

Ballistiek en de geluidssnelheid

Geluid

geluid is een drukverandering die zich voortplant met een bepaalde snelheid dank zij de elasticiteit van de voortplantingsmiddelen.

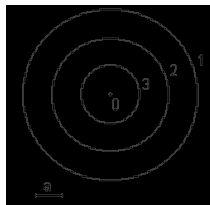
In een 'standaard atmosfeer' verminderd de geluidssnelheid met de hoogte tot aan de isothermische drempel (tropopause).

Hoogte (f/m)	t (graden C)	snelheid (m/s)
0 / 0	15	340
5000 / 1524	5.1	334
10000 / 3048	-4.8	327
15000 / 4572	-14.7	322
20000 / 6096	-24.6	315
25000 / 7620	-34.5	308
30000 / 9144	-44.4	302

Drukstoring uitgezonden door een geluidsbron:

Als men een lichaam dat zich in een samendrukbaar fluidium (lucht) bevindt, plots in beweging brengt, drukt het fluidium voor het lichaam samen en veroorzaakt het in zijn zog een lage druk zone. Het lichaam is dus een bron van drukstoringen welke zich met geluidssnelheid verplaatsen.

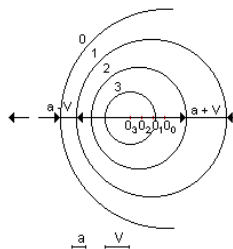
We kunnen 4 gevallen onderscheiden volgens de belangrijkheid van de snelheid van het bewegend lichaam in verhouding tot de geluidssnelheid.



1 Onbeweeglijke bron: we stellen het lichaam voor als een punt.

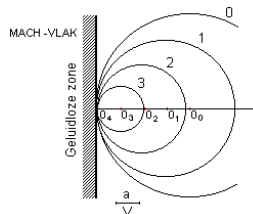
Alle op hetzelfde ogenblik uitgezonden drukstoringen, bevinden zich op een bol met de bron als middelpunt. Alle bollen zijn concentrisch.

De figuur stelt opeenvolgende storingen met één seconde tussenruimte voor. De bollen 1 2 3 zijn storingsgolven op het waarnemingsogenblik.



2 Subsonic stroming: De storingen uitgezonden op hetzelfde ogenblik bevinden zich nog op een bol waarvan de bron het middelpunt is. In de zin van de beweging verplaatsen de drukgolven zich met een snelheid $a-v$ ten opzichte van de bron, terwijl achterwaarts hun relatieve snelheid $a+v$ bedraagt.

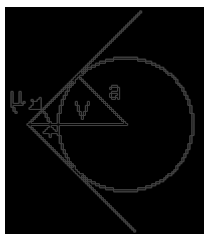
De punten O_1 O_2 en O_3 stellen de achtereenvolgende standen van de geluidsbron voor met telkens 1 seconde tijdsinterval. De bollen 1 2 3 zijn storingsgolven op het waarnemingsogenblik.



3 Sonische stroming: beweegt de geluidsbron zich met een snelheid gelijk aan die van het geluid, dan is $M=1$ en de stroming sonisch. Alle bollen raken elkaar vooraan in een punt dat tezelfdertijd de stand is van de bron op het waarnemingsogenblik. Alle uitgezonden storingen vindt men weer op een bol met oneindig grote straal, een "vlak", dit vlak noemt men het "Mach-vlak".

4 Supersone stroming: de stroming is supersoon $M > 1$ wanneer haar snelheid groter is dan de geluidssnelheid. Al de storingen liggen in een kegel de "Mach-kegel". De bron gaat steeds de storingen vooraf.

De beschrijvende lijnen van de Mach-kegel noemt men Mach-lijnen.

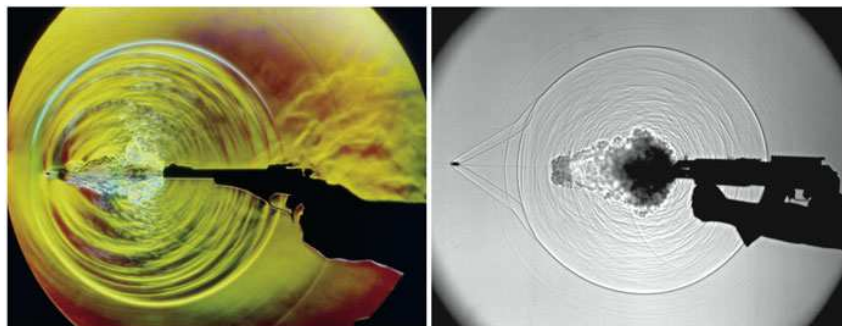


De halve tophoek μ van de kegel noemt men "Mach-hoek".

$$\sin \mu = \frac{a}{V} = \frac{1}{M}$$

Hoe groter het Mach-getal, hoe kleiner de Mach-hoek.

Voor $M=1$ heeft men $\sin \mu=1$ en $\mu=90^\circ$. De Mach-kegel wordt het Mach-vlak.



De subsonische schokgolf veroorzaakt door een .22LR (links) en een supersonische kogel 7.62x54R (rechts)

Er is een grote verscheidenheid in .22LR patronen. Ze kunnen onderverdeeld worden in drie groepen:

Subsonische (subsonic) patronen met een snelheid beneden 315m/s (1130ft/s). Ze zijn soms voorzien van een extra zware 2.9-3.9 gram (46-41 grains) zware kogel.

Standaard snelheid (Standard Velocity), waaronder de "Target" of "Match" patronen, hebben een snelheid beneden 345m/s (1130ft/s) en zijn voorzien van een 2.5-2.6 gram (40 grains) zware kogel.

Hoge snelheid (High velocity) met een snelheid van 365-399m/s (1200-1310ft/s)

Extra hoge snelheid (Hyper velocity) ook wel bekend als Ultra-velocity met snelheden boven 426m/s (1400ft/s).

Patronen met een standaard snelheid hebben meestal een mondingsnelheid van 330m/s (1082ft/s) of minder en zijn soms voorzien van een extra zware 2.9-3.9 gram (46-41 grains) zware kogel. Omgekeerd, sommige Subsonische patronen bevatten nauwelijks meer dan een ontstekingsmiddel en een extra lichte kogel.

De patronen met standaard snelheid zijn speciaal geliefd vanwege hun nauwkeurigheid voor het wedstrijdschieten. Omdat de geluidssnelheid in lucht met een temperatuur van 20 graden Celcius (68 graden Fahrenheit) ongeveer 343.4m/s (1126ft/s) is, ligt de snelheid van een standaard patroon heel dicht onder die van het geluid. Echter, in koude lucht daalt de geluidssnelheid bij 0 graden Celcius (32 graden Fahrenheit) tot 331.5m/s (1097.6ft/s). Daardoor kan het voorkomen dat een patroon met een standaard snelheid onder omstandigheden beneden 0 graden Celcius niet langer subsonisch is en kan er onstabiliteit optreden wanneer hij door de geluidsgrens breekt, waardoor de nauwkeurigheid sterk vermindert. Om dit tegen te gaan hebben sommige fabrikanten patronen waarvan de mondingsnelheid teruggebracht is tot 315m/s (1030ft/s) of zelfs lager, terwijl andere fabrikanten standaard munitie verkopen met een snelheid van 330m/s (1082ft/s).

High velocity patronen hebben een supersonische snelheid van rond de 350m/s (1125ft/s) met een kogel van 2.6 gram (40 grain) of minder. Het vervelende van high velocity patronen is dat de snelheid, onderweg naar de schijf, weer tot onder de geluidssnelheid daalt waardoor, als gevolg van de schokgolf die de kogel van achteraf inhaalt, de zuiverheid sterk vermindert.

Veel .22lr patronen gebruiken een kogel die veel lichter is dan 40 grains bij een nog veel hogere snelheid. De CCI Stinger was de eerste "hyper velocity" .22LR patroon. De Stinger maakt gebruik van een langere huls, een sterkere kruitlading en een, met een koperlaagje bedekte, lichte kogel. De kruitlading is ontwikkeld om langzamer te verbranden om zodoende maximaal gebruik te maken van de lengte van een geweerloop.

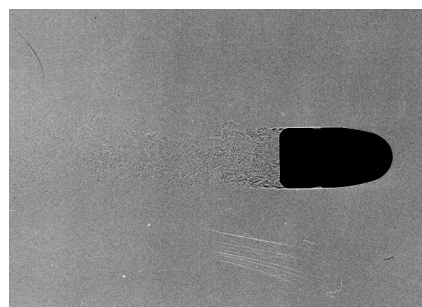
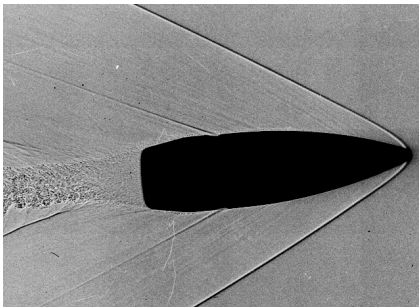
Hyper velocity kogels kunnen een mondingsnelheid van 425 tot 550m/s (1400-1804ft/s) bereiken waarbij de hoge snelheid deels door de lichtere kogel van 1.9-2.2 gram (30 grains) veroorzaakt wordt. Er bestaat echter een hyper velocity patroon die gebruik maakt van een 2.6 gram (40 grains) zware kogel. De Velocitor, gefabriceerd door CCI heeft een mondingsnelheid van 450m/s (1435ft/s). en maakt gebruik van een standaard formaat huls en een speciale 40 grains zware hollow point kogel om bij de jacht maximale trauma te veroorzaken.

De huls van de Stinger is langer dan de huls van een standaard .22LR patroon en wordt gecompenseerd door een kortere kogel, die bovendien als een Hollow Point is uitgevoerd. De huls van de Stinger is 2.54mm (1/10° inch) langer dan de huls van een standaard .22LR patroon. De kamer van de meeste wedstrijdgeweren zijn gemaakt op minimale maten en toleranties voor een optimale zuiverheid. De patroon zal goed functioneren in een jachtkarabijn met een ruim geboorde kamer zoals een Ruger 10/22 etc... maar een wedstrijdgeweer met match-kamer zal problemen veroorzaken. De voorzijde van de Stinger huls

zal tot in de trekken en velden reiken. De huls kan daardoor de overgangsconus en de trekken en velden beschadigen en voor een piek in de gasdruk zorgen. De huls zal na het schot bij het uitvoeren in de kamer kunnen blijven steken en scheuren. De dunne koperlaag op de kogel functioneert als glijmiddel en reduceert de wrijvingsweerstand tussen de kogel en de loop. Het werkt tevens als een bescherming tegen oxidatie van de loden kogel.

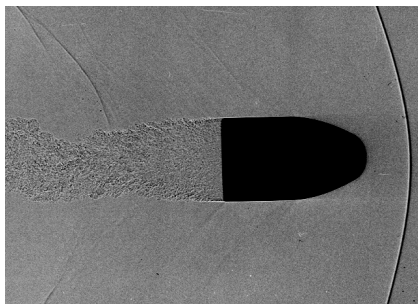
Loden kogels hebben de eigenschap om na verloop van langere tijd te gaan oxideren met als resultaat dat de diameter en de wrijvingsweerstand van de kogel zo sterk toenemen dat de kogel niet meer zonder kracht in de kamer geplaatst kan worden, waardoor een gevaarlijk hoge gasdruk kan ontstaan. De toename in gasdruk kan leiden tot scheuring van de huls en een gevaar vormen voor de schutter. Standaard en Subsonische patronen gebruiken een vorm van was om de wrijvingsweerstand te verminderen.

De linker foto toont een .308 Winchester (7.62x51 NATO) FMJ kogel die zich verplaatst met ongeveer 850m/s (2800ft/s). Je kunt duidelijk drie verschillende schokgolven onderscheiden. De eerste en meest intensieve schokgolf ontstaat bij de punt van de kogel en wordt de Mach Conus genoemd. Een tweede schokgolf ontstaat ter plaatse van de krimpgrAAF en de derde schokgolf wordt gevormd aan de achterkant van de kogel. Bovendien is achter de kogel een sterk turbulente stroming zichtbaar. De stroming over het oppervlak van de kogel verandert van een laminaire grenslaag rond de voorste helft van de kogel (gekaracteriseerd door parallelle stroomlijnen) tot een turbulente stroom (gekaracteriseerd door wervelingen) beginnend vanaf de krimpgrAAF.



De rechter foto toont een .32ACP pistool kogel die aanzienlijk langzamer dan de geluidssnelheid voortbeweegt. Er zijn geen schokgolven aanwezig. Het enige wat overblijft, is de turbulentie achter de kogel.

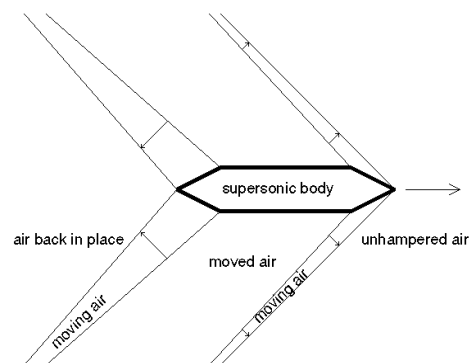
Onderstaande linker foto toont een kogel die zich rond de geluidssnelheid voortbeweegt. Vlak voor en achter de kogel zijn schokgolven zichtbaar. De rechterfoto toont de schokgolven rond een hogesnelheidsauto. Als gevolg van verschillende dichtheden van de omringende lucht wordt het licht verschillend afgebogen en maakt zodoende de schokgolven zichtbaar.



Onstabieleit in het transsonic gebied

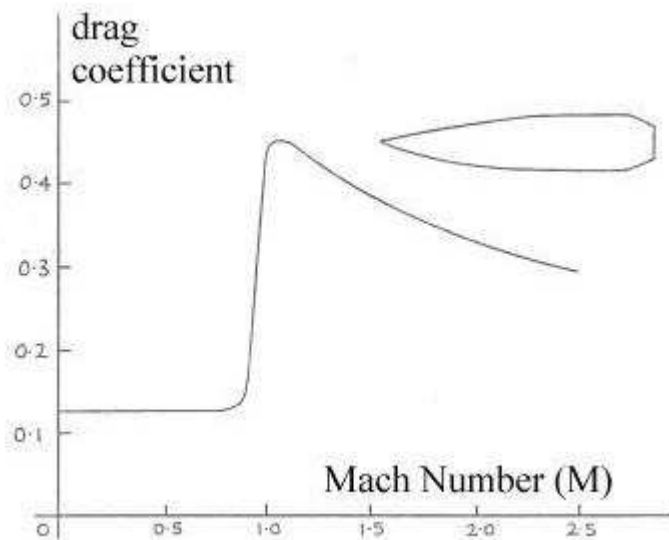
Aërodynamici noemen het gebied van het verplaatsen met snelheden op of rond de snelheid van het geluid het transsonic gebied.

Onstabieleit in het overgangsgebied van subsonic naar supersonic (330 tot 350m/s) ontstaat als gevolg van grote drukverschillen die op de kogel werken. Net als vliegtuigen bevindt een deel van de kogel zich in het supersonic gebied terwijl andere delen zich nog in het subsonic gebied bevinden.



Een object dat zich met supersonic snelheid door de lucht beweegt creëert twee sterke schokgolven. De voorkant van het object zal op krachtige wijze de lucht opzij stoten om plaats voor het object te maken. De schokgolf is de zone waar de lucht

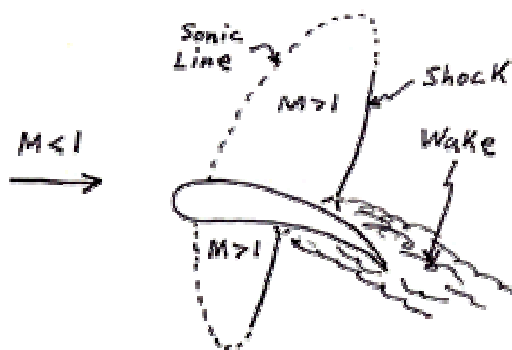
opzij geperst wordt. Deze zone is erg groot, bijna oneindig. In het hele universum zal een luchtdeeltje in meer of mindere mate van zijn plaats moeten wijken om het object te laten verplaatsen. Een symmetrisch voorval gebeurt aan de achterkant van het object. De achterkant van het object verlaat op zeer plotselinge wijze de ruimte waarin het zich bevond en laat een vacuüm achter. Het vacuüm wordt opgevuld met de omringende lucht en alle lucht daaromheen zal deze beweging moeten volgen. De zone waar de lucht bezig is met terugbewegen is de tweede schokgolf. De lucht is sterk samengedrukt in de zones waar het beweegt. Deze zones worden schokgolven genoemd. Als de snelheid van een object toeneemt, neemt ook de weerstand en daardoor ook de kracht waarmee de snelheid behouden of verhoogt moet worden plotseling sterk toe als de geluidssnelheid wordt benaderd. In theorie is de totale energie van de lucht die van het object weg beweegt op oneindige afstand gelijk aan die van de lucht nabij het voorwerp. De schokgolven vertragen het voorwerp. Om de lucht opzij te stoten moet het object continu een enorme hoeveelheid kracht uitoefenen op de omringende lucht. En de achterkant wordt teruggetrokken omdat het lucht naar zich toe zuigt. Hierdoor wordt het voorwerp sterk vertraagt.



Net als bij golven die door een boot in het water worden opgewekt, veroorzaken de schokgolven een weerstand die “wave drag” genoemd wordt. Omdat schokgolven en de bijbehorende “wave drag” bij subsonische snelheid niet voorkomen, bestaat er in dat geval ook geen extra weerstand en snelheidsverlies.

McDonnell Douglas F-4J Phantom II

This one-of-a-kind photo was shot by Mr. Harry Gann, of McDonnell Douglas, at the Point Mugu Naval Air Station on 23 October 1971. The aircraft, a McDonnell Douglas F-4J Phantom II "Black Bunny" from Navy flight test squadron VX-4, was captured on film while flying at near supersonic velocity. However, the local velocity on parts of the aircraft were supersonic, causing the two distinctive, diamond-shaped shock wave cones around the leading and trailing edges of the aircraft. A photograph like this is rare, it required split-second timing and a large amount of luck. "At the time, I was using a motorized Nikon F-2 camera with a 300mm lens," states Mr. Gann. "I shot about four frames. The film was Ektachrome 400. As I remember, I was standing about 70 yards from the taxiway during the pass."



Een tweede bijdrage aan weerstand rond de geluidssnelheid wordt veroorzaakt door de vorm van het voorwerp zelf. Een voorbeeld zie je in het geval een vliegtuigvleugel in het plaatje hierboven. Wanneer de snelheid van het object slechts weinig beneden die van het geluid bedraagt, zullen rond het object toch kleine schokgolven ontstaan die niet ver van het object verwijderd weer zullen eindigen. Zie ook de bovenstaande foto van een vliegtuig dat net beneden de geluidssnelheid vliegt, maar waarbij delen van de stroming rond het vliegtuig de geluidsgrens bereiken.

Deze schokgolven creëren hun eigen “wave drag” en veroorzaken een sterk kielzog (wake), van wervelingen, waardoor de stroming loslaat van het object. Dit kielzog is de tweede vorm van weerstand en zorgt tevens voor aanzienlijke vibratie en variatie in de krachten die op het object werken. Gevolg is dat het object zeer onstabiel wordt, wat in de jaren rond 1940 ervaren werd door testpiloten van de Lockheed P-38. Zodra de stuurvlakken van het vliegtuig in het kielzog terecht kwamen, werd het vliegtuig onbestuurbaar en begon het alle richtingen op te zwakken.

Wanneer de snelheid van het object ver genoeg boven die van het geluid gestegen is, verplaatst het kielzog zich tot achter het object en bestaat er weer stabiliteit.

De beste oplossing voor een stabiele kogel is dus om te zorgen dat de snelheid voldoende beneden die van het geluid blijft. Een patroon, die bij hogere temperaturen goed functioneert, zal bij lagere temperaturen grotere spreiding kunnen vertonen. Als wedstrijdschutter is het van belang om verschillende merken en type patronen met verschillende snelheden onder diverse omgevingstemperaturen te testen.



Copyright © Revisie december 2008 Thijsse Schietsport Advies.
Alle rechten voorbehouden.