

Ydre ballistik

Den ydre ballistik er læren om projektilets frie flugt. Projektilet kan i denne fase beskrives som en masse med en given hastighed, rotation, orientering, flugtretning, massefordeling og ydre form. Alle disse faktorer har afgørende indflydelse på den bane projektilet vil følge.

Energi og hastighed

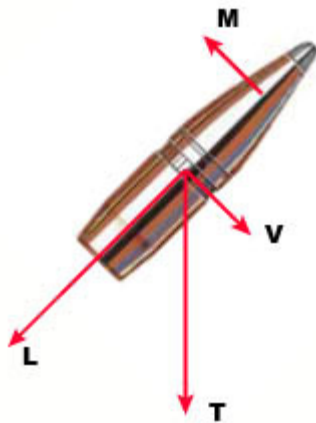
Projektilet besidder - som alle masser i bevægelse - en mængde **bevægelsesenergi** (Den videnskabeligt anvendte betegnelse er **kinetisk energi**) der alene afhænger af projektillets **masse** (vægt) og **hastighed**. Energien er proportional med massen og med kvadratet på hastigheden. Det vil sige, at hvis man fordoblede massen af et projektil med en given hastighed ville energien ligeledes stige til det dobbelte. Hvis man derimod fordobler hastigheden for et projektil med en given masse vil energien firedobles. Hastigheden har med andre ord en langt større indflydelse på energimængden end massen. Den energi projektilet har ved munden betegnes som **Mundingsenergien** eller **E0** hvor 0'et angiver den afstand, projektilet har bevæget sig fra munden. Tilsvarende betegnes restenergien på f.eks. 100 m som **E100**. Den mængde energi projektilet har, idet målet rammes, kaldes **anslagsenergien**.

Det er klart, at også projektillets rotationsbevægelse er årsag til en mængde bevægelsesenergi, men denne energi udgør imidlertid kun en forsvindende ubetydelig brøkdel af den samlede energimængde (Mindre end 2%), og man kan derfor uden problemer tillade sig at se helt bort fra den ved vurdering af anslagsenergi.

Tilsvarende betegnelser anvendes for hastigheden, der således ved munden kaldes: **Mundingshastigheden** eller **V0** (V'et er afledt af det engelske ord for hastighed: Velocity), og på 100 m betegnes som **V100**.

Kraftpåvirkningen af projektilet

Det fritflyvende projektil påvirkes af adskillige mere eller mindre betydende kræfter, hvoraf vi her vil begrænse os til de i praksis interessante. **Tyngdekraften**, **correoliskraften** og **centrifugalkraften** er alle massekræfter. **Luftmodstands-** og **sidevindskraften** er aerodynamiske kræfter ligesom **magnuskraften**, der virker i kraft af riffelprojektillets rotation. For at give en idé om kræfternes indbyrdes størrelsesforhold kan vi betragte de aktuelle kræfter for et spidsskarp 7.62 mm M80 NATO projektil, der flyver med 2.5 gange lydets hastighed. Idet tyngdekraften pr. definition er på 1.0 G andrager de to massekræfter correoliskraften og centrifugalkraften, der begge er fiktive kræfter, som skyldes jordens rotation, hhv. 0.013 G og 0.003 G – altså forsvindende lidt. Luftmodstandskraften andrager - ved en skævvinkling på 1 grad, hvilket er meget almindeligt ved munden - hele 70.2 G og sidevindskraften (den del der alene skyldes projektillets skævvinkling) 9.4 G. Magnuskraften er svær at beregne, men den er særdeles lille og dog meget betydningsfuld, som det eftervises i det følgende. I praksis er det først og fremmest de fire kræfter: Tyngdekraften, luftmodstandskraften, sidevindskraften og magnuskraften, der har reel betydning for projektillets flugt og stabilitet.



De fire betydende kræfter på det fritflyvende projektil.

Tyngdekraften - T - trækker projektilet mod jorden afhængigt af flyvetiden.

Luftmodstandskraften - L - bremser projektilet afhængigt af hastigheden, massen og formen.

Sidevindskraften - V - trækker projektilet ud af kurs afhængigt af luftmodstandskraften, vindstyrke og retning.

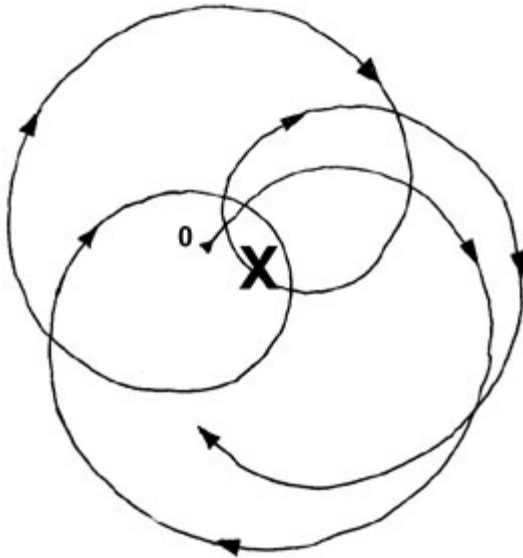
Magnuskraften - M - stabiliserer - eller destabiliserer - projektilets orientering i forhold til flugtreningen.

Stabilitet

Når projektilet forlader munden, flyver det ikke lige. Det vil sige, at længdeaksen gennem projektilets tyngdepunkt ikke peger i samme retning som projektilets bevægelse. Årsagerne til den skæve kurs er mange. Dels svinger riflens munding under skudafgivelsen, dels får det skævt orienterede projektil et ekstra pust i den gale retning af de udstrømmende krudtgasser i det øjeblik munden slippes og endelig vil små unøjagtigheder i projektilets konstruktion være årsag til uforudsigelige bevægelser. Effekten af denne skævhed er, at vindkræfterne, der angriber i et punkt foran tyngdepunktet, søger at tippe projektilet og øge skævheden. Hvis projektilet blev affyret fra et glatboret løb, ville det da også øjeblikkeligt give efter for vindkræfternes påvirkning og tippe over og tumle rundt indtil det fandt en aerodynamisk ligevægt, hvor det fløj mere eller mindre sidelæns.

Statisk stabilitet

Et riffelprojektil forlader munden med en høj rotationshastighed om sin længdeakse og dette fører takket være **den gyroskopiske effekt** til stabilitet. I stedet for at tippe forskydes projektilets længdeakse imod det tippende moment, hvilket resulterer i, at projektilspidsens bane gennem luften groft sagt minder om en proptrækker forløb og altså forbliver på en cylinderflade. Denne bevægelse af projektilet i flugten kaldes **langsom oscillation** eller **precession**. Projektilets bevægelse kan dog ikke beskrives helt så simpelt, idet projektilspidsens bane også viser et mindre bevægelsesforløb, der populært kan beskrives som en lille proptrækkerbane uden om den store proptrækkerbane. Dette fænomen kaldes **hurtig oscillation** eller **nutation**.



Projektilspidsens vandring illustreret med et eksempel fra den virkelige verden. "X" markerer projektilets flugtretning. Projektilet flyver ud af skærmen. "0" angiver projektilspidsens orientering idet munden forlades. Herefter følger spidsen den viste kurve. Det samlede forløb strækker sig over knap 8 meter. De største udsving er på næsten 1 grad fra flugtretningen.

Hvis projektilet kun oscillerede langsomt (precession) ville spidsen følge en cirkulær kurve med samme diameter som den illustrerede kurve. Den hurtige oscillation (nutation) er årsagen til afvigelse fra dette.

Et projektil siges at være **statisk stabilt**, såfremt den gyroskopiske effekt er kraftig nok til at modstå vindkræfterne og således holde spidsen i flugtretningen. Man kan tilskrive et projektil en **stabilitetsfaktor** der er et udtryk for hvor hurtig rotationen skal være i forhold til projektilets hastighed for at opnå statisk stabilitet. Ligevægtskriteriet svarer til en faktor på 1.0 og de fleste moderne riffelprojektiler er konstrueret med stabilitetsfaktorer større end 1.2 – 1.5 ved munden.

Generelt kan man sige, at et projektil, der er statisk stabilt ved munden også vil være det langs hele kuglebanen, idet projektilets rotation bremses langt mindre end dets hastighed og stabiliteten er dermed reelt stigende langs kuglebanen.

Overstabilisering

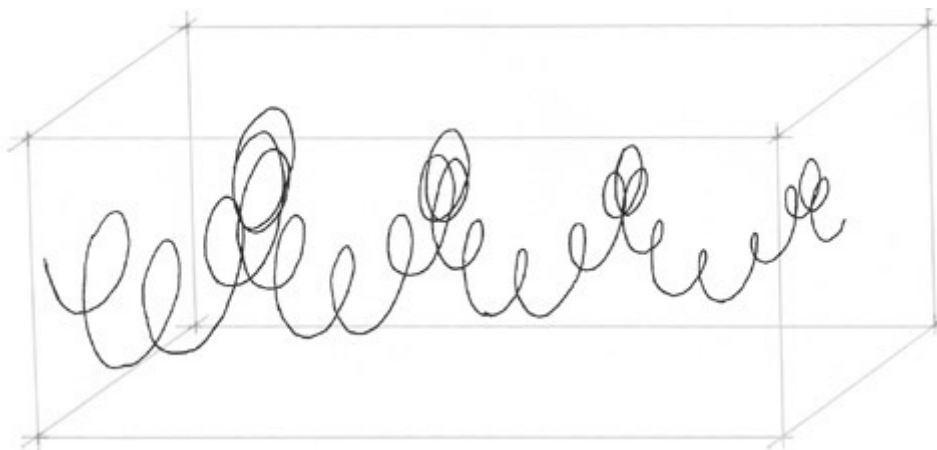


Et projektil siges at være **overstabiliseret**, hvis det roterer så hurtigt, at den resulterende gyroskopiske effekt forhindrer projektilets orientering i at følge skudbanens krumning. Et stejlt

skud med et overstabiliseret projektil vil således føre til, at projektilet lander på bunden. På praktisk jagt spiller fænomenet ingen nævneværdig rolle.

Dynamisk stabilitet

På et roterende projektil, der ikke flyver fuldstændigt lige i forhold til luftmodstanden, virker en lille men meget betydningsfuld kraft kaldet magnuskraften. Den skyldes trykforskydninger omkring projektilet som følge af, at luftmolekylerne nær projektilets overflade, der i en vis udstrækning er sat i rotation med projektilet, støder sammen med luftmolekylerne på ”vindsiden” og dermed skaber et overtryk i forhold til ”læsiden”. Denne trykforskel giver sig udtryk i magnuskraften, som også er den kraft, der kan få en bold til at skrue i en tenniskamp. Effekten af magnuskraften på et rotationsstabiliseret riffelprojektil, hvor kraftens angrebepunkt ligger bagved projektilets tyngdepunkt, er imidlertid ikke, at projektilet skruer ud af kurs, men derimod at projektilets akse forskydes mod projektilets flugtretning. Eller sagt med andre ord: Proptrækkerbanen bliver mere og mere snæver, banen bliver mere og mere stabil. Omvendt destabiliseres projektilet, hvis magnuskraftens angrebepunkt ligger foran projektilets tyngdepunkt.



Et virkeligt eksempel på projektilspidsens bane i 3-D. Projektilet flyver fra venstre mod højre. Det ses at såvel precessions- som nutationsbevægelserne bliver mindre og mindre. Projektilet er dermed dynamisk stabilt. Hele det viste forløb strækker sig over cirka 56 meter. De største udsving er på næsten 2 grader i forhold til flugtretningen.

Et projektil siges at være **dynamisk stabilt** såfremt oscillationen aftager i flugten. Det siger sig selv, at alle ordentlige riffelprojektiler er dynamisk stabile ved jagtmæssigt relevante flugthastigheder. Visse projektiler mister dog den dynamiske stabilitet under en vis hastighed, hvilket fører til at projektilspidsens ”proptrækkerbane” udvides, med stærkt forøget luftmodstand og dermed kortere rækkevidde til følge. Særligt når projektilets hastighed falder til under lydshastighed, forekommer der ofte store ændringer i den dynamiske stabilitet som en følge af, at luftflowet omkring projektilet er markant forskelligt på hver sin side af lydturen. Som en konsekvens heraf er det nærmest umuligt at forudsige et givent projektils maksimale rækkevidde præcist, medmindre det direkte er undersøgt i praksis.

I praksis vil de fleste dynamisk stabile jagtriffelprojektiler være i ro (ligevægt) efter en fri flugt på 50 – 100 meter.

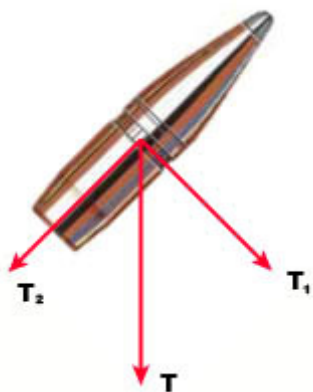
Betragter man et såvel statisk som dynamisk stabilt projektil, der efter fri flugt er stabiliseret således, at dets længdeakse er fuldstændig statisk i forhold til bevægelsesretningen, skulle man måske tro, at projektilet i denne situation var orienteret præcist i flugtretningen. Dette er imidlertid ikke tilfældet. Det kan påvises, at den aerodynamiske ligevægtsorientering af et projektil med højre

spin (roterer med uret set bagfra) kendetegnes ved, at projektilspidsen peger en anelse til højre og en anelse op. I praksis er den samlede afvigelse yderst sjældent på mere end en halv grad. Afvigelsen betyder ikke desto mindre, at projektilet også rammer en anelse højt og til højre i forhold til det træfpunkt, det ville have, hvis det var orienteret med spidsen præcist i flugtreningen. Dette er dog alene af teoretisk interesse, da indskydningen af riflen også korrigerer for denne **rotationsbestemte afdrift**, der altså ingen praktisk jagtmæssig betydning har.

Tyngdekraften

Tyngdekraften trækker projektilet mod jorden. Tyngdekraften er en konstant størrelse. Hvis man affyrer et projektil fuldstændigt vandret vil det derfor ramme jorden nøjagtigt ligeså hurtigt som et stillestående projektil, der blot bliver droppet ved riflens munding.

Hvis tyngdekraften var den eneste kraft der påvirkede projektilet ville det følge en perfekt parabelformet bane - i fysikken kaldt kasteparablen. Holder vi fast i det tankeeksperiment, at tyngdekraften er den eneste kraft der påvirker projektilet, vil alle projektiler der udskydes i samme hastighed og retning slå ned på nøjagtigt det samme sted og med nøjagtigt samme hastighed som ved munden - og det uanset projektilernes form og vægt. At dette desværre ikke stemmer overens med virkeligheden gav middelalderens videnskabsmænd grå hår i hovedet, for næppe havde de luret tyngdekraften, før de måtte konstatere, at deres ballistiske teorier tilsyneladende ikke holdt. Kanonkuglerne rakte ganske simpelt ikke så langt som beregnet. Årsagen til dette behandles i det efterfølgende kapitel om luftmodstand.



Når projektilets flugtrening er forskellig fra vandret er det kun en del af tyngdekraften - T_1 -, der virker på tværs af flugtreningen og dermed får kuglebanen til at krumme. Resten af kraften - T_2 - virker i samme retning som luftmodstandskraften, men den er så lille, at det ikke har nævneværdig praktisk betydning.

Effekten af vinklet flugtrening er rettere kuglebaner og dermed for højt placerede skud, hvis riflen er indskudt vandret. Dette gælder både op og ned ad bakke.

Fordi tyngdekraftens retning altid er lodret mod jorden og dermed er fuldstændig uafhængig af projektilets kurs og hastighed, har det betydning for projektilets bane, hvilken vinkel i forhold til vandret, projektilet affyres fra. Hvis man skyder enten op eller ned ad bakke, vil man således opleve at træfpunktet i begge tilfælde sidder højere end ved vandret skydning. Dette skyldes, at tyngdekraftens virkning på tværs af flyveretningen bliver mindre ved vinkler forskellige fra vandret.

Man kan tilnærmelsesvis anslå variationen i den resulterende kuglebane ved at udregne den afstand projektilet under et skråt skud bevæger sig i forhold til vandret og derefter finde træfpunktet i henhold til en ballistisk tabel udregnet for vandrette skud. At der er tale om en tilnærmelse skyldes, at man ikke tager højde for, at en del af tyngdekraften virker i samme retning som luftmodstanden og dermed fører til en mere krum bane. Da denne forøgelse af bevægelsesmodstanden imidlertid kun bliver på nogle ganske få procent betyder, at tilnærmelsen er god nok på praktisk jagt.

Generelt sker der ikke noget betydningsfuldt ved vinkler op til ca. 10 grader. Ved stigende vinkler øges fejlen imidlertid og kan ved skydning med almindelige jagtrifler i vinkler på omkring 45 grader betyde overskud på 10-15 cm på 200 m alt afhængigt af kuglebanens krumning.

Luftmodstanden

Luftmodstanden er årsagen til at projektilerne ikke følger den klassiske kaste-parabel. Luftmodstanden bremser projektilet og afkorter derfor dets bane, ligesom opbremsningen naturligvis er ensbetydende med tab af bevægelsesenergi og længere flyvetid til et givet punkt på kuglebanen.

Luftmodstanden varierer med projektilets fart på en sådan måde, at dens størrelse stiger dramatisk jo hurtigere projektilet bevæger sig. Det er af afgørende betydning for luftmodstandens størrelse om projektilet bevæger sig hurtigere eller langsommere end lyden. Flyver det med underlydshastighed - **subsonisk** - er luftmodstanden kun en brøkdel af den, der virker, når projektilet flyder med overlydshastighed - **supersonisk** hastighed. Sammenligner man to ens projektiler, der flyver hhv. lige under og lige over lydshastighed er forskellen i luftmodstanden cirka 400%. Årsagen til den store supersoniske luftmodstand er, at det supersoniske projektil genererer kraftige chokbølger - fortrinsvis fra spidsen - under flugten. Disse chokbølger kan høres som et skarpt piskesmæld i nærheden af projektilets bane.



Ovenfor billeder af luftstrømningen omkring to projektiler, der flyver hhv. subsonisk (til venstre) og supersonisk (til højre). Trykbølgerne, der udgår fra det supersoniske projektil fremgår tydeligt.

Også hastighedsforøgelser ved supersoniske hastigheder medfører store stigninger i luftmodstanden, så med vore dages højhastigheds-projektiler er luftmodstanden altså en særdeles betydningsfuld begrænsning for projektilets ydeevne. De følgende betragtninger over luftmodstanden på projektilet gælder primært for supersoniske projektiler. Lydens hastighed i luft - en størrelse der betegnes som **mach 1** - varierer en smule med de atmosfæriske forhold men ligger typisk omkring 335 m/s.

Sectional Density

Udover hastigheden har tre faktorer afgørende betydning for luftmodstandens indflydelse på projektilets bane (projektilets opbremsning): **Tværsnitsarealet** (som er det areal luftmodstanden virker på), **massen** og **formen**.

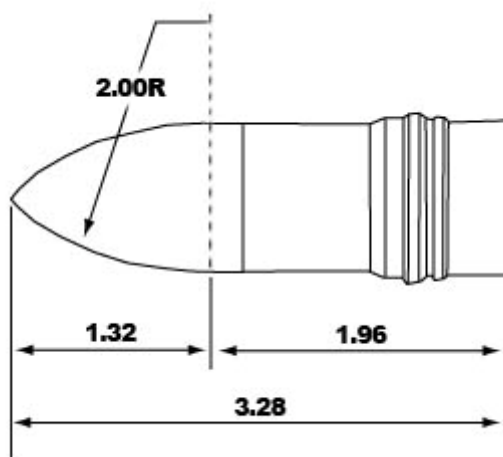
Generelt kan det siges at jo større massen er i forhold til tværsnitsarealet, jo mindre indflydelse har luftmodstanden på projektilets bane. Hvis vi forestiller os to projektiler af samme størrelse, form og hastighed, men med forskellig masse er det indlysende at det tungeste projektil besidder den største mængde bevægelsesenergi. Luftmodstanden på de to projektiler er imidlertid den samme, hvilket indebærer at de taber den samme energimængde. Men det tunge projektil har mere energi at tappe af og dets forholdsmæssige energitab bliver derfor ikke så stort som det lette projektils. Energitab er i denne forbindelse ensbetydende med hastighedstab - det vil sige, at det lette projektil taber

hastigheden hurtigere end det tunge og dets bane afkortes i forhold til det tunge projektil som en konsekvens deraf. Det er derfor, man kan kaste en stålkugle længere end en bordtennisbold. Den internationalt accepterede målestok for **masse/tværsnits-forholdet** kaldes **Sectional Density** (Forkortet: **SD**) og er defineret som forholdet mellem projektilets masse i pund og kvadratet af dets diameter i tommer.

$$SD = M/D^2$$

Jo større SD er, jo mere effektivt - i ballistisk henseende - er projektilet. Således er tunge projektiler generelt ballistisk bedre end lette i samme kaliber. Moderne jagtriffelprojektilers SD ligger typisk i området fra ca. 0,10 til ca. 0,35

Form Factor



Type 1 standardprojektil, der tjener som sammenligningsgrundlag for alle moderne jagtprojektiler. Målene er kalibermål, dvs. at projektilen er 3,28 gange så langt som dets diameter.

Som tidligere nævnt har også formen afgørende indflydelse på projektilens ballistiske egenskaber. Vi har derfor brug for et "mål" på formen. I 1881 gennemførte Krupp i Tyskland en serie særdeles omfattende ballistiske undersøgelser, der siden - i let modificeret udgave - har udgjort grundlaget for beskrivelsen af projektilers evne til at overvinde luftmodstanden. Man anvendte det samme projektil til alle tests, og dette projektil har siden udgjort referencegrundlaget for alle andre projektilers ballistiske egenskaber. Det førmtalte "mål" på projektilens form defineres som projektilformens luftmodstand i forhold til standardprojektilformens luftmodstand. Dette forholdstal kaldes for projektilens **Form Factor** (Forkortet: **FF**). Jo mindre projektilens FF er, jo mindre er luftmodstanden på projektilet og jo mere ballistisk effektivt er det. Projektilens form factor er desværre - med de eksisterende beregningsmodeller - næsten umulig at regne sig

frem til alene på grundlag af kendskab til projektilens ydre form.

Ballistic Coefficient

Heldigvis kan man også bruge de førmtalte testresultater til at tildele ethvert projektil et index for dets evne til at *modstå* luftmodstanden i forhold til det gennemtestede standardprojektil. Dette indeks kaldes projektilens **Ballistic Coefficient** (Forkortet: **BC**). Standardprojektilens BC er sat til 1,000 og et projektil med $BC = 0,500$ taber hastighed dobbelt så hurtigt som standardprojektilen.

To forskellige projektiler med identiske BC-værdier vil følge nøjagtigt den samme bane, hvis de affyres i samme retning og med samme udgangshastighed - og dette gælder uanset forskellen på projektilernes form, vægt og størrelse. BC er den vigtigste information om et projektils egenskaber i forhold til den altafgørende luftmodstand. Ud fra denne kan hastighedstab og kuglefald beregnes for en hvilken som helst udgangshastighed på en hvilken som helst afstand.

BC kan udregnes med stor præcision på grundlag af et givet projektils hastighedstab. Man behøver med andre ord blot at måle hastigheden i to punkter for at udregne BC.

BC er et indeks for den samlede ballistiske ydelse, der inddrager såvel form som masse/tværsnitsforhold. Jo større BC er, desto mindre indflydelse har luftmodstanden på projektilets bane, hvilket igen betyder, at banen bliver fladere og at projektilet har mere restenergi, når det rammer målet.



Herover fire forskellige kaliber .30 projektiler - alle på 180 gr. Tallene ud for projektilerne er deres BC-værdier. Det er i dette tilfælde alene formen, der gør, at de klarer luftmodstanden forskelligt, eftersom de alle har samme vægt og diameter og dermed SD. Det hastighedstab, der kan konstateres for projektilet til venstre efter 100 m flugt, skal projektilet til højre flyve hele 240 m for at nå.

BC er pr. definition identisk med forholdet mellem SD og FF:

$$BC = SD/FF$$

For projektil-designeren er det interessant at kende årsagerne til projektilets egenskaber. SD kan beregnes på grundlag af mål og vægt. BC kan beregnes på grundlag af prøveskydning med opmåling af hastighedstab, og endelig kan FF beregnes ud fra kendskabet til SD og BC idet:

$$FF = SD/BC$$

Atmosfæriske forhold

Også de **atmosfæriske forhold** har indflydelse på kuglebanen. Luftmodstandens eksakte størrelse afhænger nemlig af **luftens massefylde**, som igen afhænger af **temperatur, luftfugtighed og luftryk**. Populært sagt er luftens massefylde et udtryk for luftens konsistens. Er massefylden lille er luften "tynd" og vil ikke bremse projektilet så voldsomt som hvis massefylden var stor. Luftens massefylde stiger ved faldende temperatur, stigende tryk og faldende luftfugtighed.

Man kunne forestille sig et ekstremt tilfælde, hvor en jæger indskyder sin riffel på 200 m på en bagende varm dag (50°C) på toppen af Mount Kenya (lavt luftryk) imens et lavtryk passerer (endnu lavere luftryk), hvorefter han iler til Sydpolen for at skyde pingviner ved strandkanten (højt luftryk) i bidende kulde (-50°C) og smukt højtryksvejr (endnu højere luftryk) - for nemheds skyld lader vi luftfugtigheden være den samme de to steder. Jægeren skyder (for at gøre ondt værre) med et rundnæset projektil med dårlige ballistiske egenskaber (BC = 0,3) der flyver forholdsvist langsomt med en udgangshastighed af ca. 800 m/s. På Sydpolen vil denne jæger erfare at riflen på 300 m skyder ca. 10-12 cm lavere end da han indskød våbnet. Dette eksempel er dog på alle måder ekstremt!

I praksis betyder variationer i luftens massefylde ikke meget for jægeren idet træfpunktsvariationen normalt holder sig inden for max. 20 mm på afstande ud til 300 m. Hvis man drager på jagt i et område, hvor temperaturen eller luftrykket (f.eks. i bjerge) er meget forskellige fra de forhold, riflen er indskudt under, bør man sørge for at indskyde riflen på stedet, hvis skudafstandene overstiger 200 m og kravene til præcision er høje.

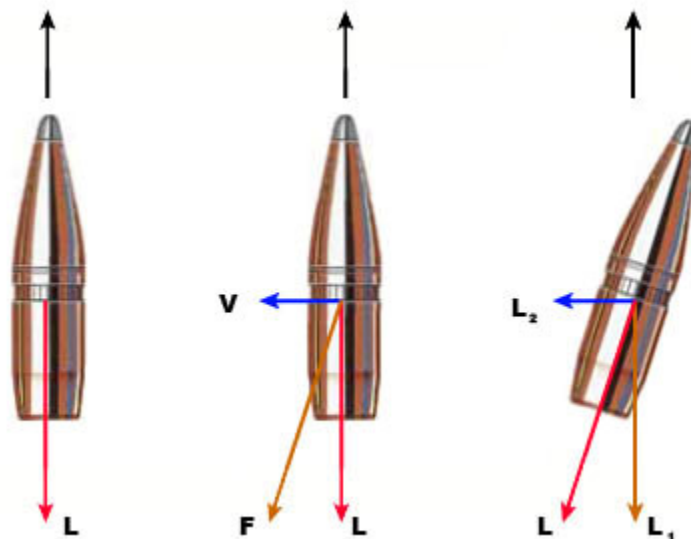
Correoliskraften

Correoliskraften skyldes jordens rotation og virker i det vandrette plan. I forhold til riffelballistikken er den særdeles ubetydelig og nævnes her blot for fuldstændighedens skyld. Correoliskraften trækker legemer i bevægelse mod højre på den nordlige halvkugle og mod venstre på den sydlige. Kraften har betydning i meteorologien (vindene afbøjes) og i forhold til langtrækkende artilleri.

Sidevind

Sidevind er et af naturens luner, som vi i ballistisk sammenhæng ikke kan komme uden om.

Det er en udbredt misforståelse, at sidevind blæser projektilet ud af kurs. Det, der i virkeligheden sker, er, at sidevinden forskubber den akse, som luftmodstanden påvirker projektilet langs. I vindstille vejr påvirkes projektilet således af en direkte "modvind" mens det i stormvejr (med en vindretning på tværs af flugtreningen) påvirkes af en "vind" der rammer en anelse skråt forfra. På grund af projektilets stabilisering ret op imod luftmodstanden, vinkles projektilet altså en anelse i forhold til flugtreningen under påvirkning af sidevind. Den resulterende luftmodstandskraft virker dermed ikke udelukkende modsat rettet flugtreningen men en (lille) del af den virker faktisk på tværs af flugtreningen hvilket trækker projektilet sidelæns. Det er altså luftmodstandskraften, der skubber projektilet sidelæns - ikke selve vinden.



Til højre: Et flyvende projektil i vindstille vejr. Luftmodstandskraften L virker modsat flugtreningen.

I midten: Et projektil der netop har forladt munden i strid sidevind V (overdrevet). Luftpartiklerne flyder over projektilet i en skrå strøm F dannet af komponenterne V og L .

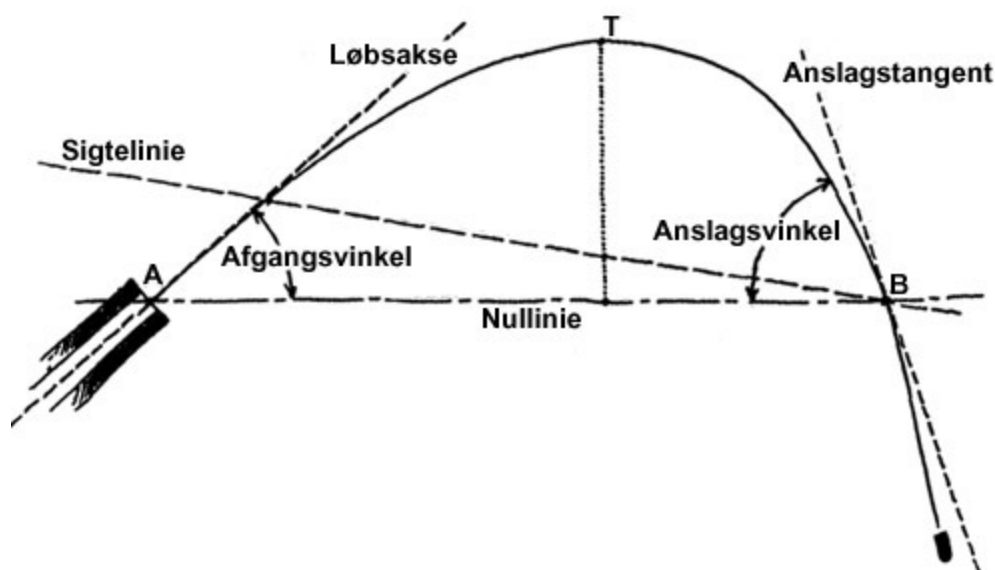
Til venstre: Efter kort flugt retter projektilet sig ind imod luftstrømmen, men forsætter i den oprindelige flugtrening. Luftmodstandskraften L virker nu ikke udelukkende modsat flugtreningen, en del af denne - komponenten L_2 - virker på tværs. Det er denne komponent vi tidligere - for forståelsens skyld - benævnte som "vindkraft", selvom der altså reelt er tale om en del af luftmodstandskraften, som takket være projektilets evne til at rette sig ind imod luftstrømmen, virker på tværs af flugtreningen.

Hvor stor påvirkningen af træfpunktet bliver afhænger af vindstyrken, vindretningen og projektilets ballistiske koefficient.. Mange tror, at projektilets flyvetid har betydning i denne sammenhæng - det er imidlertid ikke tilfældet, hvilket kan eftervises ved et meget simpelt tankeeksperiment. Forestiller man sig en riffel affyret fuldstændigt vandret med munden en meter over jorden og træf i jordhøjde på f.eks. 200 meter, vil man i strid sidevind kunne konstatere en markant vindafdrift. Tager man imidlertid en fuldstændig identisk projektil under identiske vejrforhold og slipper det ud for munden, således at det dropper til jorden, vil man næppe kunne konstatere nogen afdrift overhovedet - dette på trods af at flyvetiden pr. definition er den samme. Flyvetiden har altså intet med vindafdriften af gøre!

Det forholder sig således at afdriften på en given afstand stiger proportionalt med vindstyrken (dobbelvindstyrke = dobbelt afdrift) og at direkte sidevind naturligvis har større indflydelse end en skrå sidevind med samme vindstyrke. Jo ringere ballistiske egenskaber projektilen har (jo lavere ballistisk koefficient) desto større bliver påvirkningen. At sidevindskraften er et ganske alvorligt problem for skytten understreges af, at ganske almindelige jagtriffelprojektiler kan drive op til 10-20 cm på 200 m ved direkte sidevind på blot 5 sekundmeter!

Projektilets bane

Resultatet af de mange kræfters indflydelse på det fritflyvende projektil – i skikkelse af projektilets bane – kan beskrives ved en række karakteristika. Nedenfor er en kuglebane i det lodrette plan skitseret med de forskellige benævnelser.



Punktet hvor munden forlades er på illustrationen betegnet som A. Punktets hvor målet træffes er betegnet B. Den rette linie mellem A og B kaldes **nullinien**. Den krumme kurve mellem A og B – den bane projektilen følger - kaldes projektilens **kuglebane**.

Da sigtet på en riffel sidder over munden er også linien fra sigtet til målet – **sigtelinien** – af betydning. I praksis er det kuglebanen i forhold til sigtelinien, der er interessant for riffelskytten. Kuglebanens højde over eller under sigtelinien i en given afstand fra munden betegnes som kuglebanens **ordinater** til sigtelinien på den pågældende afstand. Ordinaterne betragtes som positive, når de ligger over og negative, når de ligger under kuglebanen.

Kuglebanens kulmination – det punkt, hvor ordinaten til sigtelinien er størst langs kuglebanen - kaldes kuglebanens **toppunkt** og er på illustrationen betegnet med T. Den del af kuglebanen, der strækker sig fra munden til toppunktet, kaldes kuglebanens stigende gren, mens den del, der går fra toppunkt til mål, kaldes kuglebanens faldende gren.

Vinklen mellem løbsaksen og nullinien kaldes projektillets **afgangsvinkel**. Vinklen mellem en tangent til kuglebanen og nullinien i målet kaldes projektillets **anslagsvinkel**. På grund af luftmodstanden på projektilet er anslagsvinklen altid større end afgangsvinklen.

Betragter vi kuglebanen i forhold til sigtelinien, ses det, at de to skærer i to punkter. Et skæringspunkt på kuglebanens stigende gren nær munden og et andet skæringspunkt på kuglebanens faldende gren - på illustrationen indtegnet sammenfaldende med målet. Afstanden fra munden til skæringspunktet mellem sigtelinien og kuglebanens faldende gren betegnes som **indskydningsafstanden**.

Sigtets højde og kæntring

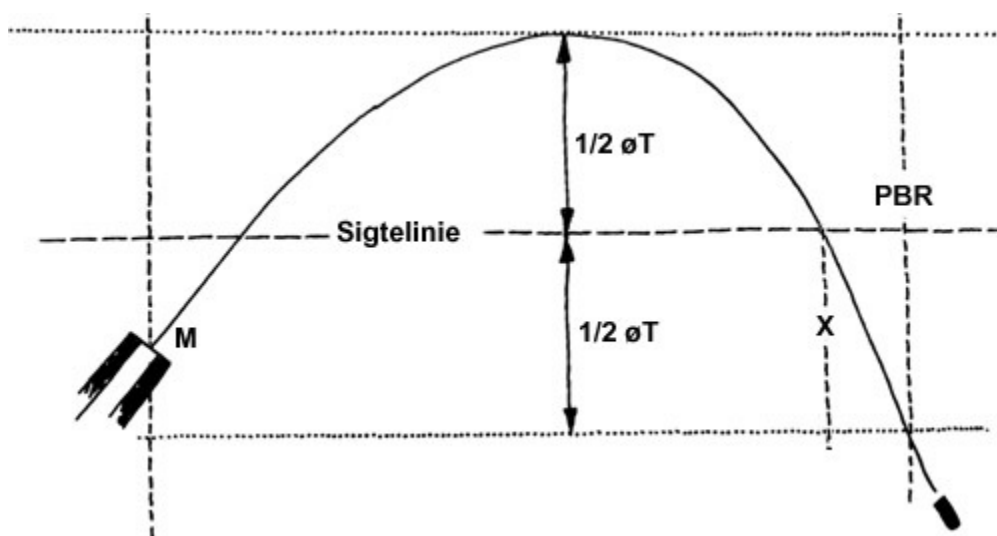
At nullinien og sigtelinien ikke er sammenfaldende har forskellige konsekvenser.

I ballistiske tabeller – af den slags der typisk følger med ammunition eller beregnes af ballistisk software – er ordinaterne for kuglebanen altid angivet i forhold til en sigtelinje med udgangspunkt i en given sigtehøjde. Det betyder alt andet lige, at hvis sigtet på en riffel sidder i en anden højde, end den dataene er udregnet for, så er ordinaterne i tabellen ikke korrekte. Sidder sigtet på en riffel højere end grundlaget for en beregnet kuglebane, vil riflen træffe lavere umiddelbart foran munden, mens resten af kuglebanen vil være fladere end beregnet. Omvendt, hvis sigterne sidder lavere end forudsat i beregningen – så vil kuglebanen være mere krum. Små forskelle i den forudsatte og den faktiske sigtehøjde giver sig på jagtmæssigt relevante afstande dog oftest til udtryk i ubetydelige afvigelser.

En anden effekt af, at sigtet sidder højere end munden, er, at den beregnede kuglebane kun gælder, såfremt sigtet findes sig præcist lodret over løbsaksen. Hvis riflen kæntreres vil projektilet træffe lavt til den side, der kæntreres til. Hvor meget afhænger af, hvor meget riflen kæntreres. Den praktiske effekt af nogle få graders kæntring på almindelige jagtmæssige skudhold er dog ikke så stor, at det har nævneværdig betydning for jægeren.

Raserende skudbane

Raserende skudbane er et lidt akavet gammelt dansk militært udtryk, der betyder det samme som det engelske ”**point blank range**”- her forkortet **PBR**, der er den afstand et givet projektil kan flyve, uden at ordinaterne til sigtelinien overstiger en af skytten fastsat værdi. I praksis er det særdeles værdifuldt at kende denne afstand samt at vide, hvilken indskydningsafstand, der svarer dertil.



$\varnothing T$ angiver diameteren på det mål der ønskes ramt. Afstanden fra M til X er indskydningsafstanden. Afstanden fra M til PBR er den maksimale afstand, hvor man ved at sigte i midten af sit mål, er sikker på at ramme det.

Forestiller man sig, at man på en given jagt kan acceptere over eller underskud på f.eks. 4 centimeter – svarende til at træfpunktet altid vil ligge på en lodret linie på 8 centimeter ($\varnothing T=8$ cm) – så svarer PBR til den afstand et projektil kan flyve, uden at træfpunktet på noget sted langs kuglebanen afviger mere end 4 centimeter fra sigtelinien. Ud til PBR kan jægeren således holde lige på målet uden videre tanke på kuglebanen. Den **optimale indskydningsafstand** er den, der giver maksimal PBR. Med moderne ballistisk software er det muligt at beregne den optimale indskydningsafstand ud fra skyttens specifikationer af den acceptable træfpunktsvariation.

Beregning af kuglebanen

Det er ikke nogen simpel opgave at beregne projektilets præcise bane i forhold til de betydende kræfter, sigtemidlernes højde og afgangsvinklen. I tidligere tider måtte man - som menig mand - derfor ty til tabeller - udregnet af matematiske begavelser - der beskrev banen som funktion af udgangshastighed og BC-værdi. Sådanne tabeller kan findes i ballistiske opslagsværker som dem der bl.a. udgives af projektilproducenter til brug for hjemmeladere.

I dag er vi heldigvis velsignet af regnekraftige hjælpemidler i skikkelse af computere og der findes et bredt udvalg af avancerede ballistiske beregningsprogrammer til disse. På grundlag af komplicerede matematiske modeller for småkalibrede riffelprojektilers ydre ballistik kan denne type software udregne imponerende nøjagtige kuglebaner. Så præcise, at praktiske forsøg ikke kan påvise deres unøjagtigheder og dermed er den ballistiske software et rigtigt godt og stærkt anbefalelsesværdigt hjælpemiddel for riffelskytten.

Med sådanne hjælpemidler er det simpelt og hurtigt at udregne alle relevante ballistiske data. Som udgangspunkt har computeren brug for data for projektilets mundingshastighed og BC, sigtemidlernes højde over løbsaksen, indskydningsafstanden, de atmosfæriske forhold og sidevindstyrken for at beregne kuglebanen. De to sidstnævnte input kan ofte udelades til fordel for standardiserede værdier.