

Wind en zijn invloed op de .22 randvuurpatroon

Externe ballistiek is de wetenschap die de vrije vlucht van een kogel tussen de loopmond en het doel behandelt. De kogelbaan wordt door vele factoren beïnvloedt, zoals beginsnelheid van de kogel, weersomstandigheden, hoogte boven zeeniveau en de vorm van de kogel, om er maar eens een paar te noemen. Als een schutter tot de top van zijn sport wil doordringen is het noodzakelijk dat hij kennis van deze onderwerpen opdoet.

Wie alleen met luchtgeweer of luchtpistool schiet hoeft niet de avond voor een wedstrijd naar het weerbericht te luisteren. Al sinds jaar en dag vinden deze wedstrijden in een gesloten ruimte plaats; daar heeft men geen last van regen en wind. Klein kaliber schutters schieten echter vaak in de open lucht en met natuurlijk licht. Anders gezegd: vaak waait de wind krachtig, of zorgt de zon voor een ongelijkmatige verlichting van de schijf en de schietstand. Hier kan alleen de schutter winnen die de windvannen goed kan 'lezen', aan de hand daarvan zijn conclusies trekt en vervolgens zijn richtmiddelen corrigeert.

Invloed van de ballistische coëfficiënt

Simpel gezegd, is de ballistische coëfficiënt een maat voor hoe goed een projectiel zich in lucht gedraagt. Het is een belangrijk element dat de verhouding weergeeft voor de snelheidsafname door luchtweerstand tussen een bepaald projectiel en een "standaard" projectiel.

Rond 1900 werden veel testen uitgevoerd door de firma Krupp in Duitsland. Men wilde de vertraging of "val"(drop) van standaard projectielen bepalen. Kolonel James M. Ingalls van het Amerikaanse leger gebruikte later deze resultaten om met rekenkundige modellen om zijn nu bekende tabellen te berekenen. Regel is: hoe hoger de ballistische coëfficiënt, hoe kleiner de luchtweerstand van de kogel

De ballistische coëfficiënt die kogelfabrikanten publiceren zijn voor "standaard" condities van temperatuur, elevatie en vochtigheid. De meeste munitie fabrikanten publiceren niet de ballistische coëfficiënt van hun kogels, maar vermelden de beginsnelheid en de val en (eind)snelheid van de kogel op bepaalde afstanden.

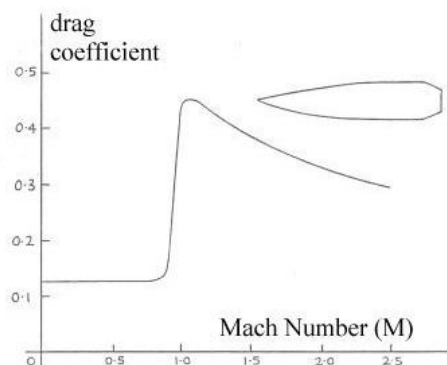
.22 LR (Standard Velocity)	Gewicht: 40 grain	V0: 1145f/s	BC: 0.125	reikwijdte: 1500 ft.
.22 LR (High Velocity)	Gewicht: 40 grain	V0: 1335f/s	BC: 0.125	reikwijdte: 1565 ft.

Kogels met een hoge ballistische coëfficiënt behouden hun snelheid langer omdat ze minder luchtweerstand hebben. Dat betekent dat de hoek van de hartlijn van de kogel ten opzichte van de bewegingsrichting kleiner is, waardoor de optredende weerstand haaks op de hartlijn van de bewegingsrichting ook kleiner is en als gevolg daarvan de zijdelingse afwijking dus ook kleiner is. Omgekeerd, kogels met een kleine ballistische coëfficiënt vertragen sneller, draaien de voorkant sterker met de wind mee, wat resulteert in een grotere zijdelingse afwijking.

Het wordt verwarrend wanneer je gaat kijken naar de tijd die de kogel nodig heeft om de afstand te overbruggen en denkt dat ultra snelle kogels minder zijdelings afwijken "omdat de wind minder tijd heeft om op ze in te werken". Het is echter zo dat je een grotere prijs bepaalt voor het gebruiken van een lichtere kogel (een voorwaarde voor een hoge snelheid) met een lagere ballistische coëfficiënt die met een grotere 'sliphoek' voortbeweegt terwijl hij vertraagt.

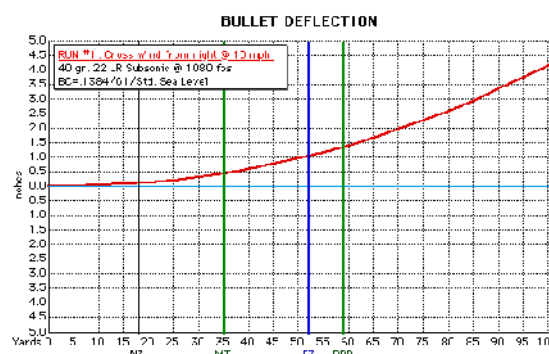
.22LR: snelheid en windgevoeligheid

Veel schutters die niet bekend zijn met de ballistische eigenschappen van de .22LR patroon zijn vaak verbaasd te horen dat wedstrijdsschutters bijna allemaal gebruik maken van munitie met een standaard snelheid in plaats van high-velocity munitie. Reden is dat patronen met een standaard snelheid minder gevoelig voor wind zijn. In tegenstelling tot wat je zou denken is de afwijking door (zij)wind niet proportioneel met de afstand, maar is afhankelijk van de mate van vertraging die de kogel ten gevolge van de luchtweerstand ondervindt. De standaard patroon met een snelheid van 330m/s (1145 f/s) heeft .287 seconde nodig om 100m af te leggen, maar heeft in een vacuüm slechts 0.262 seconde nodig. De vertraging als gevolg van de luchtweerstand is dan $0.287 - 0.262 = 0.025$ seconde. De high-velocity patroon met een snelheid van 407m/s (1335 f/s) heeft 0.259 seconde nodig om de 100 meter te overbruggen, maar 0.225 seconde in een vacuüm. De vertraging is daarbij 0.035 seconde en 37 procent groter dan bij een standaard patroon. Daardoor ondervindt de High-Velocity patroon ook 37% meer afwijking door zijwind ten opzichte van de standaard patroon.

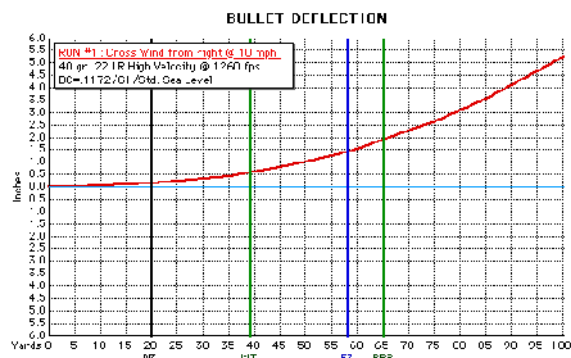


(drag = luchtweerstand)

Dit opmerkelijke resultaat wordt veroorzaakt door de grote toename van de luchtweerstand in het gebied rond de geluidsnelheid: Mach 1.0. De .22 randvuur patroon is de enige geweerpatroon die in dit gebied opereert, en daarom ook de enige patroon die van dit fenomeen last ondervindt.



Afwijking : .22LR standaard...



...en High Velocity

6 vormen van bewegingsvrijheid

Een kogel in vlucht bezit zes vormen van bewegingsvrijheid, in drie vlakken (de horizontale, verticale en voorwaartse richting) en om drie assen (de verticale-, horizontale- en langsas). Alle kogels (uitgezonderd de ronde bal uit een gladloopsgeweer) zijn echter door rotatie gestabiliseerd. Daarom blijft alleen de bewegingsvrijheid in de drie vlakken over: een verplaatsing in voorwaartse richting en het horizontale en verticale vlak. De drie bewegingsvrijheden door rotatie veroorzaken slechts bijzonder kleine afwijkingen in de kogelbaan. Toch zijn er vijf effecten die zichtbaar zijn.

1 De kleine neerwaartse rotatie van de kogelpunt terwijl de kogel zijn parabolische baan volgt. Daardoor blijft de de punt van de kogel vrijwel exact parallel aan zijn baan. Deze beweging wordt veroorzaakt door een bijzonder kleine aërodynamische zijwaartse kracht: de "yaw of repose". De punt van de kogel is een klein beetje naar de rechterzijde gekeerd voor een kogel met rechtsom draaiende spoed, of naar links voor een kogel met linksom draaiende spoed.

2 Een kleine horizontale afwijking, naar rechts voor een kogel met rechtsom draaiende spoed, naar links voor linksom draaiende spoed. De afwijking is een gevolg van de yaw of repose.

3 De kogelpunt draait naar rechts of links en volgt daarmee een zijwind; of draait omhoog of omlaag bij een verticale wind. Deze beweging veroorzaakt de grote horizontale afwijking van de kogel ten gevolge van de zijwind of de grote verticale afwijking ten gevolge van de verticale wind.

4 Een kleine verticale afwijking die samengaat met de grote horizontale afwijking veroorzaakt door de zijwind, en die wordt veroorzaakt door een kleine aërodynamische positieve of negatieve "lift" die nodig is om de kogel met de wind mee te laten draaien.

5 Een kleine horizontale afwijking (naar links of rechts) die samengaat met de grote verticale afwijking veroorzaakt door de verticale wind, en die wordt veroorzaakt door een kleine aërodynamische zijwaartse "lift" die nodig is om de kogel met de verticale wind mee te laten draaien.

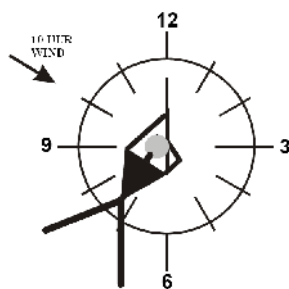
Het effect van verschillende windrichtingen

Wind is de beweging (relatief ten opzichte van de grond) van een hoeveelheid lucht waardoorheen de kogel zich beweegt. Het effect van de wind op de baan van de kogel is afhankelijk de windsnelheid en de richting waarin de wind waait.

Kopwind waait van de schijf in de richting van de schutter, staartwind waait van de schutter richting de schijf. Dwarswind waait dwars op de bewegingsrichting van de kogel, van links naar rechts of van rechts naar links. Er wordt vanuit gegaan dat deze winden meestal horizontaal waaien.

Er bestaat ook verticale wind. Dit is wind die omhoog of omlaag waait. Deze wind komt vooral voor op schietbanen die omringt zijn met muren of aarden wallen, voorzien zijn van schermen of schietbanen waarbij de grond onder een helling loopt of waar op verschillende afstanden (vaak ter plaatse van de schijven) verhogingen zijn opgeworpen. Verticale wind veroorzaakt een evenredig grote afwijking als horizontale wind, echter in verticale richting. Zo zal een gedeeltelijk afgeschermd outdoor baan met overkapping voor de schutter vreemde effecten teweeg brengen. Een staartwind kan over de afscherming waaien om vervolgens na de overkapping omlaag te duiken en een neerwaartse afwijking op de kogel uitoefenen.. Hetzelfde kan gebeuren bij zijwind die over nabij gelegen bebouwing of bossages waait.

Wind kan echter uit iedere richting waaien. De richting wordt bijna altijd aangegeven volgens de klok-methode. Hierbij wordt uitgegaan van een denkbeeldige klok waarvan de cijferplaat horizontaal geplaatst is en '12-uur' de richting is van de schutter naar de schijf toe; 6-uur is omgekeerd - van de schijf naar de schutter. Een wind die waait uit 10-uur waait dus van linksvoor naar de schutter toe.



Het effect van wind in de drie hoofdrichtingen (kop/taartwind, horizontale en verticale wind) is zeer verschillend, omdat de luchtweerstand van de kogel afhankelijk is van de snelheid en richting waarmee hij door de luchtmassa beweegt. Beweegt de luchtmassa, dan is de luchtweerstand anders dan wanneer de luchtmassa stil staat. Bijvoorbeeld: bij kopwind is de relatieve snelheid van de kogel ten opzichte van de omringende lucht groter dan bij stilstaande lucht. De luchtweerstand is dan hoger en de kogel beweegt langzamer ten opzichte van de grond waardoor de val van de kogel groter wordt; de kogel treft lager dan bij stilstaande lucht. Bij taartwind gebeurt het omgekeerde. Het relatieve snelheidsverschil is echter zeer klein en wordt voor een randvuurpatroon alleen merkbaar op grotere schietafstanden van 100 meter of meer.

Dwarswind (horizontaal of verticaal) heeft wel een grote invloed op de kogelbaan. Toch is deze anders dan je zou inschatten. Een kogel neigt ernaar om de wind voor een groot deel te 'weerstaan'. De kogel krijgt dan ook nooit dezelfde zijwaartse snelheid en beweging als van de luchtmassa waar hij doorheen vliegt.

Veel schutters denken ten onrechte dat de wind de kogel opzij duwt en dat de afwijking recht evenredig (lineair) is met het oppervlak van de kogel waar de wind op werkt en de tijd dat de kogel er over doet om zijn doel te bereiken. Dat lijkt logisch, omdat we kunnen zien hoe de wind een boomblad of een stuk papier in de windrichting wegblaast. Het zou logisch zijn te denken dat een kogel op dezelfde wijze opzij wordt geblazen. Het lijkt ook logisch te denken dat hoe langer de kogel aan de wind is blootgesteld en/of hoe groter het oppervlak van de kogel waartegen de wind duwt zal zijn, des te groter de afwijking zal zijn. Echter, de zaken blijken niet zo simpel.



Een .22LR kogel valt 355 millimeter in de tijd die hij er over doet om 100 meter af te leggen. Bij een zijwind van 16km/uur heeft de kogel een zijdelingse afwijking van 132 millimeter. Het eenvoudige experiment door een kogel 355 millimeter te laten vallen in een gematigde zijwind toont aan dat kogels niet door de wind opzij geduwd worden!

Het is een feitelijke .22LR kogel, die afgevuurd wordt met een mondingsnelheid van 380m/s er 0.269 seconden over doet om 100 meter verder het doel te treffen, en dat de horizontale afwijking veroorzaakt door een zijwind van 16km/uur (windkracht 3, matig) 132mm bedraagt. In die tijd valt de kogel 355mm omlaag indien horizontaal afgevuurd.

Wanneer de afwijking van de kogel enkel afhankelijk was van de tijd dat de kogel aan de zijwind zou zijn blootgesteld zou hij over een valafstand van 35.5cm dus tevens 13.2cm opzij moeten bewegen. We voelen allemaal instinctief wel aan dat dit niet mogelijk is.

Dr. Mann's experiment

Dr. Mann bezat een .32 kaliber testgeweer met bijzonder goede accuratesse. Dit geweer vuurde een kogel van 187 grain af met een zwartkruitlading van 47 grain. Hij had gemeten dat de val van de kogel op 100 yards 9.7/8e inch bedroeg en ca. 41 inch op 200 yards. Hij construeerde een apparaat dat de kogel vanaf een bepaalde hoogte op een vel papier kon laten vallen en waarbij hij de zijdelingse verplaatsing ten opzichte van de loodlijn exact kon meten. De afwijking t.o.v. de loodlijn zou de afwijking veroorzaakt door de wind moeten zijn.

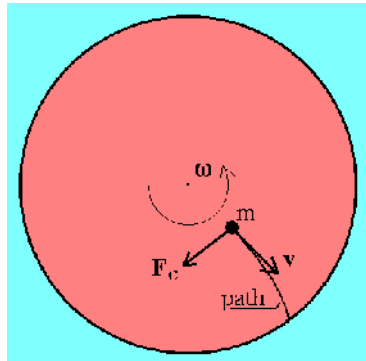
Dr. Mann testte het apparaat op een windstille dag en de kogel viel exact langs de loodlijn naar beneden. Hij wachte vervolgens op een dag waarop het 20 tot 24 mile per uur waaide en leit de kogel van 9.7/8e inch en 41 inch hoogte vallen (een schietafstand van 100 en 200 yards simulerend). De grootste zijdelingse afwijking van de kogel bedroeg bij 9.7/8 inch valhoogte minder dan 0.1 inch en ongeveer 0.3 inch bij een valhoogte van 41 inch. De werkelijke zijdelingse afwijking als gevolg van zijwind was echter ca. 34 inch, een factor van meer dan 100 hoger!

Bron: *The Bullet's Flight from Powder to Target*, door Dr. Franklin W. Mann in 1909

Middelpuntvliedende kracht, Coriolis kracht en het gyroscopische effect (precessie)

Middelpuntvliedende kracht (centrifugale kracht) is de kracht die lijkt te werken op voorwerpen die een gekromde baan volgen. Een voorwerp dat bijvoorbeeld aan een touwtje wordt rondgeslingerd lijkt aan het touwtje te trekken: van uit het midden naar buiten, dus middelpuntvliedend of "-vluchtend".

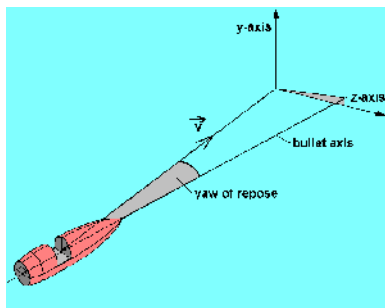
Zonder touwtje zou het hierboven genoemde voorwerp ongehinderd rechtdoor vliegen. Het touwtje trekt het naar het middelpunt toe. Om de snelheid en richting van een voorwerp te veranderen - dus bij het maken van een bocht - is een kracht nodig: de coriolis kracht.



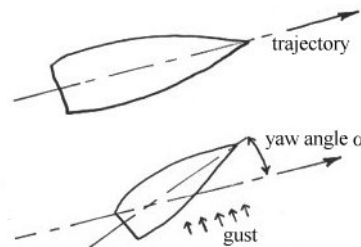
Stel je een schijf voor die met constante snelheid ronddraait en waarbij een massa m zich vanuit het centrum met een constante snelheid v naar de rand beweegt. Iemand die op de schijf stond zou de massa in een gekromde lijn vanuit het centrum naar de rand zien bewegen. De massa is beïnvloed door een kracht F_c die haaks op de bewegingsrichting van de massa werkt. Deze kracht wordt de Coriolis kracht genoemd. Er ontstaat een interessant traagheidsmoment dat te maken heeft met de rotatie van de schijf. Iedere keer als er een kracht wordt uitgeoefend op een roterend object, zal het object reageren door 90 graden af te wijken van de richting waarin de kracht werkt. Probeer dit maar eens met een tol. Laat hem rechtdoor draaien en duw de bovenkant van je af. De tol reageert door naar rechts te kantelen.

Het gyroscopisch effect en de resulterende afwijkingsrichting: de Aerodynamische sprong

Er bestaat bij de meeste schutters de misconceptie dat dwarswind een kogel op weg naar de schijf uit zijn baan "duwt". Het is heel belangrijk te realiseren dat de dwarswind een door rotatie gestabiliseerde kogel niet opzij duwt, maar dat de, door rotatie gestabiliseerde kogel, zijn voorkant met de windrichting mee draait – het 'windvaan effect'.



Het gyroscopische effect, the "yaw of repose"

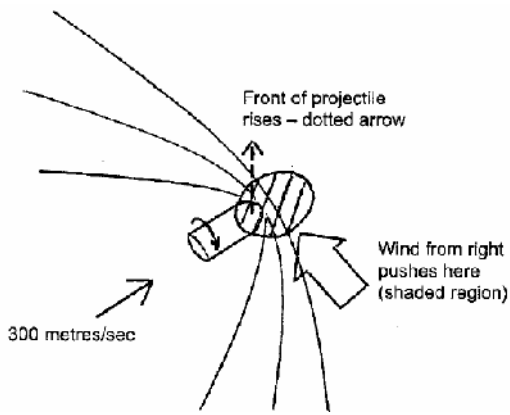


Het windvaan effect; de kogel roteert en volgt de wind

De kogel verlaat de loopmondning en heeft daarbij een rotatiesnelheid ("spin") van circa 5000 omwentelingen per minuut. Bovendien bevindt zich een drukgolf, een laag van samengeperste lucht, aan de voorzijde van de kogel. Daardoor ligt het aangrijpingspunt van de wind aan de voorzijde van de kogel, vóór het zwaartepunt van de kogel.

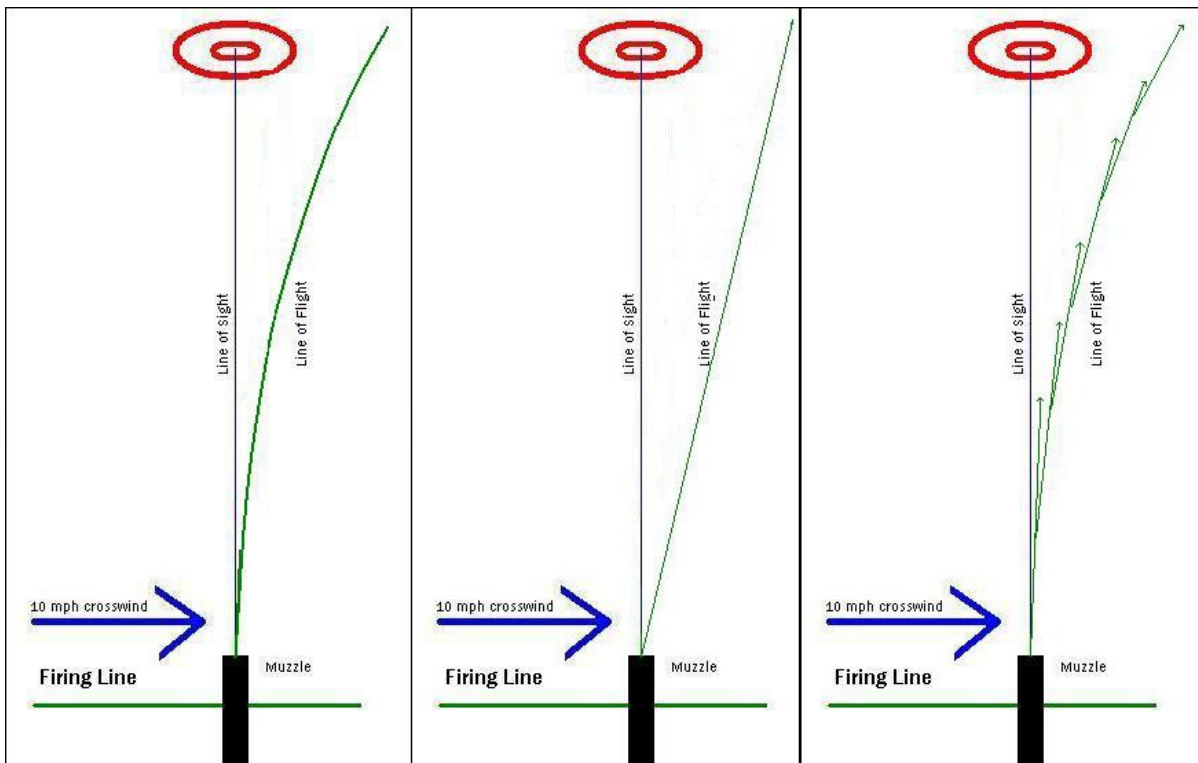
Wanneer de kogel de loopmondning verlaat en te maken krijgt met zijwind, reageert de kogel net als een boot die de stroming van een rivier kruist, en net als een windvaan draait hij zijn voorkant zodat die recht in de richting van de *schijnbare* wind gaat staan; hij volgt de wind. Hoe sterker de wind is, hoe groter de hoek waaronder de voorkant van de kogel wegdraait, zijn neus recht in de richting van de schijnbare wind houdend.

Terwijl de kogel zijn voorkant zijwaarts in de richting van de schijnbare wind wegdraait (yaw angle), ontstaat er als gevolg van het gyroscopisch effect een momentum (precessie) en roteert hij tevens omhoog of omlaag (yaw of repose). Wanneer een zijwind van rechts de voorkant van de kogel linksom laat draaien, kantelt de voorkant ook een klein beetje omhoog. Wind van links laat de kogel rechtsom wegdraaien en kantelt de voorkant een klein beetje omlaag. Dit betekent dat de hartlijn van de kogel scheef ten opzichte van de bewegingsrichting komt te staan. Met de kogel in deze stand werkt de luchtweerstand niet alleen tegengesteld op de bewegingsrichting van de kogel, maar ontstaat er ook luchtweerstand haaks op de bewegingsrichting en de hartlijn van de kogel. Het is deze luchtweerstand die de kogel zijdelings wegdukt, en wordt de kogel in de richting waarin de voorkant wijst weggeduwd. Het resulterende effect: de trefpunten van de kogel vormen een lijn van '10-uur naar 4-uur'.



Om dit te verduidelijken zullen we een fietswiel of het wiel van een kleuterfiets gebruiken. We houden het fietswiel aan de as vast, waarbij de as van het wiel van ons vandaan wijst. Hou het fietswiel aan het uiteinde van de as vast en laat het wiel 'met de klok mee' draaien. Dit is hetzelfde wat een kogel doet als hij richting de schijf beweegt. Zodra het wiel snel rond draait, duwen we van rechts tegen het uiteinde van de as dat het verst van ons vandaan is. De as draait naar links en een andere kracht beweegt het zelfde uiteinde tevens omhoog. Geef nu een duwtje vanaf links. Nu beweegt het uiteinde van de as naar rechts maar ook omlaag. Dit is dezelfde kracht die een draaiende tol overeind houdt. Als we dit principe toepassen op een kogel blijkt dat als het duwtje door de wind veroorzaakt wordt en van rechts komt, de voorkant van de kogel lichtjes omhoog gaat. De kogel krijgt daardoor een stand ten opzichte van de omringende lucht die een grotere lift creëert. Op dezelfde wijze zal wind van links de voorkant van de kogel omlaag laten zakken zodat de kogel omlaag geduwd wordt.

Bron: The mystery of shooting in the wind, R. Mason 2008



Een kogel die door een constante zijwind afwijkt zal een gekromde baan vertonen (links).

Wind laat een kogel "ombuigen". De kogel draait voortdurend verder weg in de richting waar de wind heen waait. Wanneer je de baan van een kogel, die door een constante wind wordt omgebogen, zou kunnen waarnemen zou je zien dat de baan een steeds sterkere kromming volgt. Als de wind de kogel opzij zou duwen (misvatting, zie Dr. Mann's experiment), dan zou de baan een rechte lijn vormen die onder een gelijkblijvende hoek ten opzichte van de schietrichting zou weglopen.

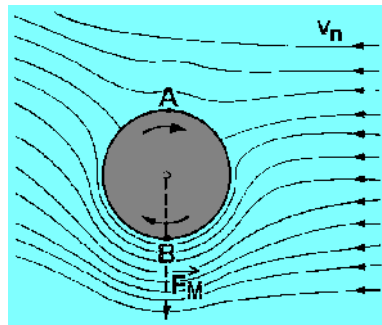
Zijwind zorgt ervoor dat de kogel steeds verder wegdraait (gieren) en daardoor een steeds grotere afwijkende richting aanneemt wat in de gekromde baan resulteert (rechts). Dit houdt in dat de afwijking niet evenredig toeneemt, maar kwadratisch oploopt. Wanneer de schietafstand twee maal groter wordt, wordt de zijdelingse afwijking kwadratisch, dus vier maal groter!

Bron: <http://www.shootingtimes.com/2011/06/03/dont-blow-a-shot-in-the-wind>

Het Magnus effect

In het bovenstaand figuur bekijken we een kogel vanaf de achterzijde. Er wordt aangenomen dat de kogel een rotatie rechtsom heeft, aangegeven door de twee kromme pijlen.

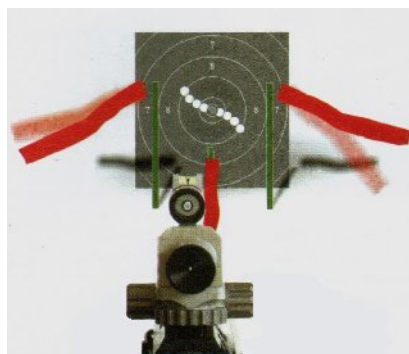
Door de rotatie en de oppervlakteweerstand van de kogel blijven luchtdeeltjes aan het oppervlak kleven en wordt het stromingsveld rond de kogel asymmetrisch. De snelheid van de luchtstroom en de rotatiesnelheid moeten afgetrokken worden op punt *A* en wordt opgeteld worden op punt *B*. Volgens de wet van Bernoulli veroorzaakt dit een drukverschil. Een hogere druk op punt *A* en een lagere druk op punt *B*, waardoor op punt *B* een omlaag gerichte kracht F_M (Magnus Force) ontstaat. Hierdoor ontstaat aan de onderzijde een lagere druk als aan de bovenzijde en wordt de kogel omlaag geduwd. Dit is hetzelfde effect als bij een vliegtuigvleugel.



Bij wind van rechts (V_n) werkt deze Magnuskracht kracht tegengesteld aan de kracht veroorzaakt door het omhoog kantelen van de kogelpunt (het gyroscopisch effect) – de krachten moeten van elkaar afgetrokken worden. Bij wind van links werkt het Magnus effect in dezelfde richting als de kracht veroorzaakt door het omlaag kantelen van de kogelpunt en moeten beide krachten bij elkaar opgeteld worden. Dit verklaart waarom de lijn van de trefpunten schijfcentrum naar ‘10-uur’ minder schuin loopt dan de lijn schijfcentrum naar ‘4-uur’.

Hoe groot deze afwijking is hangt af van de vorm en de luchtweerstand van de kogel en moet dan ook proefondervindelijk worden bepaald.

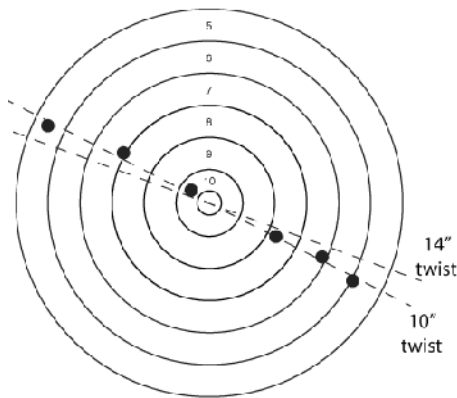
We kunnen het ‘draai-effect’ of Magnus-effect goed demonstreren met een pingpong bal. Pak een pingpong bal en sla enkele ballen met topspin (voorover draaiende bal) en gekapte ballen (achterover draaiende bal). Let er op hoe topspin (voorover draaien) de bal extra snel omlaag drukt. Meer als dat je de bal zonder draaiing slaat. Op dezelfde manier zal een gekapte bal (achterover draaien) de bal extra lift geven en omhoog laten drijven. Het maakt daarbij niet uit of de bal door de lucht beweegt of dat de lucht langs de bal beweegt.



Verdeling van de afwijkingen op de schijf bij verschillende windrichtingen en één zelfde windsnelheid (linker figuur: wind van 12-3 uur en 6-9 uur)

Aerodynamische sprong en spoed van de trekken en velden

Zodra een kogel de loop verlaat, zorgt de wind er voor dat de kogel zijwaarts gaat gieren (wegdraaien), daardoor ontstaat aërodynamische sprong. Deze afwijking is voorspelbaar omdat de bron de windrichting is. Als gevolg van de aërodynamische sprong krijgt de kogel een verticale afwijking. Hoe sterker de wind is, hoe groter de afwijking zal zijn. Stel je eens voor dat je met een bijzonder nauwkeurig geweer zou schieten terwijl er een stormachtige wind waait vanuit één richting met hoge en lage uitschieters van de windsnelheid. Je treffers zouden er als volgt uit kunnen zien:



Wind van links naar rechts zorgt voor lage treffers. Een rechts-links wind zorgt voor hoge treffers. De wind zorgt voor spreiding onder een bepaalde hoek. Hoe groter de spoed van de trekken en velden in het geweer, des te groter is de hoek waaronder de verticale afwijking optreedt.

Spoed 1 in 14 inch: kleinere verticale afwijking
 Spoed 1 in 10 inch: grotere verticale afwijking

Bron: <http://bisonballistics.com/articles/barrel-twist-and-bullet-stability>

Onderzoek door het BRL

In juli 1989 werd bij het U.S. Army Ballistic Research Laboratory (BRL), Aberdeen Proving Ground Maryland, een bijeenkomst gehouden om te bepalen welke rol het BRL kon hebben bij het assisteren van het Amerikaanse Olympische team. De voorzitter van het U.S. Shooting Team verzocht het BRL te onderzoeken wat de invloed van wind zou zijn op de prestaties van de .22LR munitie die tijdens de Olympische spelen in 1990 gebruikt zou worden.

Er werden twee commerciële merken gebruikt: de engelse Eley Tenex en de Duitse RWS R50. Bovendien werden speciaal voor dit experiment met afwijkende kruitladingen gevulde patronen ter beschikking gesteld. De kogels van deze patronen hadden exact dezelfde vorm, maat en gewicht als de Tenex en de R50, die wat vorm betreft bijna volledig gelijk aan elkaar zijn. De patronen waren geladen met kruitladingen die onder, gelijk aan, en boven standaard kogelsnelheden produceerden. Getest werd met twee verschillende geweren: een Anschutz Prone en een Remington 40X. In totaal werden 21 schoten afgevuurd waarvan de data werd gemeten en geregistreerd.

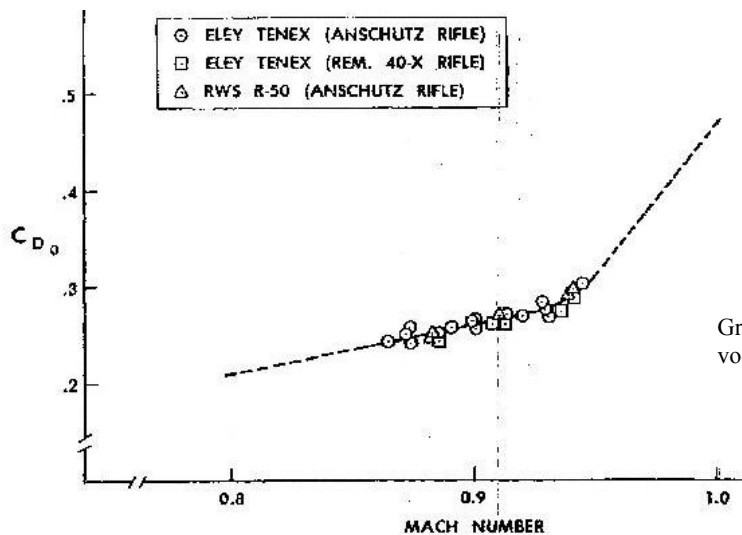
De patronen werden getest bij een kogelsnelheid van 1200fps (365m/s), 1075fps (327m/s) en 975fps (270m/s). Er werd gebruik gemaakt van de indoor, klimaat gecontroleerde schietbaan die over een lengte van 90 meter is voorzien van schaduwfotografie meetstations. De meettoleranties van de schietbaan liggen binnen 0.3mm voor wat betreft afstand, 1 microseconde voor gemeten tijd en ca. 0.1 graden voor pitch en yaw hoeken, minder dan 1 procent voor luchtweerstandmeting en 2 procent voor gyroscopische stabiliteit.

Beide geweren hadden een spoed van 1 omwenteling per 16 inch. Voor de berekeningen moest kunstmatig extra yaw (3 tot 5 graden) opgewekt worden, omdat de yaw van een .22LR zo klein is dat deze niet of nauwelijks meetbaar is. Dit werd gedaan door de kogels door een op 5 meter van de loopmondung en 45 graden schuin staande kartonnen kaart te schieten.

Over een lengte van 90 meter werden foto's van de kogels gemaakt. Deze foto's toonden niet alleen de stand van de kogels ten opzichte van de vluchtbaan, maar ook de schokgolven die door de kogels opgewekt worden. Deze foto's toonden aan dat bij een snelheid van Mach 1.01 (1.01 maal de geluidssnelheid) de schokgolf vóór de kogelpunt ligt en bij Mach 0.99 niet aan de voorkant, maar wel plaatselijk over het oppervlak van de kogel voorkomt. Deze schokgolven blijven voorkomen tot Mach 0.85. Boven Mach 0.85 bevindt de .22LR kogel zich dus in het transsonische gebied.

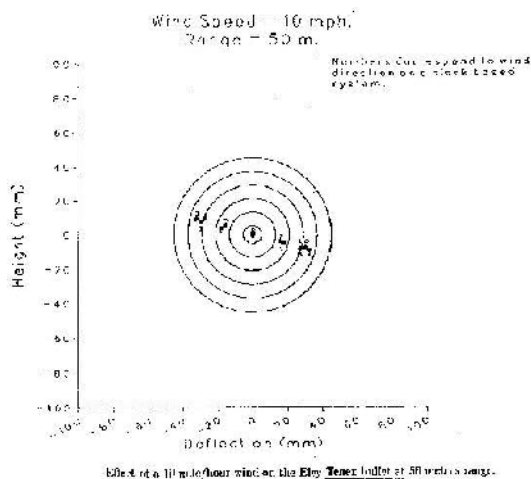
Bij bestudering van het stromingsveld en de schokgolven op de foto's bleek dat de 'schouder', de uitstekende rand die gevormd wordt door de voorkant van de geleideband van een onafgevuurde .22LR, helemaal verdwenen was. Omdat de kogels van de Eley Tenex en de RWS R50 van een vrij zachte loodlegering zijn gemaakt (Brinell hardheid 7.4-7.6), wordt door de grote versnelling van de kogel in de loop het gekromde deel van de voorkant van de kogel zover naar achteren geperst dat de schouder ter plaatse van de overgang tussen kogelpunt en geleideband helemaal verdwijnt; de kogel wordt korter en de diameter vóór de geleideband wordt groter. Deze deformatie verandert het stromingsveld en daarmee ook de schokgolven en luchtweerstand.

Aan de hand van de meetgegevens (tijd-afstand metingen) werd de weerstandcoëfficiënt C_d (drag coefficient) bepaald. De C_d bleek niet-lineair met de yaw (de sliphoeck van de kogel ten opzichte van zijn baan) te verlopen. De maximale afwijking van de weerstandcoëfficiënt tussen de afgevuurde patronen onderling voor zowel de Eley Tenex als de RWS R50 bleek 2% te zijn.

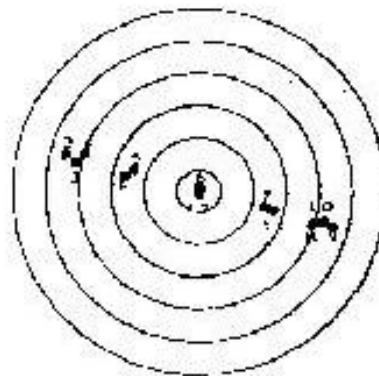


Grafiek van de Cd versus Machgetal voor Eley Tenex

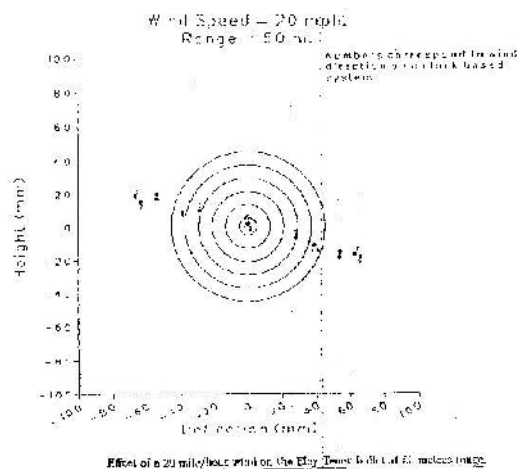
Bovendien werd door middel van een "Six-degrees-of-freedom flight simulation program" de afwijking door wind berekend. Hierbij werd uitgegaan van 3 verschillende windsnelheden: 10mph, 20mph en 30mph (resp. 4.5m/s, 9m/s, 13.5m/s; of windkracht 3Bf, lage 5Bf en hoge 5Bf) en 12 windrichtingen volgens de "klok-methode". Daarbij bevindt de schutter zich in het centrum van de klok en het doel op 12-uur. In onderstaande figuren zijn de trefpunten naar verhouding uitgezet op de ISSF 50m KKG schijf



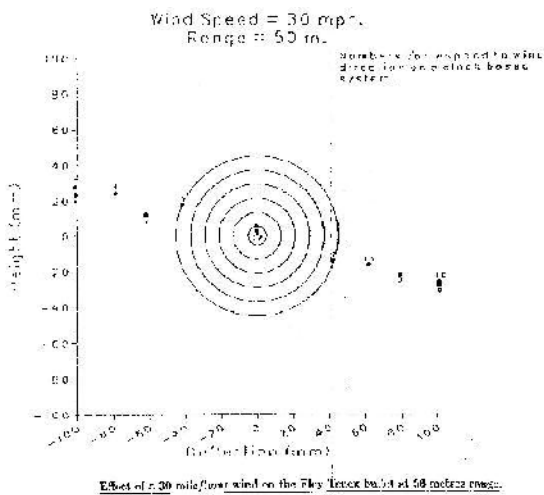
Afwijking Eley Tenex bij 10mph (4.5m/s of 3Bf) wind



Hetzelfde figuur maar dan uitvergroot. De 5 t/m 10-ring van het ISSF visueel zijn in verhouding afgebeeld.



Afwijking Eley Tenex bij 20mph (9m/s of 5Bf) wind



Afwijking Eley Tenex bij 30mph (13.5m/s of 6Bf) wind

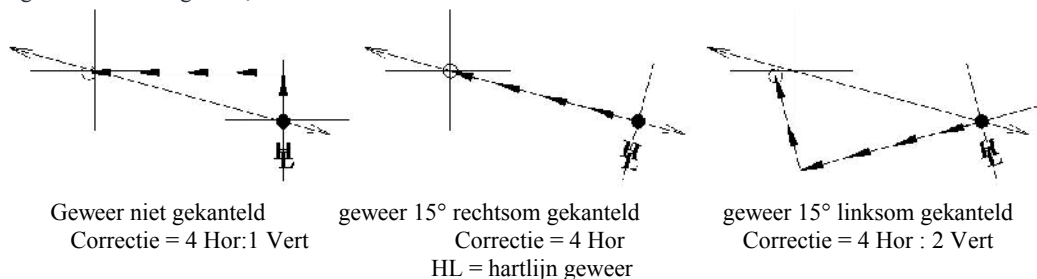
Alle figuren tonen de welbekende 10-uur/4-uur helling. Eigenlijk is het een helling van 9:30/3:30-uur. Bovendien bleek de afwijking lineair te lopen. De berekeningen toonden aan dat bij een windsnelheid van 10mph (16km/uur) de schutter 1 punt verliest wanneer hij geen verticale correctie uitvoert als hij horizontaal voor de wind corrigeert. Bij een 20mph (32km/uur) zijwind verliest hij al 2 punten als hij niet tevens vertikaal corrigeert. Bij windcorrecties moet voor iedere 4 klikken in horizontale richting 1 klik in verticale richting gecorrigeerd worden.

Bron: Memorandum report BRL-MR-3877, Aerodynamic characteristics of caliber .22 Match ammunition

Wanneer de schutter zijn geweer vertikaal houdt, moet voor iedere 4 klikken in horizontale richting 1 klik in verticale richting gecorrigeerd worden.

Wanneer echter - zoals de meeste rechtshandige schutters doen - het geweer linksom naar het gezicht gekanteld wordt, moet ook voor deze extra kanteling gecorrigeerd worden. Als de verkanting rond de 15-20 graden ligt moet voor iedere 2 klikken in horizontale richting 1 klik in verticale richting gecorrigeerd worden.

Linkshandige schutters zijn hierbij in het voordeel. Omdat zij het geweer naar rechts kantelen ligt de verplaatsingsrichting van het diopter in dezelfde lijn als de verplaatsing van het trefpunt door wind. Linkshandige schutters hoeven, bij een verkanting rond de 15-20 graden, verticale correctie uit te voeren.



Ook werd bestudeerd wat het effect van verschillende kogelsnelheden op de windgevoeligheid van Eley Tenex was. Kogelsnelheden, variërend van 1100fps (335m/s) tot 800fps (244m/s), werden getest bij een zijwind van 10mph. De gegevens toonden aan dat een kogelsnelheid van 950fps (289m/s) de minste windgevoeligheid opleverde, circa 20 procent minder als bij de standaard snelheid van 1090fps (332m/s).

Bron: 1) U.S. Army Ballistic Research Laboratory Aberdeen Proving Ground - Aerodynamic Characteristics of caliber .22 Long Rifle Match Ammunition, R. L. McCoy. Rapport nr. BRL-MR-3877 november 1990.

De 'waarde' van de wind

Wanneer je de correctie voor 90 graden dwarswind gaat bepalen is de 'waarde' van de wind is net zo belangrijk als de windsnelheid. Een wind vanaf '12-uur' heeft bijna nul waarde, en zal de kogelbaan nauwelijks beïnvloeden. Een even sterke wind vanuit '3-uur' heeft een volle waarde. De methode gaat er van uit dat je weet hoe sterk de wind de kogel beïnvloedt bij een windsnelheid van 1m/s bij volle waarde.

Een wind van 1.0m/s en 'volle waarde' verplaatst de kogel op 100m afstand circa 1.5mm. We zullen deze waarde de "1m/s constante" noemen. Ben je eenmaal bekend met de windsnelheid en de waarde van de wind uit een bepaalde richting dan ben je in staat om snel en zonder rekenformule of zakcalculator de werkelijke zijdelingse verplaatsing te bepalen.

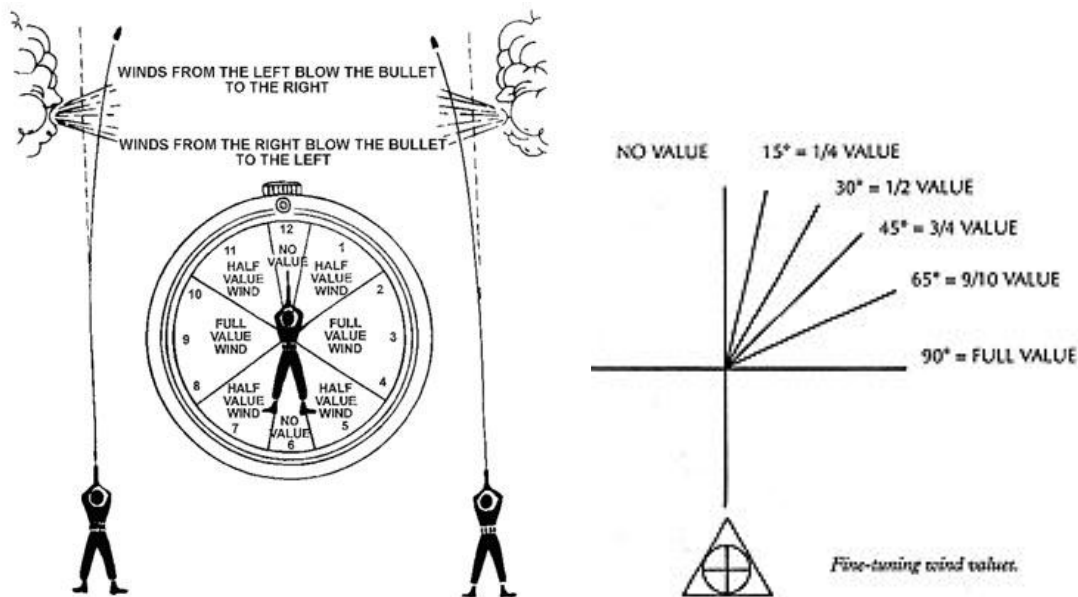
Je kunt hierbij de volgende vuistregel toepassen:

Wind vanuit 12 uur of 6-uur heeft een nul waarde.

Wind tussen 12-uur en 2-uur, 4-uur en 6-uur, 6-uur en 8-uur, 10-uur en 12-uur heeft een halve waarde.

Wind tussen 2-uur en 4-uur & 8-uur en 10-uur heeft een volle waarde.

Een voorbeeld: de schietafstand is 50m en de vlaggen wijzen een wind aan vanuit '9-uur'. De wind heeft dan volle waarde en je schat de windsnelheid op 3m/s. Je moet dan voor de maximale afwijking corrigeren. Als de wind uit de richting '11-uur' zou waaien, dan was de waarde van de werkelijke dwarswind ongeveer de helft, en zou je dus ook voor de helft van maximale afwijking moeten corrigeren.



Beide figuren tonen de richting en de waarde van de wind ten opzichte van de schietrichting

De 90 graden dwarswind afwijking

Er bestaat een rekenkundige formule om de zijwaartse afwijking van een kogel bij 90 graden dwarswind te berekenen.

$$A = V_w * \left(T_w - \frac{S}{V_0} \right)$$

- A = afwijking [m]
- V_w = snelheid van de dwarswind [m/s]
- T_w = werkelijke vluchttijd kogel [s]
- V_0 = mondingsnelheid kogel [m/s]
- S = afstand loopmondning tot doel [m]

De waarde binnen de haakjes is de "lag time" of vertragswaarde. T_w is de totale werkelijke tijd dat de kogel zich verplaatst. De waarde van S/V_0 is de tijd die de kogel nodig zou hebben gehad als hij zich door een vacuüm had verplaatst en geen luchtweerstand had ondervonden. Het verschil tussen de werkelijke tijd en de tijd in vacuüm is de vertraging veroorzaakt door de luchtweerstand.

Onder invloed van de luchtweerstand neemt de kogelsnelheid steeds sneller af. Hierdoor is de gemiddelde vluchttijd nooit de helft van de mondingsnelheid + eindsnelheid. Zou een kogel geen luchtweerstand hebben, dan zou hij zijn mondingsnelheid tot aan het doel behouden. De gemiddelde snelheid was dan gelijk aan de beginsnelheid. Hierdoor zou het gedeelte tussen de haakjes als uitkomst nul hebben en zou de kogel ook bij de sterkste wind niet zijwaarts verplaatst worden. Heeft een kogel echter een grote luchtweerstand dan wordt de gemiddelde snelheid zeer klein. Het getal tussen de haakjes nadert daardoor tot 1 en daardoor wordt de zijwaartse verplaatsing groter tot het getal maximaal 1 is, (voorwaartse snelheid 0,0m/s) en de zijwaartse verplaatsing maximaal, en dus gelijk aan de windsnelheid).

Omdat een kogel echter nooit een luchtweerstand van 100% en dus altijd een voorwaartse snelheid heeft, zal de zijwaartse snelheid en afwijking dan ook nooit zo groot worden als die van de wind.

De werkelijke vluchttijd van de kogel is te berekenen als men de mondingsnelheid en de snelheid op de schietafstand weet. De formule hiervoor luidt:

$$V_{gem} = \sqrt{V_0 * V_s}$$

- V_{gem} = gemiddelde snelheid [m/s]
- V_0 = mondingsnelheid kogel [m/s]
- V_s = kogelsnelheid op S meter afstand [m/s]

De werkelijke vluchttijd kan met de volgende formule berekend worden:

$$t = \frac{S}{V_{gem}}$$

- t = werkelijke vluchttijd [s]
- S = schietafstand [m]
- V_{gem} = gemiddelde snelheid [m/s]

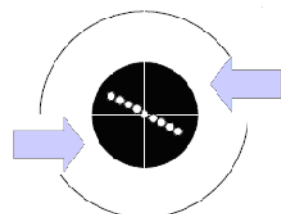
Op een zelfde wijze is ook de zijwaartse snelheid van de kogel te berekenen:

$$V_z = V_w * \left(V_{gem} - \frac{S}{V_0} \right)$$

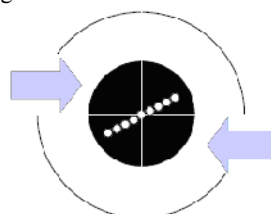
V_z = zijwaartse snelheid [m/s]
 V_w = snelheid van de zijwind [m/s]
 V_{gem} = gemiddelde snelheid kogel [m/s]
 V_0 = mondingsnelheid kogel [m/s]

<i>Richting</i>		<i>Afwijking</i>	
<i>Spoed</i>	<i>Dwarswind Horizontaal</i>	<i>Horizontaal (veel)</i>	<i>Verticaal (weinig)</i>
Rechtsom	naar Rechts	Rechts	Omlaag
Rechtsom	naar Links	Links	Omhoog
Linksom	naar Rechts	Rechts	Omhoog
Linksom	naar Links	Links	Omlaag

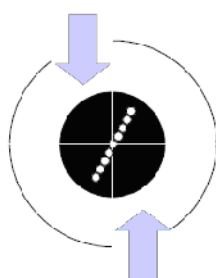
<i>Richting</i>		<i>Afwijking</i>	
<i>Spoed</i>	<i>Dwarswind Verticaal</i>	<i>Horizontaal (weinig)</i>	<i>Verticaal (veel)</i>
Rechtsom	Omhoog	Rechts	Omhoog
Rechtsom	Omlaag	Links	Opwaarts
Linksom	Omhoog	Links	Opwaarts
Linksom	Omlaag	Rechts	Omlaag



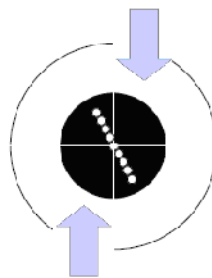
Spoed rechtsom, hor. dwarswind



Spoed linksom, hor. dwarswind



Spoed rechtsom, vert. dwarswind



Spoed linksom, vert. dwarswind

Dat de invloed van de wind groter is als menig schutter denkt blijkt uit onderstaande ballistische tabel.: Schietafstand 50m, 90 graden zijwind van 1.8m/s (Zwak, 2Bft, wind voelbaar in gezicht, blad ritselt, 4mph). De afwijking op 50m is dan al opgelopen tot 12.7mm (0.5 inch). Dit staat gelijk aan een treffer in de rand van de 9-ring! Een standaard ISSF windvlag toont hierbij een hoek van 45 graden ten opzichte van vertikaal.

```

C:\PRIVEA~1\SCHIET~3\BALIST~2\PCb\PCB.EXE
Bullet : .22LR
Weight : 40 grs
U0 : 1085 ft/sec
BC : 0.163
L.O.S. : 1.0 ins above bore axis
Zero : 0.0 ins at 55.0 yds
Altitude : 0 ft
Temperature : 15 °F
Crosswind : 4.0 mph from 90°
One click = 0.10ins at 100yds

```

Range [yds]	Velocity [ft/s]	Energy [ft.lbs]	Time [s]	Drop [ins]	MaxH [ins]	Path [ins]	Drift [ins]	Up [clicks]	Side [clicks]
0	1085	105	0.000	0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0
5	1075	103	0.014	0.0	-0.4	-0.5	0.0	102.9	0.8
10	1066	101	0.028	0.1	-0.4	-0.1	0.0	10.4	1.8
15	1057	99	0.042	0.3	-0.3	0.2	0.0	-15.3	2.6
20	1049	98	0.056	0.6	-0.2	0.5	0.1	-24.3	3.4
25	1041	96	0.071	0.9	-0.2	0.7	0.1	-26.6	4.2
30	1033	95	0.085	1.4	-0.0	0.8	0.1	-25.4	5.0
35	1025	93	0.100	1.9	0.1	0.8	0.2	-22.2	5.8
40	1017	92	0.114	2.5	0.2	0.7	0.3	-17.7	6.6
45	1010	91	0.129	3.1	0.4	0.6	0.3	-12.4	7.4
50	1003	89	0.144	3.9	0.6	0.3	0.4	-6.5	8.2
55	996	88	0.159	4.7	0.8	-0.0	0.5	0.0	9.0

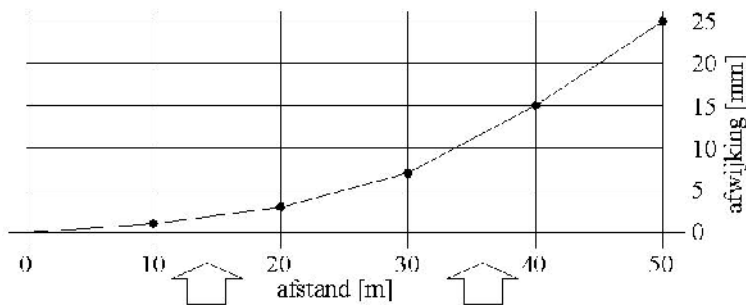
Home/End = Top/Bottom Pgup/Pgdn/Up/Down : scroll ESC = Exit

Bij zijwind over de eerste 25meter van de 50m baan is de afwijking drie tot vier maal groter dan bij eenzelfde windsnelheid over de laatste 25 meter.

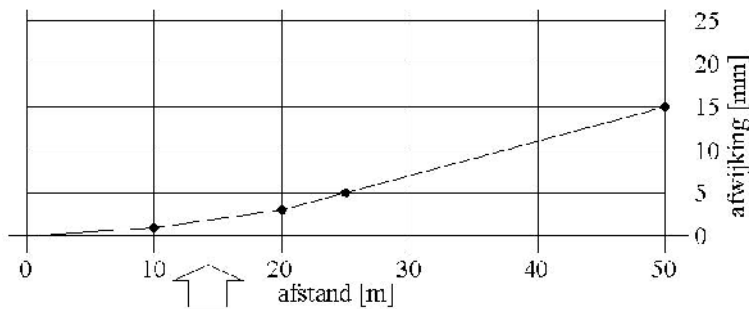
Een voorbeeld: Bij een 90 graden zijwind van 2m/s over de volle schietafstand van 50m is de afwijking op de schijf ca. 25mm. Verdelen we de afstand in vijf stappen dan ziet de verdeling van de zijdelingse afwijking er als volgt uit.

Afstand tussen	0-10m	10-20m	20-30m	30-40m	40-50m	Totale afwijking
afwijking	1mm	2mm	4mm	8mm	10mm	25mm

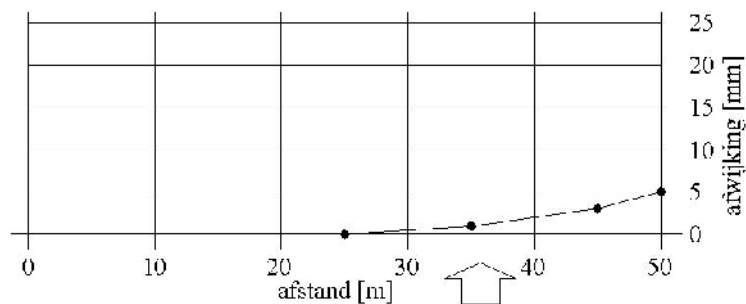
Je ziet dat naarmate de afstand toeneemt, de grootte van de afwijking ook toeneemt. Zijwind over enkel de laatste 25m zou geen afwijking hebben veroorzaakt van $25/2=12.5\text{mm}$, maar $1+2+(4/2)=5\text{mm}$.



90 graden zijwind over de volledige afstand



90 graden zijwind over de eerste helft



90 graden zijwind over de tweede helft

We kunnen gebruik maken van een vuistregel:

Bij gelijkblijvende (zij)wind over de gehele schietafstand is de afwijking ten opzichte van een 'standaard' schietafstand bij benadering het kwadraat van de afwijking op de 'standaard' schietafstand.

Voorbeeld:

Standaard schietafstand is 10m, de afwijking is 1mm

Schietafstand 20m: schietafstand is 2x langer dan 10m, afwijking is $(2 \times 2) \times 1\text{mm} = \text{ca. } 4\text{mm}$

Schietafstand 30m: schietafstand is 3x langer dan 10m, afwijking is $(3 \times 3) \times 1\text{mm} = \text{ca. } 9\text{mm}$

Enz.

Vleugeltip wervelingen (Wingtip vortices)

Hoe vaak heb je het niet meegemaakt dat je 's morgens vroeg naar de schietbaan ging, de windvlaggen doodstil erbij hingen, er geen blad aan de bomen bewoog en je bij jezelf dacht: "Dit is 600 punten weer".

En in deze 'geen condities' presteerde je het om de laagste score of de grootste groep van je leven neer te zetten. Klinkt bekend? We hebben het allemaal meegemaakt! "Wat kan dit veroorzaakt hebben?" is dan de alles overheersende vraag.

Nee, het zijn geen duivelse geesten, spoken, kabouters of gewoon pech. Het zijn de wervelingen van de voorafgaande kogels; de kogels die langs precies dezelfde baan met bijna de geluidsnelheid voorbij kwamen. Gewoon turbulentie van de lucht zoals dat in de luchtvaart al heel lang bekend is.

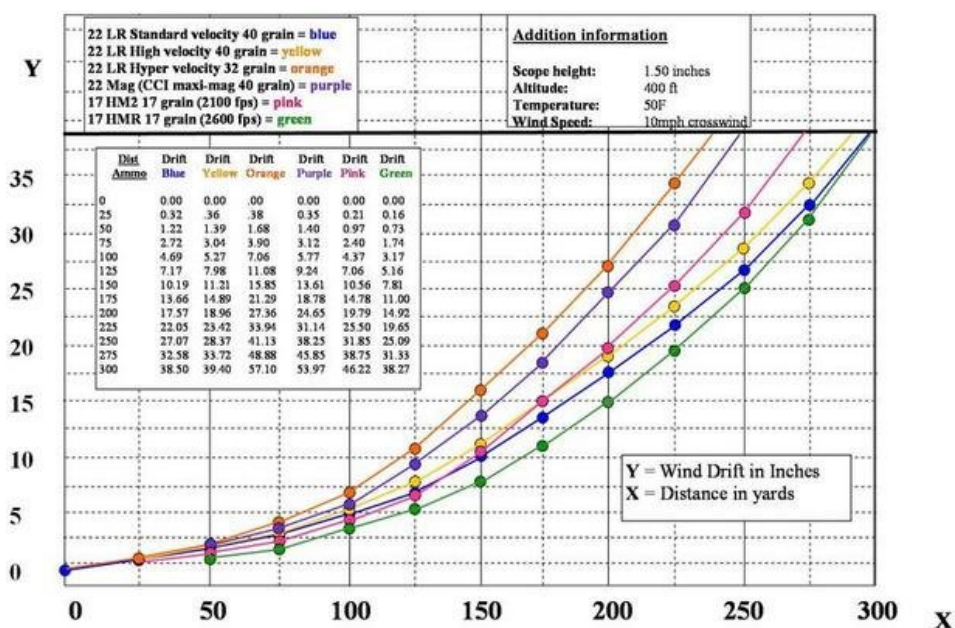
Op momenten dat er geen enkele dwarswind component is die de wervelingen weg kan blazen, blijven de vleugeltip wervelingen van voorbij gekomen vliegtuigen gedurende meerdere minuten op hun plaats hangen, daarmee een reëel gevaar voor kleinere startende of landende vliegtuigen creërend. Precies hetzelfde gebeurt met onze kogels als we ze in totaal windstille omstandigheden afvuren. Wanneer een kogel in de wervelingen van een voorafgaande kogel terecht komt, wordt hij op een onvoorspelbare manier uit zijn baan geduwd. Hoe groter het aantal voorafgaande schoten en hoe kleiner de tijd tussen de schoten, hoe groter de kans dat dit kan voorkomen.

Bewegende schijftransporten: valse wind

Zelfs als het windstil weer is kan je toch nog geplaagd worden door onzichtbare maar door mensenhanden opgewekte wind en luchtwervelingen! Je concurrenten links en rechts van je zien hiervan de oorzaak.

Op banen met schijftransporteurs (vooral 50 en 100m banen) gaan voortdurend de schijftransporteurs heen en weer. Meestal zijn de borden waarop de schijven bevestigd zijn van redelijk grote afmetingen, ca 34x34 centimeter. Bovendien verplaatsen ze zich met een aanzienlijke snelheid van ca. 14 meter per seconde. Als een dergelijk schijfhouder onderweg is, creëert hij aanzienlijke luchtwervelingen om zich heen. Passeert een transporteur terwijl je kogel op weg is naar de schijf, dan komt de kogel in deze wervelingen terecht en kan hij een (kleine) onvoorspelbare afwijking krijgen!

Rimfire Wind Deflection Chart



Windafwijking van verschillende randvuurpatronen bij een zijwind van 4.5m/s (10mph).

