. Toen ze de zware lopen begonnen te gebruiken veranderde de precisie van de geweren niet. In plaats daarvan waren de zwaardere geweren gemakkelijker stil te houden en was de opslag minder. Deze twee factoren deden de scores toenemen omdat de schutters met de zwaardere lopen en kleinere opslag beter hun er beter konden schoten konden benoemen.



Het ultieme groot kaliber benchrest geweer met een looppdiameter van meer dan 5cm!

Kogelsnelheid

De snelheid waarmee een kogel zich door de loop verplaatst heeft invloed op de wijze waarop de loop buigt en op-en-neer zwiëpt. Daarom moet de kogelsnelheid altijd zo constant mogelijk zijn, zodat de kogel de loopmondning bij ieder schot op precies dezelfde positie van de buiging verlaat. Vanwege diverse factoren en variabelen in de productie van munitie is dit slechts tot op zekere hoogte haalbaar. Een geringe spreiding in mondingsnelheid van ca. plus of min 3 tot 4m/s is onvermijdelijk.

Looplengte en mondingsnelheid

Niet alleen de temperatuur, luchtdruk en vochtigheid bepaalt de doorlooptijd en mondingsnelheid van de kogel. Ook de looplengte speelt een rol.

Onder 'Looplengte' wordt verstaan:

de afstand van de voorzijde van de grendel tot de loopmondning

Onder 'Effectieve Looplengte' wordt verstaan:

de afstand van de achterzijde van de kogel tot de loopmondning

De meeste klein kaliber munitie fabrikanten testen hun munitie onder Standaard Atmosfeer omstandigheden en met een speciale testloop van 650mm lengte.

In de 45^e editie van het Lyman Reloading Handbook is een tabel opgenomen die een richtlijn geeft voor de verhouding tussen looplengte geeft voor looplengtes tussen 20 en 26 inch (508 tot 660mm).

De in specificaties opgegeven looplengte is de afstand van de voorzijde grendel tot de loopmonding.

Geweer met mondingsnelheid tussen:

1000 en 2000 ft/s is de snelheids toename 5ft/s voor iedere inch looplengte toename (304 en 610m/s – 0.6m/s per cm)

2001 en 2500 ft/s is de snelheids toename 10ft/s voor iedere inch looplengte toename (610 en 762m/s – 1.2m/s per cm)

2501 en 3000 ft/s is de snelheids toename 20ft/s voor iedere inch looplengte toename (762 en 914m/s – 2.4m/s per cm)

3001 en 3500 ft/s is de snelheids toename 30ft/s voor iedere inch looplengte toename (914 en 1067m/s – 3.6m/s per cm)

3501 en 4000 ft/s is de snelheids toename 40ft/s voor iedere inch looplengte toename (1067 en 1219m/s – 4.8m/s per cm)

Indien je een andere looplengte hebt als de testloop van de fabrikant kan je de mondingsnelheid van je combinatie geweer-munitie bij benadering berekenen door de het verschil in looplengte te bepalen (in centimeters) en deze te vermenigvuldigen met de snelheidsfactor (het snelheidsverschil per cm looplengte).

Experimenten hebben aangetoond dat iedere looplengte groter dan 450mm de .22 kogel weer laat afremmen. De reden daarvan is de expansie ratio (de som van het volume van de loop en kamer gedeeld door het volume van de kamer) van de verbrandingsgassen. Als het kruid verbrandt wordt omgezet in gassen met een ca. 1000 maal groter volume, waardoor de gasdruk sterk oploopt als het gas in de kamer opgesloten blijft. De gasdruk loopt steeds verder op totdat de kogel uit de huls en in de trekken en velden wordt geperst. De maximale gasdruk in een .22LR loopt daarbij op tot ca. 559 bar. In de loop wordt de kogel tegengewerkt door de wrijvingsweerstand tussen kogel en inwendig loopoppervlak en door de massa van de luchtkolom die zich in de loop bevindt. Zodra de kogel zich door de loop begint te verplaatsen wordt het volume achter de kogel weer groter totdat er een punt wordt bereikt dat de gasdruk niet meer toeneemt.

Uiteindelijk zullen gasdruk en weerstand een punt van equilibrium bereiken, gevolgd door een omslag waarbij de weerstand groter wordt als de gasdruk. Als de kogel zich op dat moment nog in de loop bevindt (ca. 450mm vanaf de kamer) gaat hij vertragen.

Trilling- of loopkarakteristiek van een geweer

Trillingen in de loop, het staartstuk en de kolf zijn factoren die de zuiverheid van een geweer bepalen. Variatie in de kruidlading, ontstekingsmiddel, kogelgewicht en kogeldiameter veroorzaken verschillen in de tijd vanaf het moment dat het ontstekingsmiddel begint te ontbranden tot het moment dat de kogel de loopmonding verlaat: de tijd die de kogel nodig heeft om zijn weg door de loop af te leggen. Deze snelheidsvariaties zorgen er voor dat de kogels op verschillende plaatsen rond het richtpunt treffen. De maximale grootte van de spreiding van de treffers wordt de groepdiameter genoemd.

Grootkaliber schutters die herladen kunnen de spreiding beïnvloeden door het aanpassen (“tunen”) van de kruidlading in de patroon. De patroon wordt getuned naar de trillingskarakteristiek van het geweer. .22LR patronen kunnen niet herladen worden en kan dus ook niet naar de trillingskarakteristiek van het geweer getuned worden. Het systeem loop-staartstuk-kolf kan echter wel naar de patroon getuned worden.

Een snelheidsvariatie tussen 315 en 328m/s (1035 en 1075 ft/sec) is extreem maar geeft een goed voorbeeld.

Als een loop totaal onbeweeglijk zou kunnen worden opgesteld en twee patronen door de loop zouden worden afgevuurd, één met een snelheid van 315m/s en de andere met 328m/s zou er op 50m afstand een verticaal trefpunt spreiding van 4.4 millimeter zijn. Dit hoogteverschil wordt veroorzaakt door het verschil in de val (‘drop’) van de kogel.

Doel van het tunen is om compenseren voor snelheidsverschillen tussen de onderlinge patronen door er voor te zorgen dat de kogel de loopmonding verlaat wanneer de loopmonding zich in het gebied van zijn bovenste ‘dode punt’ bevindt waar de ‘verbuiging’ van de loop maximaal is en de verticale bewegingsnelheid minimaal is.

Tunen kan er voor zorgen dat een langzamere kogel onder een iets grotere verticale hoek wordt afgevuurd als een snellere kogel. Dit wordt Positieve Compensatie (Positive Compensation) genoemd. Met een totaal stijve loop is dit onmogelijk.

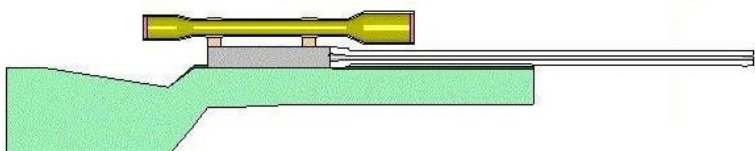
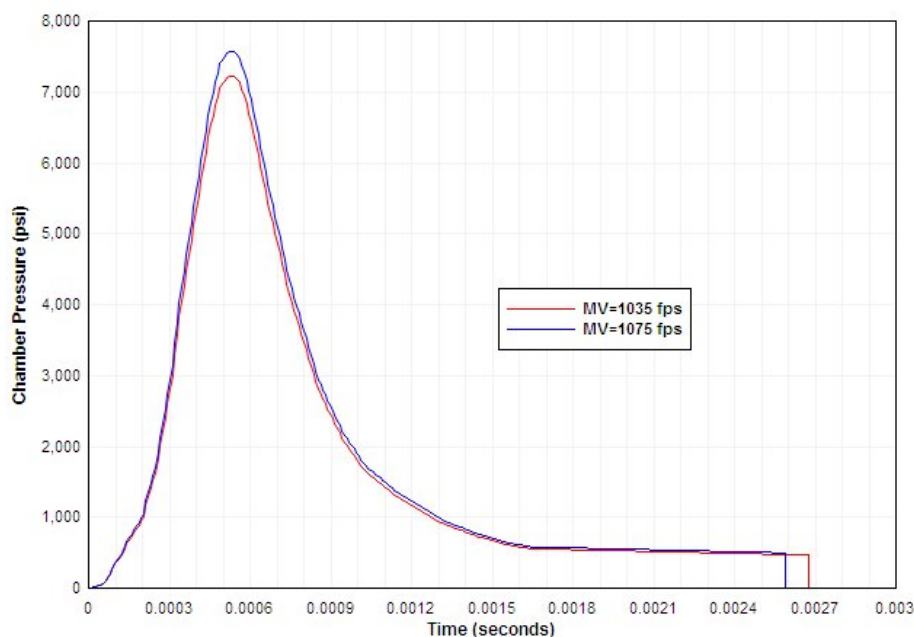
Omdat loop, staartstuk en kolf als één geheel met elkaar verbonden is, moet het systeem dus altijd een zekere mate van flexibiliteit hebben.

Opmerking: niet alleen de uittredehoek van de loopmonding veranderd in tijd, maar de loopmonding beweegt tegelijkertijd in een verticale richting terwijl de kogel zich door de loop voortbeweegt. Wanneer de kogel de loopmonding verlaat, zal de kogel een gelijkwaardige verticale snelheid bezitten als de loopmonding. Ook deze verticale snelheid zal de hoogte van het trefpunt beïnvloeden.

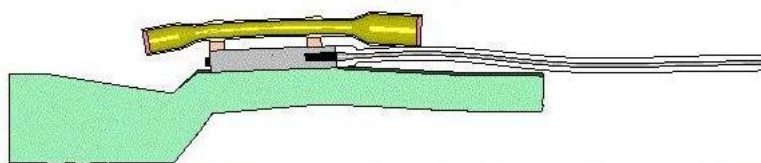
Onderstaande grafiek: Drukverloop van de verbrandingsgassen in de loop uitgezet tegen de doorlooptijd van de kogel in de loop.

22LR Pressure Curves from Strain Gauge Data

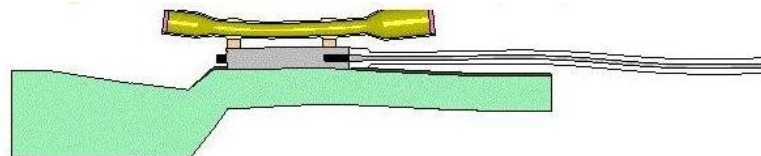
www.VarmintAI.com



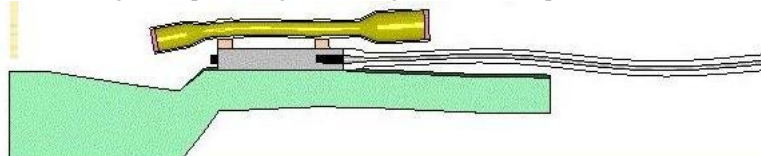
Fase 1: de slagpen beweegt naar voren. Als gevolg van de gravitatiekracht hangt de loop (voor het menselijke oog onzichtbaar) omlaag.



Fase 2: door ontbranding van het slagsas wordt de kruitlading ontstoken en wordt in de patroon druk opgebouwd. Door de gasdruk wordt de grendel en daarmee het staartstuk naar achteren geduwd en wordt de kogel – nadat voldoende druk is opgebouwd – uit de huls en in de trekken en velden geperst. Hierdoor krijgen staartstuk en loop een kromming. Bovendien bevindt dit aangrijpingspunt zich boven het massazwaartepunt waardoor de voorkant van het geweer omhoog gaat bewegen; de opslag. Door de combinatie van de opslag en de weerstand van de naar voren bewegende kogel in de omlaag wijzende loop ontstaat een omhoog zwiepende beweging van de loop die begint aan de voorzijde van het staartstuk. Doordat de loop en staartstuk met de kolf zijn verbonden ontstaat door de flexibiliteit van de kolf ook in de kolf een verticale trilling- of golfbeweging.



Fase 3: De trilling in de loop plant zich voort richting de loopmonding. De trilling in de kolf verspreid zich eveneens naar voren en achteren.



Fase 4: de trilling heeft de loopmonding tot zijn uiterste stand omhoog laten bewegen. Op het moment dat de omhooggaande beweging overgaat in een omlaaggaande beweging (het 'bovenste dode punt' of BDP) is de bewegingsnelheid en bewegingsrichting nul, en ontstaat het ideale moment waarop de kogel de loopmonding behoort te verlaten.

Bron afbeeldingen: www.VarmintAI.com

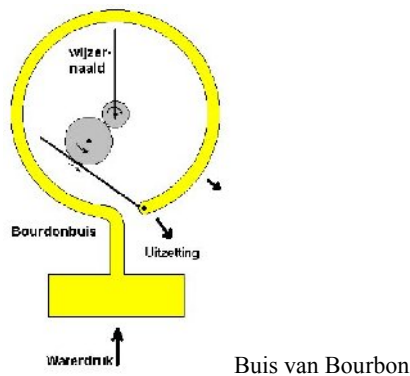
Tegelijkertijd met de transversale zinsvorming trillingen (haaks op de hartlijn van de loop) ontstaat ook een longitudinale trilling in het verlengde van de loop. Wanneer de kruitlading ontbrandt, zwelt de wand van de kamer op en begint een cirkelvormige ring van expansie zich in de lengterichting van de loop richting de monding te verplaatsen, waardoor de loop

ter plaatse van de expansiering licht 'uitzet' en groter van diameter wordt net als de 'ballon' in de waterslang van een tekenfilm cartoon. Bij de loopmonding aangekomen kaatst de ring terug richting de kamer. Dit heen-en-weer kaatsen tussen kamer en loopmonding verminderd met elke doorgang. Looplengte en kogelsnelheid moeten zodanig gekozen worden dat de kogel de loopmonding verlaat wanneer de expansiering zich ver genoeg achter de loopmonding bevindt. Dit omdat de kleine diametervergroting de nauwkeurigheid van het geweer verminderd doordat de gassen die nog steeds onder hoge druk staan anders tussen kogel en loopwand doorstromen, de kogel in de loopmonding als het ware inhalen, en de kogel uit zijn baan duwen.

De expansiering verplaatst zich met een snelheid van ca. 5800 m/s en is dus al 22,7 maal heen en weer gekaatst op het moment dat de kogel de loopmonding verlaat. Iedere keer als de uitstulping de kogel passeert ontsnapt er een kleine hoeveelheid gas tussen de loop en de kogel. Zouden de kogel en de uitstulping zich op hetzelfde moment bij de loopmonding bevinden, dan zou, door de relatief hoge gasdruk, een grote hoeveelheid gas langs de kogel stromen waardoor de kogel in een wervelend veld van gassen terechtkomt en uit zijn baan gedrukt worden.

Vanwege de spoed van de trekken en velden begint de kogel om zijn lengteas te roteren terwijl hij door de loop richting de loopmonding beweegt, daardoor een koppel opwekkend. Er ontstaat torsie in de loop en als gevolg daarvan een cirkelvormige boog of oscillerende kurkentrekkerbeweging van de loop.

De loop, hoe stijf ook, hangt onder invloed van de zwaartekracht omlaag. De druk van de gassen probeert de loop recht te strekken, net als een Bourdonbuis in een manometer, of een gebogen tuinslang die rechtektrekt wanneer plotseling de waterkraan volledig opgedraaid wordt, of een "roltong" carnavalsfluitje. De loop wordt door de ontbrandende kruitlading als een 'zweep' omhoog geslingerd. Daarbij zorgt de snel voortbewegende kogel voor een extra impuls die de omlaag hangende loop nog sterker omhoog slingert.

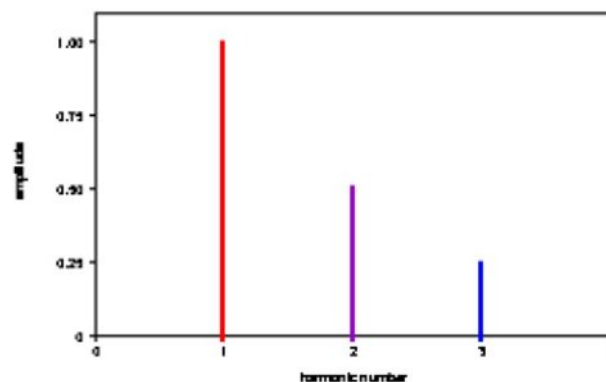


Eigen en harmonische trillingen

Trillingen worden in twee categorieën verdeeld: de eigen frequentie en harmonische trillingen. In de eigen frequentie vibreert de hele loop als een eenheid vanuit een vast punt de 'knoop', het punt waar de loop niet beweegt. Dit is het punt waar de patroon in de kamer zit. Harmonische trillingen zijn een serie trillingen met een frequentie die hoger is als de eigen frequentie en die gelijktijdig met de eigen frequentie optreden.

Bijna ieder onderdeel van de combinatie geweer-patroon zal invloed uitoefenen op deze (loop)trillingen. Een zware kruitlading zal een heftigere vibratie opwekken dan een licht kruitlading. Aan de andere kant zal, wanneer de kogelsnelheid langzamer is, de uitwijking van de loopmonding meer tijd hebben om zich te ontwikkelen zodat de kogel de loopmonding onder een grotere uitwijkhoek verlaat.

De grootte van de uitwijking (de amplitude) van de harmonische trillingen nemen omgekeerd evenredig met de frequentie af. Bijvoorbeeld: de grondfrequentie (f_1) is van een grootte 1.0. De amplitude van de 1^e harmonische (f_2) is 6 maal zo groot waardoor de amplitude $1/6^e$ is. De frequentie van de 2^e harmonische (f_3) is bijvoorbeeld 10 maal hoger dan de grondfrequentie, waardoor de amplitude 0.1 is enz. Daarom hebben de lagere harmonische frequenties de grootste invloed op beweging van de loopmonding.



Het samenspel van alle bovengenoemde krachten kan worden beschreven als een 3-dimensionale sinus golf.

De verticale amplitude is meestal groter als de horizontale amplitude omdat het massazwaartepunt van het geweer zich beneden de hartlijn van de loop bevindt, en de door de loop bewegende kogel een verticaal draaimoment om het zwaartepunt veroorzaakt; de opslag. Bovendien is de loop onder invloed van de zwaartekracht (onzichtbaar klein) naar beneden gebogen. Wanneer de patroon wordt afgevuurd zal door zowel de kogel als de hoge gasdruk de loop zich willen strekken, net als een buis van Bourdon in een barometer. Onder invloed van het behoud van momentum zal de loop naar de andere, naar boven gerichte zijde, doorzwiepen.

Het vinden van de 'sweet spot'

Het is al heel lang bekend dat geweerlopen het beste presteren binnen bepaalde kogelsnelheid gebieden. Deze gebieden worden in het engels "sweet spots" genoemd. Reden is dat de stijfheid (de kracht om verdere buiging te weerstaan) toeneemt naarmate het staal (aluminium of hout) verder van zijn statische toestand afwijkt. De loop wordt stijver wanneer hij naar zijn uiterste grens wordt gebogen. Op het punt van maximale buiging veroorzaken snelheidsverschillen kleinere veranderingen in de positie van de loopmonding.

Het op elkaar afstemmen van kogelsnelheid en frequentie karakteristiek van het geweer zodat de kogel de loopmonding verlaat als de loopmonding zich in een sweet spot bevindt, is het doel waar de serieuze wedstrijdschutter naar streeft. Herladers (schutters die zelf hun patronen samenstellen) kunnen de spreiding reduceren door het "tunen" (of aanpassen) van de kruitlading, type slaghoedje en kogelgewicht aan de loopkarakteristiek. Het doel is om de kogel de loopmonding te laten verlaten op het punt waarop de loop bijna zijn maximale uitwijking omhoog heeft, omdat dit het punt is waar een minimale tijd-afwijksnelheid optreedt. Als regel geldt dat hoe minder stijfheid de loop heeft, hoe groter de uitwijking van de loopmonding is.

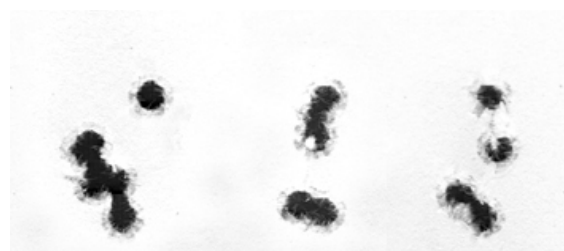
Omdat een Klein Kaliber schutter niet zelf zijn munitie kan samenstellen moet naar een tegenovergestelde procedure gevolgd worden: de frequentie karakteristiek wordt afgestemd op de munitie.

Verticale spreiding als gevolg van snelheidsverschil

Border Barrels in Schotland is een toonaangevende lopenfabrikant die vele lopen heeft gefabriceerd waarmee wereldkampioenschappen zijn gewonnen. Bovendien hebben zij in hun zoektocht naar de ultieme loop uitgebreid experimenten uitgevoerd. Deze experimenten werden uitgevoerd met Tenex WP439 in een speciale testloop BB01 (bore .217", groove .222", 6 grooves, 16" twist, 26" long, SAAMI Match chamber, 0.041" headspace) die in een speciaal ontworpen schietbok was bevestigd. WP439 werd begin 1990 gefabriceerd en wordt beschouwd als een van de beste lotnummers die Eley ooit gemaakt heeft.

Tenex lotnr. 1055 (gefabriceerd in 2010) was van beduidend slechtere kwaliteit en constantheid.

De schietbok werd bewust uitgevoerd als een "rigid barrel vice" waarbij de loop niet kan oscilleren en de energie van de terugslag door twee parallelle stangen recht naar achteren d.m.v. frictie en een hydraulische demper i.p.v. veren wordt opgevangen. De bok was zodanig geconstrueerd dat het massazwaartepunt in een punt op de hartlijn van de loop lag waardoor iedere vorm van rotatiemomentum, waardoor de lanceerhoek van de kogel zou kunnen worden beïnvloedt, voorkomen werd.



Vertikale spreiding als gevolg van kogelsnelheidsverschil in een volledig stijve loop zonder Positieve Compensatie

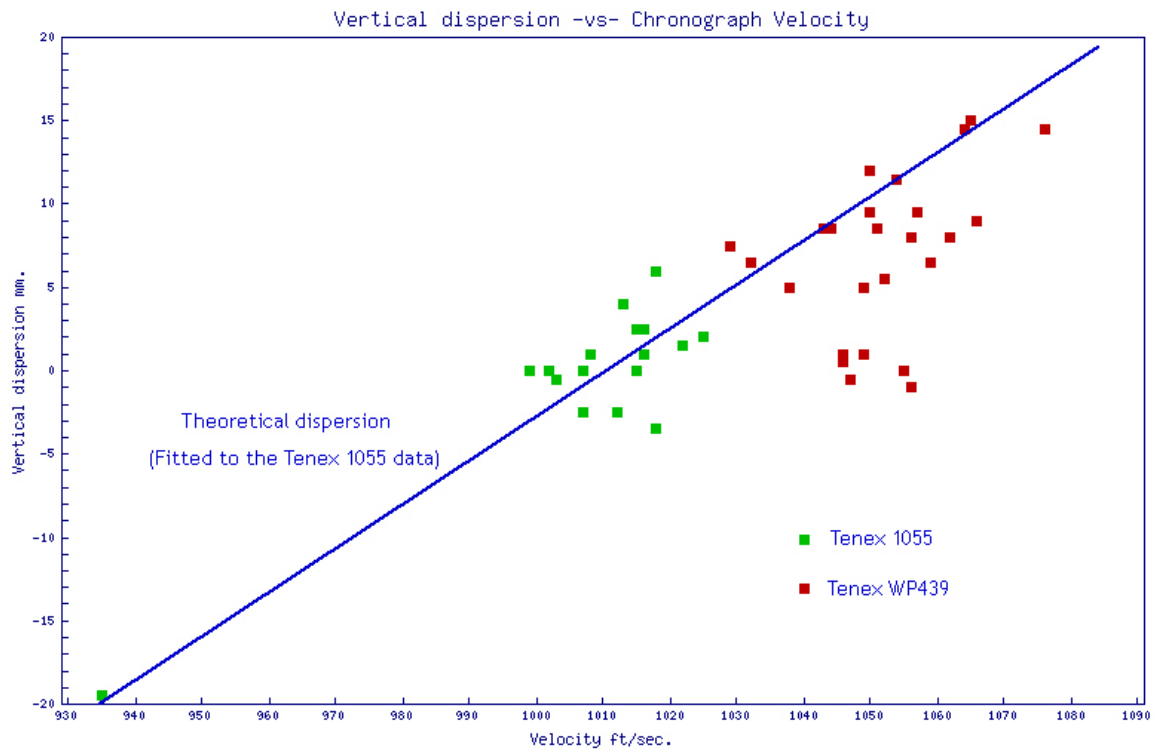
De groepen van deze "free recoil rig" waren onbevredigend omdat er altijd verticale spreiding optrad. Na langdurig onderzoek kon de oorzaak niet in de schietbok gevonden worden; deze was zo stijf geconstrueerd dat er geen enkele buiging of vervorming mogelijk bleek. Het enige antwoord was dat de verticale spreiding veroorzaakt werd door snelheidsverschil in de gebruikte munitie. Volgens een ballistisch rekenprogramma moest het snelheidsverschil ca. 6m/s bedragen.

Vervolgens werd een Oehler 33 chronometer geïnstalleerd en werden groepen met Tenex 1055 geschoten en daarna groepen met Tenex WP439. Tevens werd een grafiek gemaakt waarop de positie van de horizontale kruisdraad van de telescoop (die op de schietbok was gemonteerd) t.o.v. de groep op de schijf werd aangegeven.

Toen de groepen geanalyseerd werden, werd op de schijf een lijn getrokken op de plaats waar de kruisdraden waren gericht. De afstand van de lijn tot het trefpunt werd gemeten en in een grafiek getekend als een functie van de gemeten snelheid. Zie onderstaande grafiek.

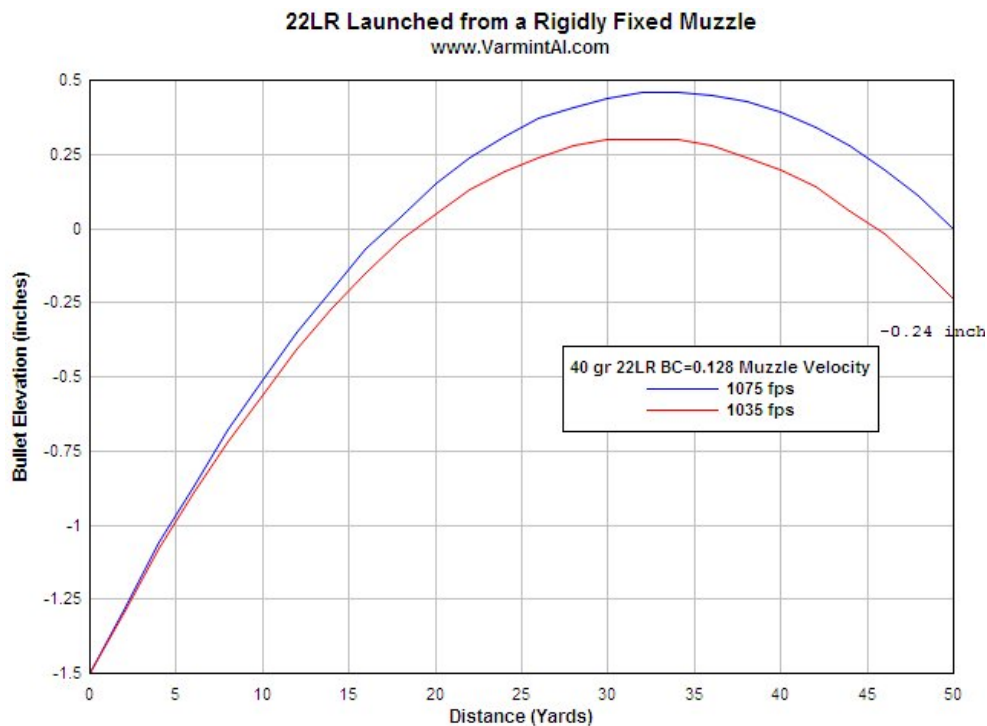
De diagonale blauwe lijn is het, door het ballistische programma, berekende verticale trefpunt behorende bij de verschillende snelheden. Het ballistische programma berekent tevens de lanceerhoek die nodig is om het richtpunt te treffen. Het verschil in lanceerhoek voor snelheden tussen 935 ft/sec. en 1089 ft/sec. bedraagt 2.7 MOA. Omdat echter de lanceerhoek in deze test echter ongewijzigd was, moest de verticale spreiding tussen de beide snelheden 39.3mm bedragen, een afstand die overeenkwam met de 2.7 MOA op 50m afstand! De theoretische verticale afwijking voor een .22 kogel op 50m afstand bedraagt dus 1.19mm voor iedere 1.0 m/s (3.9 ft/sec.) snelheidsverschil. Het trefpunt helemaal linksonder in de grafiek was het eerste schot, geschoten uit de schone en droge loop.

Het feit dat de trefpunten van de Tenex WP439 iets beneden de blauwe lijn liggen, komt doordat de luchtweerstand van de oude WP439 met bolle kop een fractie hoger is als de luchtweerstand van de nieuwere 1055 met afgeplatte kop.



Zelfs wanneer een lotnummer een uitzonderlijk kleine snelheidsspreiding van ca. 5m/s (15ft/sec.) zou hebben, zou de verticale spreiding van de treffers nog steeds 6mm bedragen, als er geen positieve compensatie of 'tuning' gebruikt zou worden.

Bij een gemiddeld lot met 8 tot 10m/s snelheidsverschil is de verticale spreiding dan minimaal 12mm.



Bron grafiek: www.VarmintAI.com

Als een randvuurgeweer trefzeker moet zijn, zal het een bepaalde mate van Positieve Compensatie moeten bezitten om voor het snelheidsverschil in de munitie te kunnen compenseren. Bij groot kaliber geweren is het normaal om handgeladen munitie te gebruiken waarbij een voor dat geweer gespecialiseerde kruittlading, slaghoedje en kogelgewicht wordt gebruikt. Dit is niet mogelijk met een randvuur geweer, omdat deze munitie niet met de hand te (her)laden is. De enige manier om maximale positieve compensatie te verkrijgen is het tunen van het geweer naar de gebruikte munitie. Dat is een veel zwaardere opgave omdat er met veel meer variabelen rekening moet worden gehouden (de vorm en gewichtsverdeling van het geweer en de componenten, de krachten uitgeoefend door de schutter en atmosferische omstandigheden).

Bron: Vertical Dispersion with Velocity, 12 November 2010
Border Barrels Ltd, The Green Barn, Riccarton Farm
Newcastleton, Scottish Borders, Scotland TD9 0SN UK

Oscillaties van een loop die getuned is voor Positieve Compensatie

Positieve compensatie is een manier naar de gebruikte munitie op een bepaalde schietafstand te tunen, wetenschap die al meer dan 110 jaar bestaat (Mr A. Mallock "Vibrations of Rifle Barrels", Proceedings of the Royal Society, Vol. 68, page 327, 1901).

Positieve compensatie is gebaseerd op het feit dat er bij het gebruik van een chronograaf of kogelsnelheidsmeter altijd een spreiding in kogelsnelheid wordt waargenomen. Het gevolg daarvan is dat er altijd vertalen afwijkingen in de val ('drop') van de kogel en daarmee het trefpunt op de schijf optreden, waarbij de langzamere kogels er langer over doen om bij het doel aakomen en dus ook verder omlaag vallen dan de snellere kogels. Het is gemakkelijk om uit te rekenen wat de verticale afwijking moet zijn als de kogelsnelheid, schietafstand en weerstandscoefficient van de kogel bekend zijn.

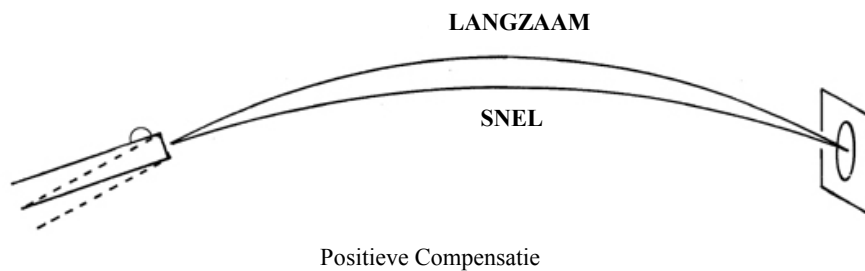


Vertikale afwijkingen als gevolg van snelheidsverschil van de kogels

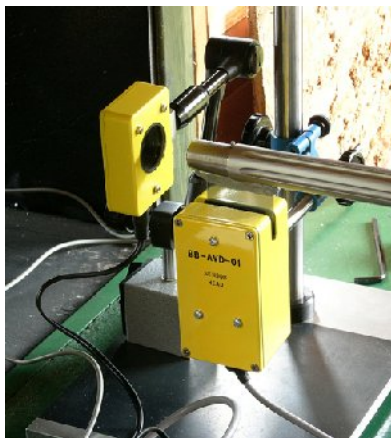
Vreemd genoeg is de verticale spreiding van de treffers niet zichtbaar op de schijf. Dit is het gevolg van de positieve correctie.

Het is aangetoond dat de schokgolf, veroorzaakt door het afvuren van een patroon (of luchtkogeltje !) transversale trillingen (haaks op de hartlijn van de loop) in de geweerloop opwekt. Bij positieve compensatie verlaat de kogel de geweerloop

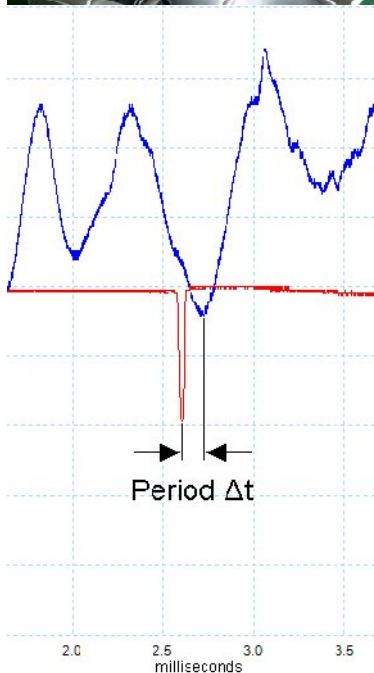
wanneer de loopmonding zich in de omhoog gaande beweging fase van de trilling bevindt. Daardoor worden de snellere kogels, die iets minder tijd nodig hebben om door de loop te bewegen en de loopmonding te verlaten, onder een iets kleinere opwaartse hoek worden weggeschoten als de langzamere kogels die er iets langer over doen om bij de loopmonding te arriveren en daardoor onder een iets grotere opwaartse hoek weggeschoten worden. Als de omhoog gaande bewegingsnelheid en hoek van de loopmonding precies goed is, wordt hierdoor over het gehele snelheidsverspreidingsgebied van de kogels de verticale spreiding op de schijf volledig opgeheven en treffen alle kogels op hetzelfde punt.



Bij Border Barrels Ltd. in Schotland UK, is uitgebreid en met de modernste middelen onderzoek gedaan naar de bewegingsnelheid, bewegingsrichting en hoek van de loopmonding tijdens het schieten met een .22LR randvuurpatroon. Hierbij werd gebruik gemaakt van moderne lasersystemen en geavanceerde computers. Eerste stap was het onderzoeken hoe het uittredemoment van de kogel varieert met de mondingsnelheid.



De testopstelling met detectiepoort voor het registreren van het uittredemoment van de kogel en de laseropstelling met polarisatiefilters die de beweging van de loopmonding

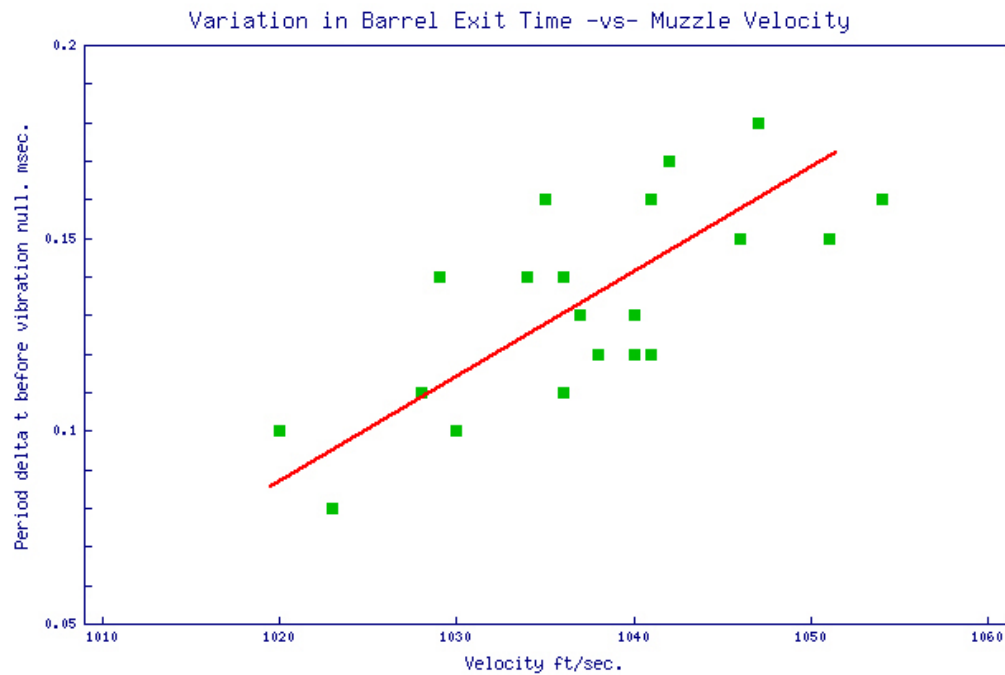


Dit diagram toont een deel van de geregistreerde signalen. De blauwe lijn toont de veranderende hoek van de loopmonding in de periode dat de kogel de loop verlaat. Het moment dat de kogel de 'poort' die vlak voor de loopmonding is geplaatst passeert wordt aangegeven door de plotselinge dip in rode lijn. De tijd 'delta t' tussen het poortsignaal en het eerstvolgende dode punt van het loopmondingsignaal werd gemeten, samen met de kogelsnelheid.

De onderstaande grafiek toont het resultaat voor Eley EPS Tenex munitie.

Bij een snelheidsverandering van 113 m/s (375 ft/sec.) veranderd de uittrede tijd met 1 milliseconde. De Gebruikte looplengte was 660mm (26 inch).

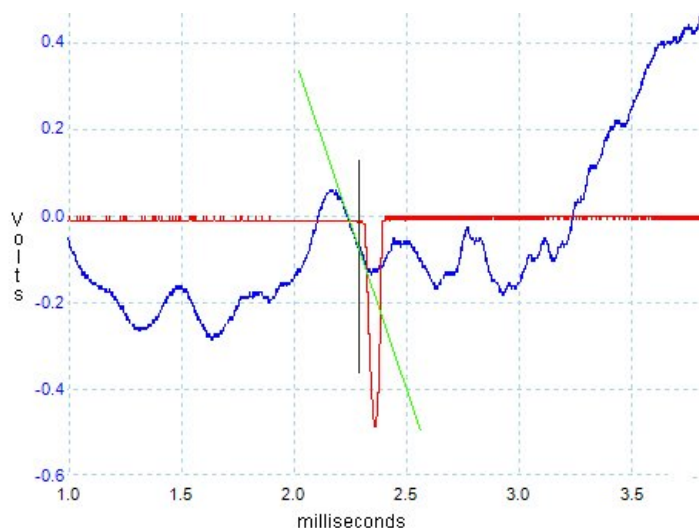
Bij lopen voor randvuurpatronen die langer zijn dan 152mm (6 inch) wordt de wrijvingsweerstand de dominante factor die op de kogel werkt als hij door de loop beweegt. Voorbij het punt van 152mm is de tijd dat de kogel zich in de loop bevindt daarom lineair met de snelheidsvariatie aan de monding.



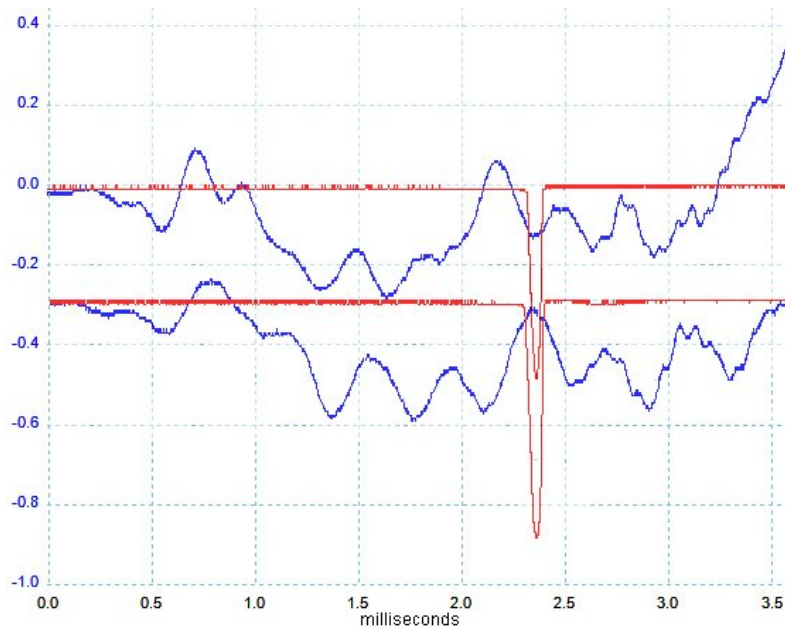
Met het ballistische rekenprogramma kan eenvoudig uitgerekend worden wat de verandering in verticale uittredehoek moet zijn om volledige positieve compensatie voor een bepaalde schietafstand van bijvoorbeeld 50m te krijgen. Bij een mondingsnelheid van 306 m/s (1010 ft.sec.) is de elevatiehoek 9.3 MOA en voor 321 m/s (1060 ft/sec) 8.5 MOA om de schijf op hetzelfde punt te treffen. De mate waarin de loopmonding dan van elevatiehoek moet veranderen is 0.053 MOA voor iedere 1 m/s (0.016 MOA voor iedere 1 ft/sec.) verandering in mondingsnelheid.

Onderstaande grafiek toont de mate van elevatieverandering van de loopmonding van een niet getuneerde loop. De blauwe lijn is weer de elevatiehoek van de loopmonding. De verticale as is het gemeten aantal Volts. Iedere 0.16 Volt komt overeen met 1 MOA. De rode lijn is het signaal van de uittredepoort waarbij de dip weer het moment aangeeft wanneer de kogel de poort passeert. De poort was 25.4mm (1 inch) voor de loopmonding geplaatst, dus het moment dat de kogel de loopmonding verliet was 0.1 milliseconde eerder, de plek waar de zwarte verticale lijn is getrokken.

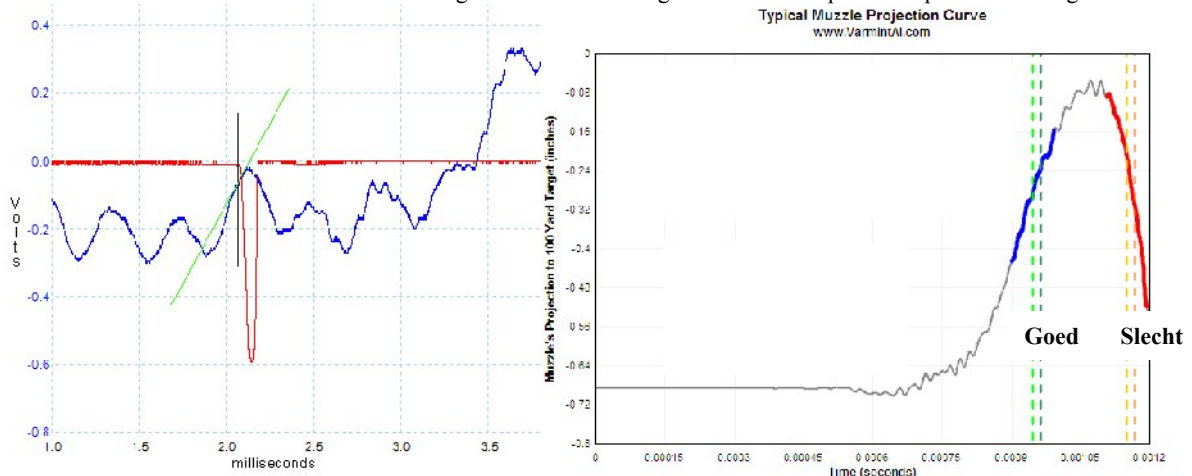
De groene lijn die langs de lijn van de mondingshoek is getrokken geeft de snelheid aan waarmee de mondingshoek veranderde, -9.4 MOA per milliseconde. (De minstreep geeft aan dat de loopmonding omlaag bewoog).



In het volgende diagram is de bovenste lijn het resultaat van de ongetuneerde loop, en de onderste lijn is het resultaat van een getuneerde loop. De lijnen zijn parallel geplaatst zodat het uittredemoment van de kogels op hetzelfde moment getoond wordt. Zoals te zien is de algemene vorm van de beweging van de loopmonding hetzelfde. Hoewel de vorm van beide diagrammen hetzelfde is, blijkt de vorm van de getuneerde loop in de tijd uitgerekt te zijn.



Kijken we nu in detail naar de lijn van de getuneerde loop dan zien we opnieuw de verticale zwarte lijn die het moment aangeeft dat de kogel de loopmondung verliet. De groene lijn geeft opnieuw de bewegingsrichting van de loopmondung aan toen de kogel de loopmondung verliet, nu in opwaartse richting. De snelheid waarmee dit gebeurd is 6 MOA per milliseconde. Eerder in dit artikel hebben we al gezien dat dit volledige Positieve Compensatie op 50m afstand geeft.



10mm



TUNED BARREL GROUPS
(EACH GROUP IS 10 SHOTS AT 50 METRES)

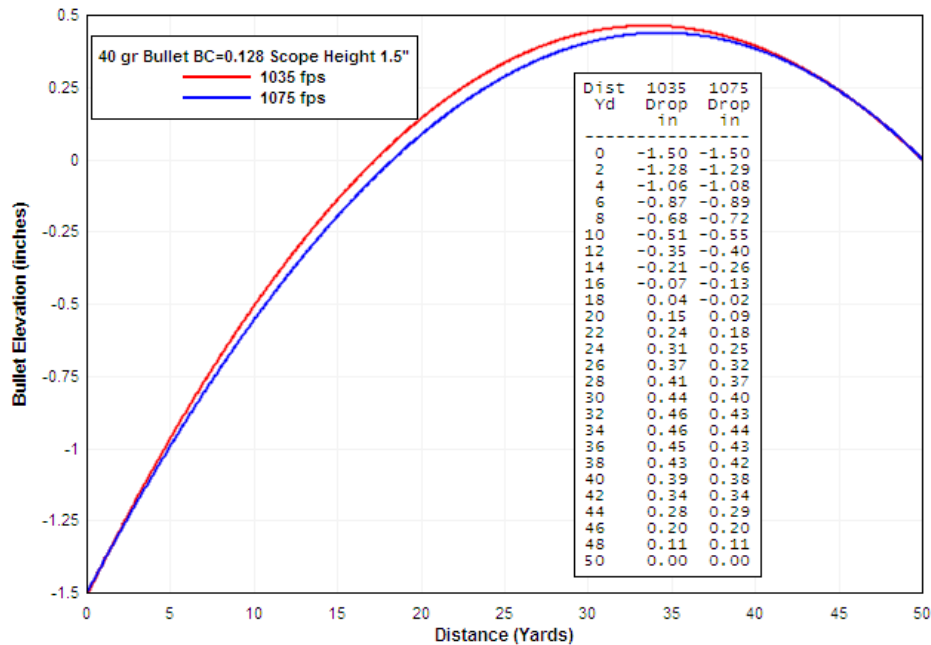
En hoe zagen de groepen er uit?

De groepen zijn rond en de spreiding die nu nog optreedt wordt veroorzaakt door factoren als: het buiten het middelpunt liggen van het zwaartepunt van de kogel en de gassen die niet gelijkmatig tegen de achterzijde van de kogel duwen bij het verlaten van de loopmondung, of de kogel die niet gecentreerd maar scheef in de trekken en velden wordt geduwd. Al deze factoren hebben geen prefererende richting en werken in alle richtingen, daarmede ronde groepen vormend.

Bron: Vertical Dispersion with Velocity, 12 November 2010
Border Barrels Ltd, The Green Barn, Riccarton Farm
Newcastleton, Scottish Borders, Scotland TD9 0SN UK

22LR Trajectory for 1035 & 1075 fps Muzzle Velocities

www.VarmintAI.com



Vluchtbaan over 50 yards afstand voor kogels met snelheden van 314 en 326m/s.

Bron grafiek: www.VarmintAI.com

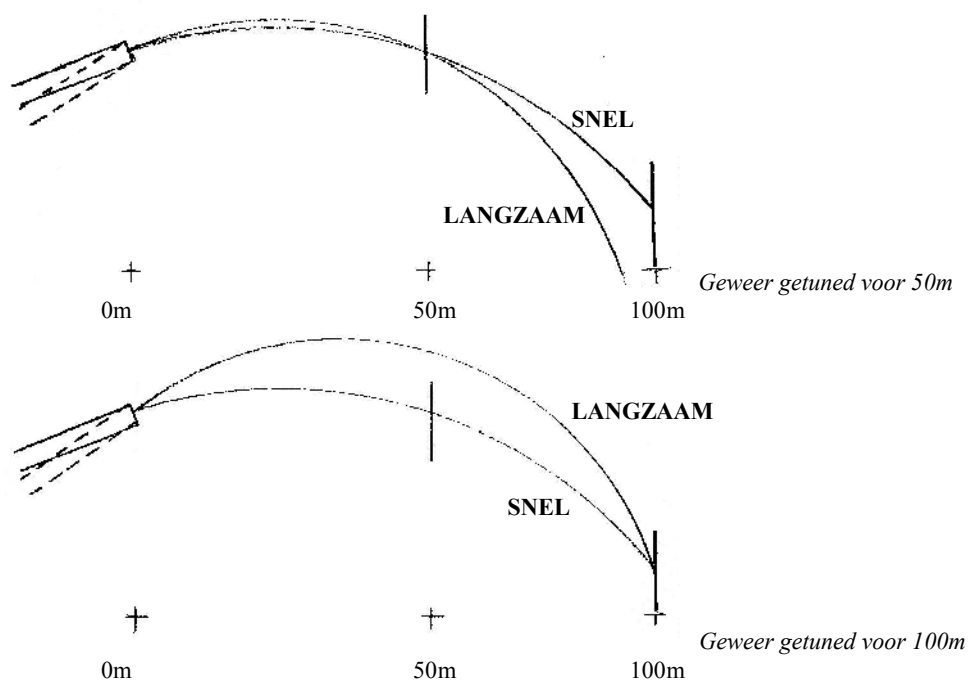
Positieve Compensatie, tunen en schietafstand

Uit de metingen is gebleken dat niet de verticale bewegingssnelheid van de loopmondng maar de elevatiehoek bepalend is voor de verticale spreiding op de schijf. Om op 50m afstand volledige Positieve Compensatie te verkrijgen voor een looplengte van 660mm (26 inch) behoort de snelheid waarmee de elevatiehoek veranderd 6 MOA per milliseconde te bedragen.

Snelle kogel.... Een snelle kogel verlaat eerder de loopmondng en iets eerder als bij de gemiddelde kogelsnelheid waarbij de elevatiehoek van de omhoogbewegende loopmondng iets minder is. De hoek waaronder hij omhoog schiet is kleiner, maar omdat de kogel sneller is valt hij ook minder.

Langzame kogel.... Een langzame kogel verlaat later de loopmondng en iets later als bij de gemiddelde kogelsnelheid waarbij de elevatiehoek van de omhoogbewegende loopmondng iets groter is. De hoek waaronder hij omhoog schiet is groter, maar omdat de kogel langzamer is valt hij ook meer.

Wanneer een geweer voor 50m afstand getuned is zal de elevatiehoek van de loopmondng op een zodanige waarde afgesteld zijn dat kogels met verschillende mondngsnelheid een verschillende vluchtbaan volgen maar daardoor op hetzelfde punt op de schijf treffen. Voorbij (en vóór) de schijf gaan de vluchtbanen echter (weer) verder uit elkaar lopen.



Bovenstaande houdt in dat we voor iedere schietafstand een iets andere gemiddelde elevatiehoek, en dus tuning moeten gebruiken om volledige compensatie voor die bepaalde afstand te verkrijgen. Is een geweer getuned voor bijvoorbeeld 50m dan zal hij op 12, 25 en 100m afstand niet optimaal groeperen. Als wedstrijdschutter zullen we ons geweer dus voor iedere patroontype en schietafstand een aparte tunesetting moeten vinden.

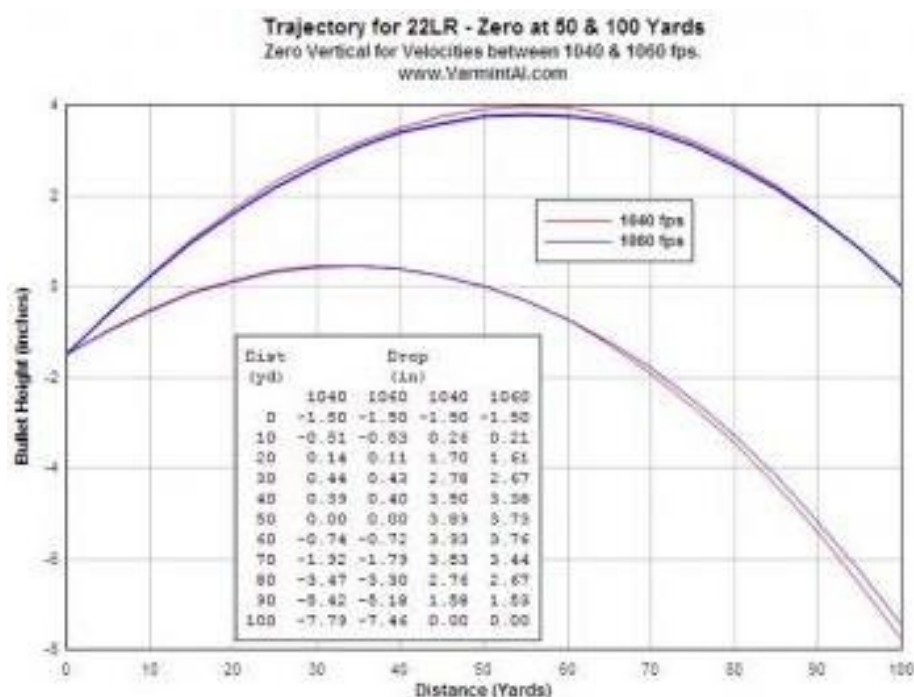
Onderstaand een grafiek die de vluchtbanen aangeeft bij positieve compensatie voor 50 en 100 yards.

De *bovenste vluchtbaan* is voor een .22LR 40 grain kogel met een ballistische coëfficiënt (BC) van 0.128 met positieve compensatie (getuned) voor een afstand van 100 yards. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de werkelijke snelheid varieert tussen 315 en 321m/s (1040 en 1060 ft/sec). De gemiddelde snelheid bedraagt 318m/s (1050 ft/sec). In dit geval is de verticale spreiding van de treffers tussen beide kogelsnelheden op 50 yards 4.1mm (0.16 inch).

De *onderste vluchtbaan* is voor dezelfde kogels maar met positieve compensatie voor 50 yards. In dit geval is de verticale spreiding van de treffers tussen beide kogelsnelheden op 100 yards 8.4mm (0.33 inch).

Om de 315 en 321m/s snelle kogels over 100 yards op hetzelfde punt te laten treffen moet de kogel met 315m/s met een 0.2218 graden grotere elevatie hoek als de kogel met 321m/s weggeschoten worden. Als de loop volledig stijf zou zijn en niet zou kunnen buigen, zodat beide kogels onder exact dezelfde hoek zouden worden weggeschoten, zou de langzamere kogel op 100 yards afstand 10.2mm lager treffen als de snellere kogel.

Bovenstaande gegevens zijn te berekenen met op internet verkrijgbare freeware of shareware software.



Bron grafiek: www.varmintal.com

Tunen van het geweer door middel van de systeembouten (bedding bolts)

Looposcilatie is één van de factoren die invloed hebben op de trefzekerheid van geweren. Iedere geweerloop produceert harmonische trillingen wanneer een patroon wordt afgevuurd. Vanaf het moment dat de trekker wordt overgehaald en de slagpin op de patroon slaat tot aan het moment dat de kogel de loopmondung verlaat, beginnen een groot aantal impulsen op het geweer te werken. Allemaal worden ze in verschillende sterktes doorgegeven aan de loop. Ze bestaan uit een opsomming van kleine en grote krachten, waaronder: de vangpal die de slagpin vrijgeeft, de slagpin die naar voren beweegt vervolgens de patroonrand raakt en de patroon in de kamer naar voren beweegt totdat de voorkant van de patroonrand tegen de achterzijde van de kamer stuit. Daarna drukt de voorzijde van de slagpin de rand van de patroon samen totdat het ontstekingsmiddel begint te ontbranden en vervolgens de kruittlading ontbrand. De druk van de verbrandingsgassen begint op te lopen, perst het cilindrische deel van de huls klemvast tegen de wand van de kamer en vervolgens de achterzijde van de huls naar achteren tot deze tegen de voorzijde van de grendel stuit. Daarna loopt de druk verder op totdat de kogel die in de huls gekrimpt zit uit de huls wordt gedrukt en naar voren gaat bewegen om daarna in de trekken en velden te worden geperst. De druk bedraagt dan ca. 559 bar. Omdat de kogel door de trekken en velden in een roterende beweging om zijn langsas wordt gedwongen, wordt er een kleine maar meetbaar koppel op de loop uitgeoefend waardoor de loop in tegengestelde richting gaat torderen en de loopmondung tevens in een cirkel gaat bewegen. De drukgolf die door de ontbrandende kruittlading ontstaat, zorgt voor een longitudinale trilling die in de lengterichting van de loop heen en weer beweegt. De loop, hoe stijf ook, hangt onder invloed van de zwaartekracht omlaag. De druk van de gassen probeert de loop recht te trekken, net als een Bourdonbuis in een manometer of een "roltong" carnavalsfluitje. De loop wordt door de ontbrandende kruittlading als een 'zweep' omhoog geslingerd. Daarbij zorgt de snel voortbewegende kogel voor een extra impuls die de omlaag hangende loop nog sterker omhoog slingert.

Volgens Newton's wet is actie gelijk aan reactie. Omdat het aangrijpingspunt van de terugslag (de reactie) in de hartlijn van de loop aangrijpt en het zwaartepunt van het geweer onder de hartlijn van de loop ligt, zal een vertikaal momentum optreden en de loopmonding omhoog bewegen; de opslag.

Door de gasdruk wordt de grendel en daarmee het staartstuk naar achteren geduwd en wordt de kogel – nadat voldoende druk is opgebouwd – uit de huls en in de trekken en velden geperst. Hierdoor krijgen staartstuk en loop een kromming die door de elasticiteit van het staal een sinusvormige golfbeweging in staartstuk, loop en kolf laat ontstaan.

Een kogel met correcte diameter zal als een nagenoeg perfecte gas afdichting werken. Daardoor worden de expanderende gassen van de verbrandende kruitlading tegengehouden en duwen de gassen gelijkmatig in alle richtingen. De kracht van de gassen laat de diameter van de loop vlak achter de loop expanderen zodat er een ringvormige uitstulping ontstaat, net als de 'ballon' in de waterslang van een tekenfilm cartoon. Hierdoor ontstaat een trilling die zich in de lengterichting van de loop heen en weer voortplant. De snelheid waarmee dat gebeurt bedraagt 5047.5 meter per seconde.

De elasticiteitsmodulus

De elasticiteitsmodulus, aangegeven met E, is een eigenschap van een materiaal die een maat is voor de stijfheid, starheid van een materiaal, en die ten dele de rek van het materiaal onder een (trek)belasting bepaalt. In het elastische gebied geldt de wet van Hooke, met de veerconstante gelijk aan de elasticiteitsconstante: de rek die optreedt, is lineair afhankelijk van de aangebrachte spanning, met als evenredigheidsconstante E. Hoe hoger het getal, hoe stijver het materiaal. De E-moduul van staal is drie keer zo groot als die van aluminium, d.w.z. bij identiek gedimensioneerde constructies is die van aluminium drie keer zo slap.

De stijfheid van een loop is evenredig tot de 4^e macht van de diameter en omgekeerd evenredig tot de 3^e macht van de lengte. Hierdoor zullen korte dikke lopen met een veel hogere frequentie en lagere amplitude oscilleren als lange dunne lopen. Door voldoende dikke lopen te gebruiken kunnen we ze zo stijf maken dat de amplitude van de trilling geen aanzienlijke invloed meer heeft. We willen echter voldoende flexibiliteit hebben dat we de elevatiehoek van de loopmonding nauwkeurig kunnen controleren en regelen om positieve compensatie te kunnen uitvoeren.

Elasticiteitsmodulus:	staal	allu 7.0×10^{10} Pa	hout 1.1×10^{10} Pa
Geluisnelheid:	staal 5800m/s	allu 5100m/s	hout 1500-4000m/s
Uitzettingscoëfficiënt:	staal	allu 2.4×10^{-5}	hout 0.5×10^{-5}
Dichtheid hout		allu 2.7×10^3 kg/m ³	0.6×10^3 kg/m ³

Uit bovenstaande getallen blijkt dat hout 7 maal flexibeler is, ca. 5 maal minder sterk uitzet en een (geluid)trilling zich 2 maal langzamer voortplant als in aluminium. Van deze eigenschappen kunnen we handig gebruik maken bij het tunen van het geweer.

Stijve of slappe lopen

Lange dunne lopen zijn flexibel en oscilleren, maar korte dikke lopen zijn stijf en oscilleren ook, maar ze oscilleren met verschillende frequenties en amplitudes (uitwijking). Een grote diameter (stijve) loop zal een hoge frequentie hebben met kleine amplitude, een loop met een kleinere diameter een lagere frequentie met grote amplitude. Als de kogel de loop verlaat in de stijve loop zullen verschillen in de kogelsnelheid resulteren in meer extreme (verticale) variatie van het trefpunt. De flexibele loop met de lagere frequentie zal een minder grote variatie tonen. Het voordeel van de dunnere loop is dat de loop bij variërende omstandigheden (luchtdichtheid en relatieve vochtigheid etc.) langer "in tune" blijft en daardoor regelmatigere groepen produceert en door zijn flexibiliteit makkelijker te 'tunen' is.

Eigen en harmonische trillingen

Trillingen worden in twee categorieën verdeeld: de eigen frequentie en harmonische trillingen. In de eigen frequentie vibreert de hele loop als een eenheid vanuit een vast punt de 'knoop', het punt waar de loop niet beweegt. Dit is het punt waar de patroon in de kamer zit. Harmonische trillingen is een serie boventonen waarbij de loop in de lengte in een aantal secties is verdeeld die allemaal in een knoop eindigen op een specifieke afstand van de loopmonding. Zaken die een groot effect hebben op het vibreren van de loop zijn: de headspace, de kroon, de overgang van kamer naar trekken en velden, de ziel van de loop, de systeembouten, de passing van het systeem in de kolf, de kogel, het ontstekingsmiddel, de kruitlading, druk die van buitenaf op het systeem wordt uitgeoefend, temperatuur en vochtigheid en wrijvingsweerstand van de kogel in de loop.

Bijna ieder onderdeel van de combinatie geweer-patroon zal invloed uitoefenen op de looptrillingen. Een zware kruitlading zal een heftigere oscillatie opwekken dan een licht kruitlading. Aan de andere kant zal, wanneer de kogelsnelheid langzamer is, de uitwijking van de loopmonding meer tijd hebben om zich te ontwikkelen zodat de kogel de loopmonding onder een grotere elevatiehoek verlaat.

De eigen frequentie waarmee de loop vibreert is afhankelijk van de massa van de loop, de lengte, binnen en buitendiameter en de materiaalsoort, die samen de stijfheid van de loop bepalen.



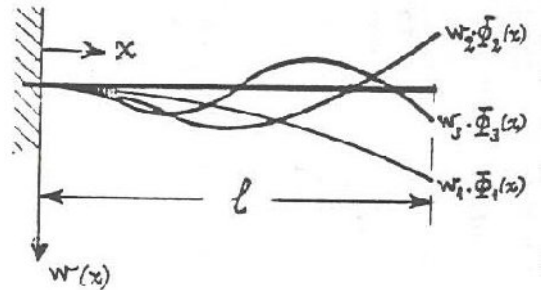
Uitwijking bij de grondfrequentie (fF1)



De 1^e harmonische (f_2)



En de 2^e harmonische (f_3)



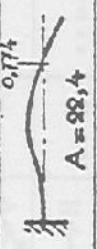
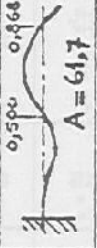
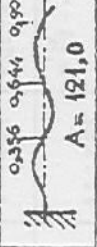
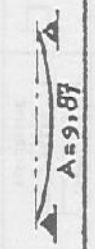
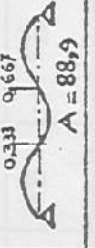
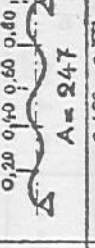
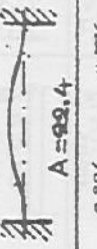
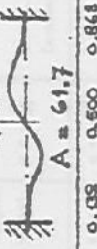
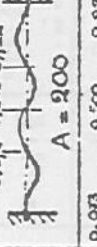
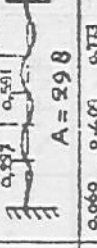
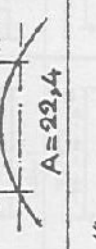
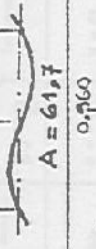
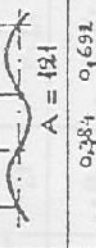
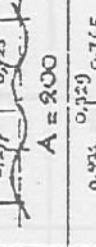
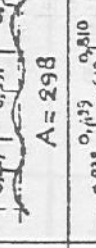
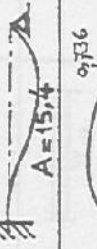
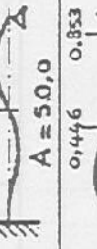
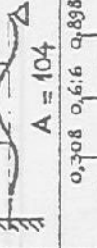
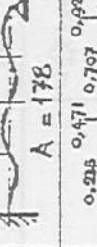
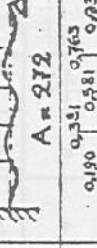
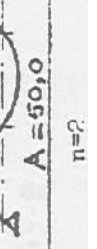
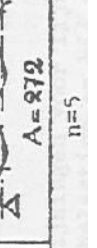
De eerste drie trillingsvormen van een aan een zijde ingeklemde staaf (de loop) over elkaar geprojecteerd. De totale uitwijking aan het uiteinde (de loopmonding) is gelijk aan de som van de drie posities. De amplitude (de grootte van de uitwijking) is ter illustratie echter niet in verhouding weergegeven.

Bij het afvuren van een randvuurpatroon loopt de gasdruk in de kamer binnen 1 milliseconde op tot wel 559 bar (7800 psi). Deze snelle drukstijging laat de loop oscilleren op dezelfde wijze als een stemvork die aangeslagen wordt. Iedere vorm van bevestiging van een voorwerp en de kracht waarmee het voorwerp vastgezet is veroorzaakt een eigen trillingsvorm. Onderstaande tabel toont de eerste vijf eigenfrequenties (de natuurlijke frequentie en 4 harmonische) en bijbehorende trillingsvormen voor zes verschillende bevestigingsvormen.

Eigenfrequenties + Eigentrillingsvormen

liggers met constante doorsnede en gelijkmatig verdeelde massa, de plaats van de knoop is aangegeven door de afstand tot het linker uiteinde.

Hoekfreq. $\omega_n = A \sqrt{\frac{EI}{\mu L^4}}$ (rad/sec) A is coëfficiënt
 E = elasticiteitsmodulus... (N/m²)
 I = traagheidsmoment (m⁴)
 L = lengte van de ligger.... (m)
 μ = massa p.e.v. lengte (kg/m)

	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5
inkl. vrij	 A = 3,52	 A = 92,4	 A = 61,7	 A = 121,0	 A = 200,0
opg. opg.	 A = 9,87	 A = 39,5	 A = 88,9	 A = 158	 A = 247
inkl. inkl.	 A = 99,4	 A = 61,7	 A = 121	 A = 200	 A = 298
vrij vrij	 A = 22,4	 A = 61,7	 A = 121	 A = 200	 A = 298
inkl. opg.	 A = 15,4	 A = 50,0	 A = 104	 A = 178	 A = 272
opg. vrij	 A = 15,4	 A = 50,0	 A = 104	 A = 178	 A = 272

Tabel met de eerste vijf eigenfrequenties (de natuurlijke frequentie en 4 harmonische) en bijbehorende trillingsvormen.

De loop is een 'ingeklemd-vrij' systeem waarbij een zijde in het staartstuk is ingeklemd. Deze vorm van inklemming kunnen wij niet beïnvloeden en de loop zal altijd met zijn eigen vaste grondfrequentie en harmonische oscilleren. De houten kolf heeft een vaste, niet instelbare, stijfheid die voldoende veerkrachtig is om met het systeem van staartstuk-loop mee te kunnen oscilleren, maar voldoende stijf is dat hij niet in dezelfde frequentie meebeweegt. Het staartstuk zit echter, afhankelijk van het type geweer met 2, 3 of 4 bouten in de kolf bevestigd. Het kan daarom variëren van een 'vrij-vrij'systeem via alle andere vier systemen tot een 'vast-vast' systeem. Door het aandraaimoment op de systeembouten te variëren en daarmee de spanning waarmee het staartstuk in de kolf geklemd is, kan de trillingseigenschap en daarmee de oscillatiefrequentie van het staartstuk traploos aangepast worden.

Door de systeembouten (bedding bolts) vaster of losser te draaien verandert de stand van het staartstuk op het moment dat de kogel de loopmondung verlaat. Omdat de loop in het staartstuk is bevestigd verandert de stand van het staartstuk ook automatisch de bewegingsrichting en bewegingssnelheid van de loopmondung.

De variatie in het aandraaimoment ligt bijzonder gevoelig. Voor het maximaal tunen van een geweer moet je in stappen van $2/100^\circ$ Nm te werk gaan. Het goed tunen van een klein kaliber randvuur geweer is dan ook een bezigheid die enkele maanden kan duren.



Om de instelling van de momentsleutel nauwkeuriger te maken kan je zelf een extra schaalverdeling op de omtrek aanbrengen. Meestal staat 1 omwenteling van de knop gelijk aan 1Nm. Door de omtrek in bijvoorbeeld 10 of 20 stappen te verdelen kun je de sleutel nauwkeurig instellen op $1/10^\circ$ of $1/20^\circ$ Nm.

Omdat de stijfheid van ieder systeem staartstuk-loop-kolf verschilt door o.a. dichtheid van het hout, gemonteerde accessoires enz. heeft ieder geweer zijn eigen tunesetting per afstand nodig.

Maar ook de schutter oefent invloed uit op de oscillatie van het geweer. Door het geweer op een andere wijze vast te houden, door meer of minder spanning op de schietriem, wangstuk of kolfplaat te plaatsen verandert de trillingsvorm van de kolf net zoals dat gebeurt met het staartstuk wanneer we systeembouten losser of vaster draaien.

Bovendien zorgt ieder extra gewicht aan de kolf voor een andere stijfheid en spanning in kolf. Het zorgt dus voor een verandering van de oscillatiefrequentie van het geweer. Plaats dus nooit zomaar gewichten aan de kolf zonder de tuning te controleren en aan te passen. Het is net als gitaarspelen: als je je vinger op een andere plaats op de snaar legt of een zwaardere snaar gebruikt krijg je een andere toon. Tunen moet dus altijd gebeuren met het geweer in de samenstelling en met alle accessoires op de juiste plaats als waarmee je de wedstrijd gaat schieten. Een extra gewicht van 5 of 10 gram is al voldoende om de loopkarakteristiek van de loop volledig te veranderen!

Wanneer je het systeem voor de eerste keer in de kolf vastzet, let er dan op dat je het correcte aandraaimoment gebruikt. Anschutz gebruikt als richtwaarde:

ca. 5,0 Nm voor een houten kolf*

ca. 6.0 Nm voor een aluminium kolf*

*volgens opgave van Anschutz handleiding.

De stijfheid en bijzonder hoge oscillatiefrequentie van de aluminium kolf is de reden dat bij deze kolven een veerkrachtige kunststof pakking tussen het staartstuk en de kolf gemonteerd is. Hierdoor kan het staartstuk toch vrij oscilleren. Wanneer een geweer met aluminium kolf na jaren van trouwe dienst met goede munitie plotseling onverklaarbare afzwaaiers begint te vertonen kan het zijn dat de kunststof pakking verouderd en uitgedroogd is of dat het systeem veel te strak zijn aangedraaid waardoor de pakking geen veerkracht meer bezit. Je kunt dan een nieuwe pakking bij de fabriek bestellen, maar in de praktijk is gebleken dat pakkingen die in de auto-industrie voor de afdichtingen van motoren gebruikt worden ook uitstekend werken.

Loopgewichten en tuners een gewichtige zaak...

Het tunen door middel van de systeembouten (bedding bolts) is een arbeidsintensieve handeling die tijd en geduld benodigd. Daarom gaan steeds meer Benchrest en zelfs ISSF schutters er toe over om een tuner op het uiteinde van de loop te monteren. Een tuner is niets anders dan een gewicht. Het gewicht zorgt er voor dat de loop kunstmatig 'zwaarder' gemaakt wordt.

Het gewicht zorgt er voor dat het voorste deel van de loop door de grotere massa meer massatraagheid krijgt en de loopmondung daardoor langzamer gaat oscilleren. Hoe verder het gewicht naar voren geplaatst wordt, hoe langzamer de loopmondung zal oscilleren.

Met het gebruik van een tuner gebeurt dus eigenlijk precies hetzelfde als bij het tunen met de systeembouten maar met het voordeel dat het aandraaimoment van de systeembouten altijd hetzelfde kan zijn en de setting van de turer zeer snel en makkelijk gecontroleerd en/of veranderd kan worden als de atmosferische omstandigheden wijzigen of wanneer overgegaan wordt op een ander lotnummer of type patroon. Vooral benchrestschutters, die streven naar de kleinst mogelijke spreiding zijn daarom op grote schaal begonnen met het gebruik van de tuners.

De eenvoudigste tuner bestaat uit een gewicht dat centrisc om de loop geplaatst is, in de lengterichting van de loop verschoven kan worden en met een bout vastgeklemd kan worden. De nieuwste tuners zijn zodanig uitgevoerd dat een gewicht met een bepaalde massa door middel van een zeer fijne schroefdraad traploos naar voren of naar achteren geschroefd kan worden. Een fijne schaalverdeling helpt om de correcte setting iedere keer gemakkelijk en snel terug te vinden. Natuurlijk is het ook mogelijk om een loop te tunen door kleine wielbalanceergewichtjes van 10 en 20 gram te gebruiken. Deze gewichtjes zijn uitgerust met dubbelzijdig plakband en kunnen direct op de loop geplakt worden.



geplakt



wielbalanceergewichtjes op de loop



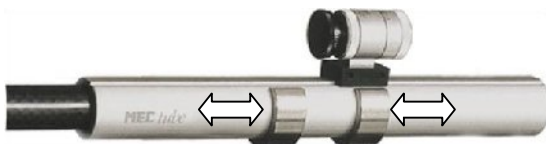
Verstelbare tuners op benchrestgeweer



Tuner met schaalverdeling en verplaatsing d.m.v. schroefdraad



Tuner met verschuifbaar gewicht



Blooptube met verschuifbare gewichten

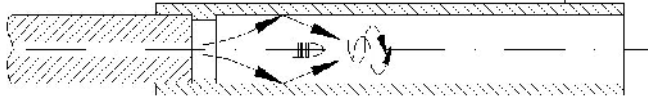


Blooptube met gewichtverplaatsing d.m.v. schroefdraad

Blooptubes

Een blooptube is niets anders dan een buis die op de loop geschoven kan worden om de vizierlijn te verlengen. De blooptube, indien van het correcte gewicht kan tevens dienen als tuner.

Wanneer de tuner een verkeerde of te kleine binnendiameter bezit kan door de relatief hoge gasdruk een grote hoeveelheid gas langs de kogel stromen waardoor de kogel in een wervelend veld van gassen terechtkomt en uit zijn baan gedrukt worden. De gassen kunnen om de kogel heen stromen, tegen de binnenwand van de blooptube reflecteren en vervolgens in de hartlijn van de blooptube sterke wervelingen veroorzaken op de plaats waar zich op dat moment ook de kogel bevindt. Bovendien kunnen kleine oneffenheden aan de binnenwand van de blooptube (bijvoorbeeld afzetting van kruitresten, krassen en bramen) al aanzienlijke wervelingen veroorzaken. De blooptube moet dan ook aan de binnenzijde spiegelglad zijn en na iedere schietbeurt grondig schoongemaakt worden.



Iedere vorm van druk of spanning op de loop laat de loopkarakteristiek veranderen. Bij een KKG of GKG moet de loop daarom helemaal vrij liggen en niet tegen de kolf kunnen raken. Bij een PCP luchtgeweer met luchtcilinder moet de cilinder ook geheel vrij liggen zodat hij niet tegen de loop of het systeem kan steunen maar vrij kan oscilleren.

Metten is weten, gissen is missen !!!



Copyright © januari 2012 Schutterssupport.nl/Thijsse Schietsport Advies.
Alle rechten voorbehouden