

Duikende kogels

Een normale kogel vliegt onder water amper een meter ver.

Foto: NRK Viten.

Je herkent de volgende scene zeker vanuit een actie- of oorlogsfilm: de held duikt in het water om te ontsnappen aan de regen kogels die het water insuizen. Daarbij duikt hij zo diep mogelijk om buiten het bereik van deze dodelijke projectielen te blijven. Maar ben je onder water wel veilig voor kogels? Zo ja, hoe diep moet je dan duiken?



Het experiment waarbij een kogel onder water afgeschoten wordt op de Noorse fysicus Andreas Wahl.

Foto: NRK Viten.

gevaar te lopen. In een aflevering van de populaire 'Mythbusters' schieten ze met een '.50 kaliber' scherpschuttersgeweer, een wapen gekend vanwege zijn precisie en reikwijdte van 2 km, in een zwembad. De enorme kogel gaat slechts enkele meters ver (www.youtube.com/watch?v=yvSTuLijRm8). Een stapje verder gaat de Noorse fysicus Andreas Wahl door zich voor een wapen in een zwembad te plaatsen en het dan afvuurt. Hij komt zoals verwacht levend uit dit experiment (<https://youtu.be/jtD2vvgBBCI>).

Hoe komt het dat kogels onder water amper vooruitkomen? De weerstand die een voorwerp ondervindt, is onder andere afhankelijk van de dichtheid van de stof waarin het voorwerp zich voortbeweegt en van het kwadraat van de snelheid ten opzichte van die stof. Als duikers weten we dat de dichtheid of soortelijke massa van water veel groter (800 maal) is dan die van lucht. En daar waar vaste stoffen de neiging hebben om te scheuren bij impact gebeurt dit niet in een vloeistof. Water kan

Intuïtief zou je denken dat onze held zeer diep moet duiken om zich te beschermen tegen projectielen met een snelheid van rond de kilometer per seconde en die honderden meters ver dodelijk zijn. Schijn bedriegt echter. Al een meter

diep is voldoende om ze af te remmen tot een ongevaarlijke slakkengang.

Er zijn al een paar waaghalzen die dit geprobeerd en gefilmd hebben. Je kan het hierdoor met je eigen ogen zien zonder

hierdoor de kogel gedurende het volledig traject sterk vertragen. Resultaat: voorwerpen met hoge snelheid dumpen hun energie zeer snel in water. Kogels die in de lucht ver vliegen, geraken amper een meter ver in water.

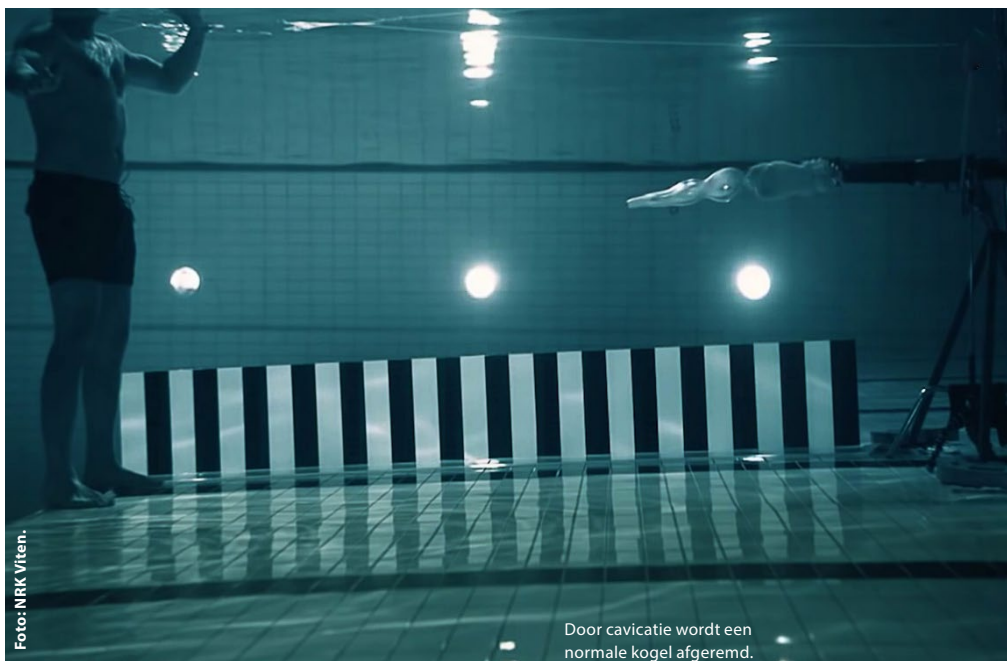
Hoe sneller onder water?

Omgekeerd geredeneerd betekent dit dat als je een voorwerp snel door het water wil doen bewegen je veel energie ter beschikking moet hebben. En dat iedere km per uur sneller exponentieel meer energie vergt. Indien je ervaring hebt met zwemmen tegen de stroom in, dan weet je wat ik bedoel.

De formule voor de berekening van de weerstand levert misschien een andere oplossing voor dit probleem van de traagheid want hierin komt ook de weerstandscoëfficiënt van het voorwerp zelf voor. We weten allemaal dat hoe beter iets gestroomlijnd is, hoe sneller het met dezelfde energie vooruit gaat. Als duikers passen we deze redenering toe door ons materiaal zo goed mogelijk 'gestroomlijnd' te configureren door onder andere uitstekende voorwerpen te vermijden, waardoor we minder energie moeten gebruiken om te zwemmen. Dus als we onze kogels nu meer zouden stroomlijnen, zouden die dan verder gaan?

Ongetwijfeld wel, maar of dit extraatje goed genoeg is, blijft maar de vraag. Het gebruik van harpoengeweren is een gekende toepassing van deze benadering binnen de duikwereld. De harpoenen zijn zware, pijlvormige projectielen met een zeer goede stroomlijning. Als door het verminderen van de weerstandscoëfficiënt we ver zouden kunnen schieten, dan zou het met deze wapens moeten lukken. In het filmpje op <https://youtu.be/mNQadhQoHEk> zien we een ver schot door een isomoblok ('isomo' staat voor 'isolation moderne', de volksnaam voor geëxpandeerd polystyreen). Het beeld bedriegt echter want de afstand tussen harpoen en blok is amper 9 meter. Een ander illustratief voorbeeld is de vertraagde weergave van een pijl afgevuurd onder water op <http://youtu.be/K0xprof2Jzo>. Je ziet de pijl op het einde als het ware vallen. Toegegeven het resultaat is beter dan met kogels, maar toch.

Ik hoor je denken, natuurlijk dat die niet ver gaan, een harpoen wordt immers met



een rubberen band afgeschoten. Wat als we nu kogels maken die er als pijlen uitzien? De eerste vraag hierbij is of we inderdaad een geweer of een pistool onder water kunnen afvuren. Het filmpje van de fysicus hierboven geeft ons hierop een positief antwoord. Immers, de huls van de kogel bevat alle nodige stoffen om een interne ontploffing mogelijk te maken zonder dat er iets van buitenaf toegevoegd moet worden. De mechanische energie van de slagpin is voldoende om het kruit te ontsteken. En deze beweging lukt onder water.

Het principe van pijlmunitie werd voor het eerst door de Duitsers toegepast in hun 'Heckler & Koch P11' pistool. Oorspronkelijk ontworpen in de jaren '70, schiet dit wapen vanuit afzonderlijke containers maximaal vijf door vinnen gestabiliseerde, raketaangedreven pijlen van ongeveer 10 centimeter lang af. Na het afvuren van de vijf patronen moest het wapen terug naar de fabrikant voor het herladen van de containers. De pijlen hadden een ef-

fectief bereik van ongeveer 15 meter als er juist onder water mee geschoten werd, maar dit bereik kalfde naarmate je er dieper mee dook snel af. Dit onderwaterpistool kan je in actie zien op <http://youtu.be/H0JyUi1-fyl> (zonder de uitwerking ervan op een doel).

De Russen waren (en zijn?) het meest actief op het gebied van onderwatervuurwapens. Hun 'SPP-1' voor de Sovjet-duikers werd in 1971 in gebruik genomen. Het vuurt een ronde 11,5 cm lange stalen pijl af. Het voordeel is dat het door de duiker zelf kan herladen worden.

De dracht van deze wapens is echter nog steeds beperkt, zeker als er diep onder water mee geschoten wordt. De grotere kracht van de ontploffing zorgt voor een grotere initiële snelheid van het projectiel maar dit voordeel wordt door het water snel tenietgedaan. Vuurwapens hebben echter wel hun hanteerbaarheid als groot voordeel t.o.v. harpoenen.

supercaviteit

Sommigen aanvaarden de grenzen van de fysica niet zomaar en gaan op zoek naar een oplossing. Waarom ze dit doen kan je ontdekken in de toepassingen een beetje verderop. Maar voor we daar zijn moeten we het eerst over cavitatie hebben. Cavitatie is het verschijnsel waarbij in een turbulent bewegende vloeistof de plaatselijke druk lager dan de dampdruk van de vloeistof wordt. Dit betekent dat op die plaats de vloeistof verdampt, overgaat in gas en dus lokaal een bel vormt. Waar water bij atmosferische druk pas bij 100°C gasvormig wordt, treedt dit bij een lagere druk, bij een lagere temperatuur op. Het is dus koken op lage temperatuur.

Booteigenaars kennen dit verschijnsel omdat bij schepsschroeven hoge snelheden optreden en volgens de 'Wet van Bernoulli' treedt er hierdoor een drukverlaging op. Deze drukval veroorzaakt dampbellen die met grote kracht imploderen als ze terug in een gebied komen

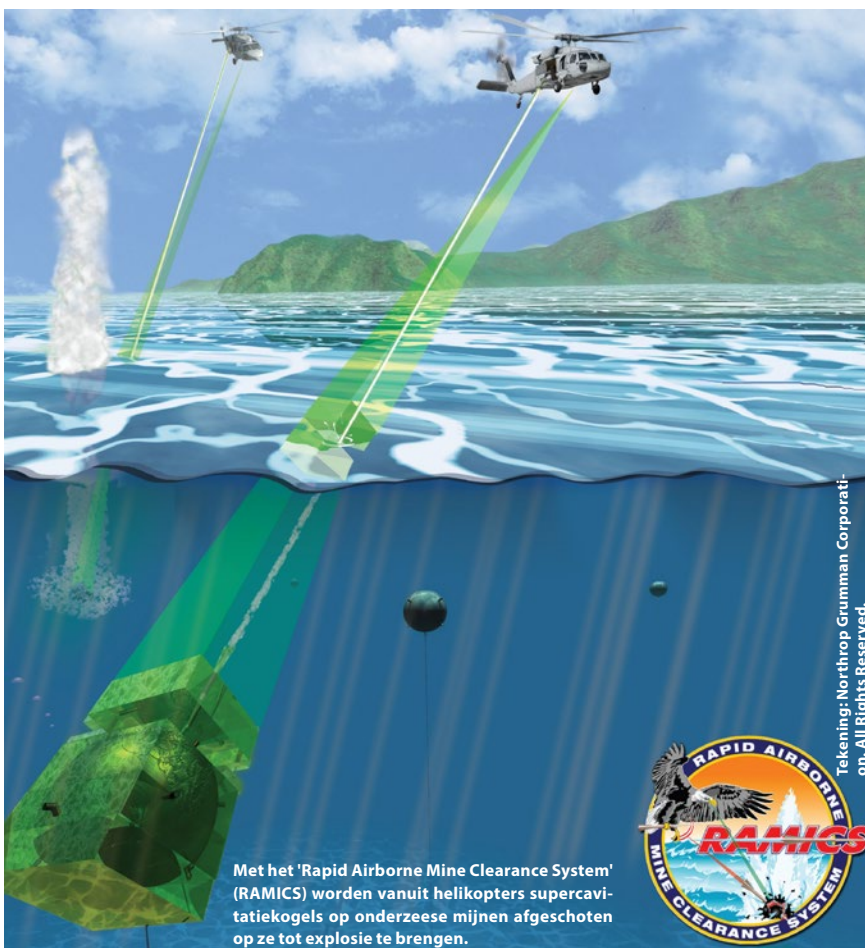
waar de druk hoger is. Door de asymmetrische implosie van de bel wordt er een schokgolf opgewekt die te horen is als een kleine knal en een 'pitting' schade aan de schroefbladen kan toebrengen. Het geluid van cavitierende schepsschroeven is afhankelijk van het schip en de schroef. Het geluid ervan wordt door onderzeebootbemanningen gebruikt om het type schip te identificeren. Doordat het cavitatiegeluid afhankelijk van de hydrostatische druk en dus van de diepgang is, kunnen ze zelf nagaan hoe zwaar het schip geladen werd. Maar cavitatie treedt ook op in dieselmotoren, pompen, ... met dezelfde nadelige gevolgen voor de levensduur.

Cavitatie is in het dagelijks leven en de zeevaart geen goed nieuws en wordt daarom zo veel mogelijk vermeden. Maar ieder nadeel heeft ook zijn voordeel, want bellen betekenen ook een kleinere weerstand. Stel je voor dat we door gebruik te maken van de cavitatie-effecten een gasbel in een vloeistof (water in ons geval) zouden creëren, groot genoeg om een

voorwerp dat door die vloeistof beweegt te omvatten. De huid van het voorwerp zou dan wrijven tegen het gas en niet tegen de vloeistof, waardoor de weerstand veel kleiner zou zijn. Door deze verminderde wrijvingsweerstand op het object moet het dan mogelijk zijn om hoge snelheden te bereiken. Deze toepassing wordt 'supercavitatie' genoemd, een woord dat je niet in het Nederlands woordenboek vindt.

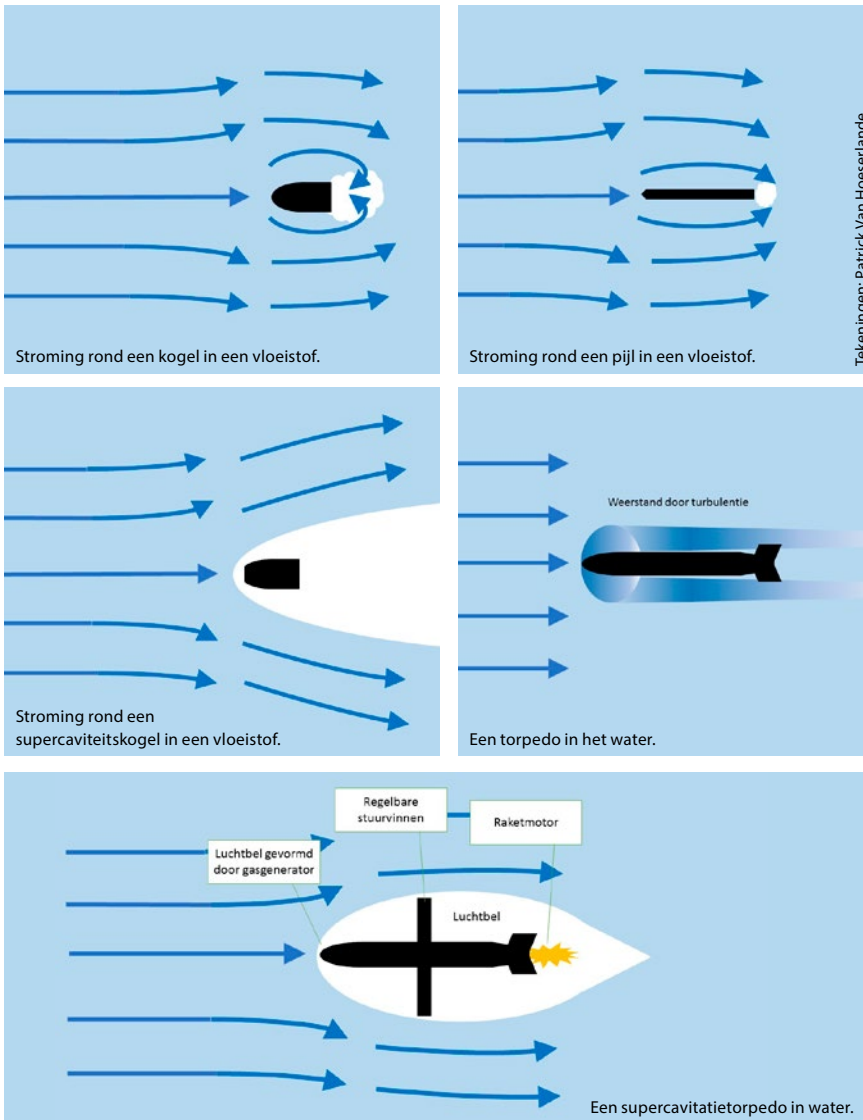
Hoe maak je zo'n bel? In plaats van een scherpe, hydrodynamische aanvalshoek voorzie je het voorwerp van een stompe. Supercaviterende schroeven van speedboten, waarbij de bellen voorbij de schroefbladen imploderen, zijn hierop gebaseerd. Bij een kogel wordt de bel gecreëerd door het aanbrengen van een stompe punt (zie tekening). Een probleem is dat de kogel in de bel moet blijven want als die de scheidingslijn met het water raakt, dan verhoogt de weerstand aan die kant snel. Ook vergt deze opzet veel energie om de bel te behouden, wat met een schot niet continue mogelijk is. Toch worden deze kogels gemaakt en gebruikt. De video <http://youtu.be/YKMWuMRwyCk> toont kogels die door 13 plastic bussen water vliegen, daarna door een stalen plaat en vervolgens door de laatste en 14e bus. Een standaard kogel zou nog niet door de helft van de bussen water gaan.

Deze soort kogels zijn niet alleen interessant voor speciale gevechtseenheden zoals de 'SEALs' en voor bewakers aan de waterkant, maar ook voor andere toepassingen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat naast de Russen ook de Amerikanen dit verschijnsel onderzoeken. Ze hebben sinds 1997 het 'snelheidsrecord onder water' op hun naam. In dat jaar meldde het 'Naval Undersea Warfare Center' (NUWC) op Rhode Island dat een groep wetenschappers een kogel onder water had afgevuurd die de geluidsbarrière had doorbroken. In lucht is de geluidssnelheid 'maar' 340 meter per seconde maar in water is dit 1.500 meter per seconde, oftewel 5.400 kilometer per uur. Dit betekent echter niet dat ze alle problemen van stabiliteit en sturing voor meer gesofisticeerde wapens opgelost hebben, maar nu ze weten projectielen onder water supersonische snelheid te geven, opent zich een scala van mogelijkheden voor de onderzeewapens van de toekomst. Er kleven echter zo veel problemen aan de



Met het 'Rapid Airborne Mine Clearance System' (RAMICS) worden vanuit helikopters supercavitatiekogels op onderzeese mijnen afgeschoten op ze tot explosie te brengen.

Tekening: Northrop Grumman Corporation. All Rights Reserved.



superkogels die gewoon door de golven vliegen.

toepassingen op grote voorwerpen

Op 12 augustus 2000 zonk de Russische duikboot de Koersk in de Barentssee na een ongeluk, waarbij alle 118 opvarenden het leven lieten. Een mogelijk hypothese was dat het om een ongeluk met de supercavitatietorpedo de Shkval (de naam betekent zoiets als 'windstoot') ging. Deze door een raket aangedreven torpedo maakt veel lawaai en is angstwekkend snel. Een gewone, snelle torpedo haalt hooguit 120 kilometer per uur, terwijl de Shkval zeker de 500 kilometer per uur overtreft.

De raketmotor als aandrijving is pure noodzaak omdat een gewone schroef in zo'n cavitatiebel niet werkt. Maar zonder schroef gaat het in het begin ook niet, want in de eerste, trage fase is de gasbel nog niet gevormd en kun je met een raketmotor niets beginnen. Op een schip wordt de torpedo als een pijl afgeschoten met een mechanische katapult.

De bel van de torpedo wordt echter niet door een stompe punt gecreëerd, maar door het wapen zelf. In de neus, juist voor de lading, zit er een generator die voor de productie van het nodige gas zorgt. De torpedo wordt gestuurd door een combinatie van vinnen die aan de binnenkant van de bocht uit de bel gestoken worden en het beïnvloeden van de belvorming. De correctiemogelijkheden zijn echter beperkt. Een duikboot die dit type onderwaterprojectiel gebruikt, moet hierdoor richting doel wijzen en zeker van het 'schot' zijn. De torpedo is zo snel als een pijl, maar dan een zeer luidruchtig exemplaar.

De volgende toepassing waar Chinezen en Amerikanen voor gaan is een supersonische, supercaviterende onderzeeër. Onder water in enkele uren van het ene naar het andere continent varen, wat een reis!

Het zal waarschijnlijk nog enkele decennia duren voor het zo ver is. Ook zal het ecologisch aspect moeten bekeken worden want zo manoeuvreerbaar zal deze duikboot niet zijn en is het dus oppassen geblazen voor botsingen met grote zeefauna. Tenzij de technologische evolutie ook hiervoor een oplossing aanreikt.

toepassing ervan dat ze nog niet uitgeteëxperimenteerd zijn.

Toch betekenen deze problemen niet dat ze niets ontwikkelen. De Amerikaanse marine probeert al enkele jaren een 'Rapid Airborne Mine Clearance System' (RAMICS) uit, waarbij vanuit een helikopter boven zee mijnen op de zeebodem onschadelijk worden gemaakt. Een boordwapen vuurt supercavitatiekogels af die nog voldoende snelheid behouden om onder de zeespiegel verder naar beneden te suizen. Daarbij bezitten ze op het einde van hun traject nog voldoende kinetische energie om de mijn binnen te dringen en tot ontploffing te brengen.

Naast het behoud van snelheid buiten ze hierbij nog een extra voordeel van deze soort kogels uit. Deze projectielen zijn im-

mers minder gevoelig aan koerswijziging door de invalshoek bij impact op het wateroppervlak. In de vertraagde weergave van <http://youtu.be/OubvTOHWTms> zie je duidelijk dat de kogel zeer snel rond zijn as begint te rollen. Dit is bij supercavitatiekogels niet het geval vanwege de aanwezigheid van een bel. Dus als gewone kogels hypothetisch voldoende snelheid zouden bezitten om zeemijnen tot ontploffing te brengen dan zou de helikopter boven de mijn moeten hangen. Iets dat zeker te vermijden is op het moment van de ontploffing.

Deze ongevoeligheid ten opzichte van de invalshoek maakt supercavitatiekogels interessant als verdediging tegen kleine vaartuigen. Dit type boot wordt bij hoge zee 'beschermd' door de golven waarop gewone kogels sterk afwijken, afketsten als het ware. Dit is niet het geval met de



De Russische 'Shkval', een supercavitatietorpedo.

epiloog

Buiten schroeven is supercavitatie niet iets wat we als duiker snel zullen tegenkomen. Om dienst te doen als bestuurder van een superscooter zal je waarschijnlijk geen enkele kandidaat vinden. Het staat echter wel sjiek als je bij de volgende actiefilm je medetoeschouwers kan verrassen met de wetenschappelijke uitleg waarom de held onder water aan de kogels kan ontsnappen. Zelfs als hij daarbij niet diep duikt. Hoe hij uiteindelijk aan de boosaardige achtervolgers ontsnapt, is stof voor een ander artikel.

En als je zelf ooit achtervolgt wordt dan is het beste advies: "Dive, dive, dive!". Tenzij de bandieten er al een ganse tijd naast

schieten en eigenlijk wel goede schutters zijn, want dat zou er kunnen op wijzen dat ze met supercavitatiekogels schieten. Die kogels zijn immers boven water niet al te precies, maar onder water dan weer wel. In dat geval kan je maar beter sneller weglopen. ■

PATRICK VAN HOESERLANDE