

Kernafskriking in 'n tydperk van ingrypende tegnologiese ontwikkeling: Hoe kwesbaar is kernaangedrewe ballistiese missielduikbote werklik?

Eben Coetzee

Eben Coetzee, Departement Politieke Studie en Regeerkunde, Universiteit van die Vrystaat

Opsomming

Akademici en militêre kenners is dit vandag byna eens dat verskeie militêr-tegnologiese ontwikkelinge die onkwesbaarheid van kernstate se tweedeslaanaanvalsmagte bedreig en by implikasie die moontlikheid van 'n eerste slaanaanval verhoog. Die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate is die hoeksteen van 'n kernafskrikingstrategie. Kernaangedrewe ballistiese missielduikbote (BMDK's) word gewoonlik as die onkwesbaarste been van die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate beskou. Diepgaande tegnologiese ontwikkelinge in afstandswaarneming, tesame met die verskuiwing na onbemande sensors en sensorplatforms, sal luidens verskeie akademici en militêre kenners die oseane in die toekoms toenemend deursigtig maak en gevolglik die onkwesbaarheid van BMDK's ondermyn. In die stryd tussen duikbote en teenduikbootoorlogvoering (TDO) swaai die slinger toenemend in die guns van laasgenoemde. Derhalwe sal kernstate dit toenemend moeilik vind om BMDK's vir TDO-magte te verberg. Die primêre navorsingsvraag van hierdie ondersoek is: Teen die agtergrond van diepgaande tegnologiese ontwikkelinge in TDO, hoe kwesbaar is BMDK's as die hoeksteen van die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate werklik en watter implikasies vir kernafskriking spruit hieruit voort? Deur gebruik te maak van 'n literatuurstudie van die evolusie van TDO, met inbegrip van diepgaande ontwikkelinge in duikbootoorlogvoering, wys hierdie ontleding dat die pessimisme oor die kwesbaarheid van BMDK's (en gevolglik die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate) ongegrond is en dat die stabiliteit van kernafskriking sal voortduur. Dié gevolgtrekking word deur vier bevindinge gerugsteun. Een, om 'n enkele BMDK (wat nog te sê 'n hele BMDK-mag) op te spoor, te agtervolg *en* te vernietig, is haas onmoontlik. Twee, die geskiedenis van TDO wys dat ontwikkelinge in militêre tegnologie nooit slegs in een rigting beweeg nie. Drie, tegnologiese ontwikkelinge in TDO bring nooit 'n beslissende oorwinning in die stryd teen die opsporing en belangriker, die vernietiging van BMDK's mee nie. Vier, die geskiedenis van TDO leer dat maritieme geografie, met inbegrip van oseanografie, uiters belangrik vir beide TDO en duikbootverberging is.

Trefwoorde: duikbote; kernaangedrewe ballistiese missielduikbote (BMDK's); kernafskrikking; kernwapens; sensors; teenduikbootoorlogvoering (TDO)

Abstract

Nuclear deterrence in an era of sweeping technological developments: How vulnerable are ballistic missile submarines really?

Today, it is widely argued and, within certain military and academic circles, unequivocally accepted that various military-technological developments render the second-strike forces of nuclear states increasingly vulnerable. Where the second-strike forces of nuclear states become increasingly vulnerable, a strategy based on deterrence becomes inefficacious, thus increasing the prospect of a pre-emptive attack. The second-strike forces of nuclear states have traditionally been rendered invulnerable by deploying the so-called “nuclear triad” consisting of intercontinental ballistic missiles (ICBMs), strategic bombers, and ballistic missile submarines (SSBNs). Given the patent shortcomings of ICBMs and the (apparent) vulnerability of strategic bombers to missile defences, the quiet submarine has traditionally been considered the least vulnerable leg of the nuclear triad. Moreover, SSBNs are deemed highly efficacious platforms due to their stealth and attendant ability to penetrate enemy defences and conduct various missions.

However, sweeping technological developments in remote sensing, coupled with the shift towards unmanned sensors and sensor platforms, will ostensibly make the oceans increasingly transparent, thus rendering SSBNs increasingly vulnerable to detection and, possibly, destruction. Five trends undergird arguments that developments in remote sensing are making the oceans more transparent: one, sensor platforms have become increasingly diverse; two, the spectrum of signals collected by sensors, and the techniques used for this purpose, have widened; three, remote sensing platforms are increasingly marked by persistent observation; four, part of the revolution in remote sensing is the attendant ongoing improvement in sensor resolution; and finally, these four developments are undergirded by improvements in data transmission. In the battle between hidiers and seekers or, differently phrased, submarines and anti-submarine warfare (ASW), the pendulum is, it seems, swinging in the direction of the latter. Accordingly, nuclear states are likely to find it increasingly difficult in the future to conceal SSBNs from the “eyes” and “ears” of ASW forces.

The primary research question of this study is: Against the backdrop of sweeping technological developments in ASW, how vulnerable are SSBNs as the cornerstone of the second-strike forces of nuclear states really and what are the implications for nuclear deterrence that follow from this? The study is based on a literature study of the evolution of ASW (from the early development of the submarine to the current era) while also paying particular attention to various developments in submarine development and warfare. The conclusion reached from this analysis is that pessimism concerning the (future) vulnerability of SSBNs is unfounded and that the stability of nuclear deterrence is likely to endure remarkably well in the future. Based on examining historical and current developments in ASW and submarine warfare, four key findings are derived that inform the conclusion reached.

Firstly, to detect, trail and, most importantly, destroy a single SSBN (let alone an entire SSBN force) is hardly an easy task. Thus, even if some technologies may facilitate the detection of submarines in the future, the problem of destroying a single SSBN (again, let alone an entire SSBN force) remains a particularly vexing one. Secondly, the history of ASW provides powerful evidence that developments in military technology are never unidirectional. Thus, where innovative ASW developments and solutions emerge, it stands to reason that we can also expect innovative pro-submarine developments, strategies, tactics and solutions. In fact, such pro-submarine developments are already unfolding and keeping pace with ASW developments.

Thirdly, technological developments in ASW have *never* yielded a *definitive* victory in the battle against the detection, trailing and, most importantly, the destruction of SSBNs, a proposition that is likely to endure remarkably well in the future. Even the best surveillance and detection systems are fraught with limitations. Moreover, a successful ASW strategy requires the successful integration of multiple independent factors, *inter alia*, multiple ASW forces, highly efficacious ASW concepts, considerable investment, maritime geography, and the expertise of ASW forces. There is today only one navy (i.e. the United States Navy) capable of engaging in full-spectrum ASW, a feat that should not conceal the harsh reality that even the US Navy cannot detect, trail and, importantly, destroy *all* the SSBNs – and all of them *at once* – of an adversary.

Finally, the history of ASW powerfully attests to the importance of maritime geography and, concomitantly, oceanography for both ASW and submarine concealment. Current and future acoustic surveillance systems are likely to remain dependent on real estate for signal processing. The concomitant result is that maritime geography will be more favourable to some states than others. At the same time, oceanographic data are becoming increasingly voluminous owing to the use of underwater gliders, which in turn strengthens submarine efforts to operate more quietly and avoid detection. In addition, the growing industrial use of the oceans, coupled with the increase in the number of states deploying (and yet to deploy) submarines, will further hamper efforts to detect SSBNs.

Accordingly, this analysis illustrated that sweeping developments in particularly remote sensing would *not* render the pre-eminent pillar of states' second-strike forces, to wit SSBNs, increasingly vulnerable. Nuclear deterrence is likely to endure remarkably well in the future. Emerging technological developments, notably big data, artificial intelligence, and quantum computing, are often envisioned as key developments that will most likely increase the efficacy of ASW forces by 2050. Unlike developments in remote sensing, such possible future developments, and their implications for ASW and submarine warfare, are too vague to assess today. At any rate, three reasons provide grounds for optimism concerning the future invulnerability of SSBNs and the stability of nuclear deterrence, notwithstanding the future direction of technological development. One, it is highly unlikely that *any* future technology will render the oceans completely transparent. Two, the history of ASW powerfully illustrates that the battle between submarines and ASW forces is an *ongoing* one. In this battle, it is improbable that developments in ASW will *ever* yield a definitive victory for ASW forces. Finally, and undoubtedly the most important reason, even if some or other technology facilitates the easy detection of SSBNs, a strategy of nuclear deterrence will only be upended, and the possibility of a pre-emptive attack increased, if a would-be aggressor believes that *all* the SSBNs of a nuclear state can be destroyed and all of them *at once*. Accordingly, today and in the foreseeable future, we have sufficient grounds for believing that SSBNs are likely to remain the least vulnerable leg of the nuclear triad.

Keywords: anti-submarine warfare (ASW); ballistic missile submarines (SSBNs); nuclear deterrence; nuclear weapons; sensors; submarines

1. Inleiding

Akademici en militêre kenners is dit vandag byna eens dat verskeie militêr-tegnologiese ontwikkelinge die onkwesbaarheid van die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate ondermyn (Layne 2020:34; Clark, Cropsey en Walton 2020; Klare 2020; Geist en Lohn 2018; Lieber en Press 2018; Lieber en Press 2017). Die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate vorm die hoeksteen van 'n kernafskrikkingstrategie en verwys na “die eerste teenaanval met kernwapens in 'n oorlog nadat 'n eerste slaanaanval met 'n voldoende vermoë tot effektiewe vergelding oorleef is” (Venter, Botha, Du Plessis en Alberts 2017:172). Waar die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate toenemend kwesbaar word, word 'n strategie geskoei op kernafskrikking nietig, en verhoog die waarskynlikheid van 'n voorkomende aanval (“pre-emptive attack”) (Klare 2020). 'n Voorkomende aanval het ten doel om die tweedeslaanaanvalsmagte van 'n kernstaat te vernietig sodat vergelding onmoontlik is (Waltz 2013:17). Die toenemende kwesbaarheid van die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate en, terselfdertyd, die moontlikheid van 'n voorkomende aanval, verhoog die moontlikheid van konvensionele of kernoorlog met rasse skrede.

Die onkwesbaarheid van die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate word vandag oorwegend deur die sogenaamde kerntriade (“nuclear triad”), bestaande uit bomwerpers, interkontinentale ballistiese missiele (IKBM'e) en kernaangedrewe ballistiese missielduikbote (BMDK's),¹ verseker. Reeds sedert die laat 1980's waarsku kernwaarnemers soos Thomas Schelling egter dat IKBM'e “'n bron van verleentheid” is, juis omrede hulle uiters kwesbaar vir 'n voorkomende aanval is (Snyder, Pelopidas, Lieber en Press 2018:192; alle vertalings van aanhalings uit bronne is deur die artikelskrywer). Bomwerpers is weer kwesbaar vir toenemend gesofistikeerde lugverdedigingsisteme (Clark e.a. 2020:27). Gegewe die klaarblyklike tekortkominge van bomwerpers en IKBM'e, word BMDK's deur die bank as die onkwesbaarste deel van die kerntriade voorgehou (Clark e.a. 2020:27). Die doeltreffendheid van BMDK's berus op hul sluipvermoë (“stealth”) en derhalwe hul vermoë om die verdediging van die vyand stilletjies te infiltrer en verskeie opdragte (o.a. verkenningsstogte en aanvalsoorlogvoering) uit te voer (Clark e.a. 2020:39). Diepgaande tegnologiese ontwikkelinge in afstandswaarneming (“remote sensing”), met inbegrip van onbemande sensors en sensorplatforms (spesifiek: onbemande lugvaartuie (OLV), onbemande onderwatervaartuie (OOV) en onbemande oppervlakskepe (OOS)), bied toenemende uitdagings vir die sluipvermoë (en derhalwe die kwesbaarheid) van BMDK's en swaai die slinger toenemend in die guns van teenduikbootoorlogvoering (“anti-submarine warfare”) (ASW), oftewel TDO).

Diepgaande ontwikkelinge in TDO-sensors en -platforms beloop oënskynlik om die onkwesbaarheid van BMDK's en met inbegrip hiervan, die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate te ondermyn. Die prent wat hiër geskets word, is derhalwe een van diepliggende pessimisme oor die voortdurende stabiliteit van kernafskrikking. Met dít in gedagte, tree die primêre navorsingsvraag van hierdie ondersoek na vore: Teen die agtergrond van diepgaande tegnologiese ontwikkeling in TDO, hoe kwesbaar is BMDK's as die hoeksteen van die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate werklik en watter implikasies vir kernafskrikking spruit hieruit voort? Aan die hand van 'n literatuurstudie van die evolusie van TDO,

met inbegrip van diepgaande ontwikkelinge in duikbootoorlogvoering, wys hierdie ontleding dat die pessimisme oor die kwesbaarheid van BMDK's (en by implikasie die tweedeslaan-aanvalsmagte van kernstate) ongegrond is en dat die stabiliteit van kernafskrikking sal voortduur. Die struktuur van die artikel is soos volg. Die ondersoek skenk allereers aandag aan die ontstaan en ontwikkeling van ondersese oorlogvoering in die tydperk vanaf Antieke Griekeland tot en met 1945. Tweedens word die evolusie van TDO gedurende die Koue Oorlog bespreek. Derdens, teen die agtergrond van die Koue Oorlog en met spesifieke verwysing na ontwikkelinge in afstandswaarneming en onbemande sensors en platforms, word TDO in die konteks van die hede én die toekoms bespreek. Vierdens word lesse vanuit die geskiedenis van TDO, met inbegrip van die uitdagings om BMDK's op te spoor, te agtervolg *en* te vernietig, in die konteks van die navorsingsvraag bespreek. Die artikel sluit af met 'n opsomming van die vernaamste bevindinge en skenk kortliks oorweging aan die waarskynlikheid dat ander tegnologieë, wat vandag nog te vaag is ten einde hul uitwerking op BMDK's te verreken, die oseane in die toekoms deursigtig sal maak.

2. Die evolusie van TDO: Antieke Griekeland tot 1945

Ondersese oorlogvoering maak reeds sedert die vroegste tye deel uit van oorlogvoering. Die Griekse historikus Thucydides vermeld dat duikers met groot sukses gedurende die beleg van Sirakuse (213–212 VHJ) ingespan is, terwyl Alexander die Grote na oorlewering tydens die beleg van Tirus (332 VHJ) van duikers en duikerklokke gebruik gemaak het (Emley 2017; National Oceanic and Atmospheric Administration 2001:2). Land- en seemyne is reeds sedert die 14de eeu deur Chinese ingenieurs ontwikkel en deur Engeland tydens die beleg van La Rochelle (1627) gebruik (Clark e.a. 2020:14). Tydens 1771–1775 word die wêreld se eerste duikboot, die *Turtle*, deur die Amerikaner David Bushnell ontwerp (Naval History and Heritage Command 2017). Dat die *Turtle* primitief was, is natuurlik vanselfsprekend, maar die ontwerp het weliswaar die vier basiese vereistes vir 'n suksesvolle militêre duikboot omvat, te wete die vermoë om te kan duik, beweging onder die water, die voorsiening van voldoende lugtoevoer vir die duikbootoperateur en die vermoë om operasies teen oppervlakskepe te loods (Naval History and Heritage Command 2017).

Die ontwikkeling van die *Whitehead*-torpedo in 1866 het die weg gebaan vir die ontwikkeling van selfaangedrewe torpedo's en het 'n beduidende invloed op ondersese oorlogvoering uitgeoefen (Moe 2003:1). Gegewe dat enersyds, duikbote gedurende hierdie tydperk deur onbetroubare aandrywing en dryfvermoë gekortwiek is en andersyds, die *Whitehead*-torpedo slegs 'n lanseerbuis vereis het en op enige oorlogskip aangewend kon word, het torpedobote (en nie duikbote nie) tot die laat 19de eeu die taktiese voorrang geniet (Clark e.a. 2020:15). Dit was veral die Franse Vloot wat die ontwikkeling van die torpedo koorsagtig aangewend het deur 'n vloot vinnige torpedobote en langafstandkaperskepe ("long-range commerce raiders") te ontwikkel, gepaardgaande met langtermynbelegging in duikbootontwikkeling (Clark e.a. 2020:15). Die Franse Vloot se aanwending van torpedobote het weer die Britse Vloot en die Duitse Vloot genoop om torpedojaers te ontwikkel (wat later weer op torpedo-toegeruste torpedojaers uitgeloop het) (Clark e.a. 2020:15).

Die eerste volwaardige moderne duikboot, die *Holland*, is gedurende 1900 deur die Amerikaanse Vloot in gebruik geneem (Cote 2003:5). Die *Holland*, in teenstelling met voorafgaande duikbote, was die eerste ontwerp wat 'n binnebrandenjinn (vir oppervlakoerlogvoering) met 'n battery-

aangedrewe elektriese motor (vir ondersese oorlogvoering) gekombineer het (Cote 2003:5). In 'n poging om die Franse voordeel voortspruitend uit die aanwending van die torpedo te kelder, het veral die Verenigde Koninkryk en Duitsland gedurende die vroeë 1900's toenemend klem op ondersese oorlogvoering geplaas (Clark e.a. 2020:15). Albei dié lande het voorsien dat deur te duik, duikbote onsigbaar word, wat hulle in staat sou stel om kragtige oppervlakskepe stillietjies te nader en 'n torpedo-aanval onder die waterlyn (waar 'n vaartuig die kwesbaarste is) te loods (Cote 2003:5). Die sluipvermoë en onderwaterslaankrag van duikbote is reeds van meet af die beslissende eienskappe van die duikboot, met die noodsaaklikheid van mobiliteit wat ietwat later bygevoeg is (Sasgen 2009:41).

2.1 Die Eerste Wêreldoorlog

In albei wêreldoorloë het die duikboot 'n beslissende rol gespeel om die seemoondhede se drang na seebeheer te ondermyn, 'n uitkoms voortspruitend uit die wisselwerking van twee faktore: enersyds, die inherente vermoëns van die duikboot as 'n nuwe, revolusionêre wapen en andersyds, die onvermoë of onwilligheid van die destydse seemoondhede om die nuwe bedreiging te voorsien en dienooreenkomstig vernuwende teenduikbootmaatreëls te ontwikkel (Cote 2003:1). In die dekade voor die Eerste Wêreldoorlog het 'n snelle sintese in tegnologie meegebring dat duikbote oor drie basiese rolle beskik het, te wete kusverdediging, maritieme afslyting ("naval attrition") en handelsoorlog (Lautenschlager 1986:139). Dit is veral laasgenoemde, te wete handelsoorlog, wat die primêre rol van die duikboot gedurende die Eerste Wêreldoorlog uitgemaak het, 'n rol wat terloops nie voor die oorlog deur enige van die seemoondhede ernstig oorweeg is nie.

Met die aanvang van die Eerste Wêreldoorlog het die Duitse Vloot oor 24 U-bote ("U-boats") beskik; 'n bykomende 340 is gedurende die oorlog vervaardig en 199 is eindelijk vernietig (Lindsey 1976:30). Die Duitse veldtog teen die handelsvloot van die Geallieerdes het egter eers vroeg in 1915 begin, met onbeperkte duikbootoorlogvoering wat eers teen Februarie 1917 in volle swang gekom het (Cote 2003:6). Drie faktore het die Duitse Vloot toenemend in die rigting van 'n strategiese skuif na die gebruik van duikbote teen handelsvaartuie gedruk: een, die oorhand van die Britse Vloot se oorlogskepe (veral die nuwe Britse gevegskruisers) vergeleke met dié van Duitsland; twee, die onvermoë (weens tegnologiese beperkinge in afstand en spoed) van duikbote om oorlogskepe te agtervolg, te herposisioneer en 'n aanval te loods; en drie, die Britse blokkade van die Noordsee en die Engelse Kanaal, wat Duitse logistiek erg geknou het (Clark e.a. 2020:16; Janicki 2014).

Die bedreiging wat die Duitse Vloot vir die Geallieerde handelsvloot ingehou het, was beduidend. Gedurende 1914–1918 het Duitse U-bote ongeveer 13 miljoen grootton gesink en gedurende April tot Junie 1917 alleen, het U-bote meer tonnemaat gesink as gedurende 1916 en, selfs meer verwoestend, dubbel die hoeveelheid vergeleke met 1915 (Clark e.a. 2020:17). Dit was slegs gedurende die laaste jaar van die oorlog dat die Geallieerdes daarin kon slaag om die Duitse U-bootbedreiging die hoof te bied, en veral deur die gebruik van 'n TDO-taktiek wat eweneens gedurende die Tweede Wêreldoorlog aangewend is, te wete konvoitaktiek (Friedman 2019:18). Die gebruik van konvoitaktiek, wat veral tot volle krag ontwikkel het na die Amerikaanse toetrede tot die oorlog, het ten doel gehad om die Geallieerde handelsvloot te beskerm deur handelskepe saam te groepeer (d.i., in 'n konvoi) eerder as dat skepe onmiddellik vaar nadat hulle hul vrag ontvang het (Clark e.a. 2020:17). Voorts was dié konvoie onder militêre geleide, met die Britse Vloot en die Amerikaanse Vloot wat torpedojaers en seepatrollievliegtuie ("maritime patrol aircraft") ingespan het om konvoie

deur welbekende duikbootjagvelde te vergesel (Clark e.a. 2020:17). 'n TDO-strategie geskoei op konvooi onder militêre geleide het egter eise aan die Britse Groot Vloot gestel (gegewe die voortbestaan van die Duitse Hoogseevloot), met die gevolg dat die Britse Vloot en die Britse handelsvloot waarskynlik nie die U-bootbedreiging sonder Amerikaanse hulp sou oorleef het nie (Cote 2003:7).

2.2 Die tydperk tussen die twee wêreldoorloë

In die tydperk tussen die twee wêreldoorloë het ondersese oorlogvoering groter voorrang geniet én meer gesofistikeerd geraak (Clark e.a. 2020:17). Die duikbote van die Eerste Wêreldoorlog was in der waarheid niks meer nie as oppervlakskepe wat slegs geduik het om 'n aanval te loods of aan gesofistikeerde oppervlakskepe te ontsnap. Wanneer dié duikbote wél geduik het, het hulle 'n aansienlike mate van mobiliteit, tydruimtelike bewustheid (“situational awareness”) en eindelik slaankrag ingeboet (Cote 2003:8). Sodanige beperkinge het grotendeels uit tegniese beperkinge voortgespruit, hoewel dit óók tekenend was van verwagtinge oor die primêre missie van duikbote, te wete kusverdediging of vlootondersteuning, wat beide die moontlikheid van aanvalle op vlootbates veronderstel het, waarteen oppervlakgevegte buitengewone risiko's ingehou het (Cote 2003:8).

Begrotingsbeperkinge gedurende die tydperk het 'n beduidende uitwerking op die wydverspreide vervaardiging en toets van TDO-tegnologie gehad; gevolglik was innovasie in TDO hoofsaaklik doktrinêr van aard (Clark e.a. 2020:17). Teen die agtergrond van lesse uit die Eerste Wêreldoorlog geleer en met die oog op 'n toekomstige seeoorlog, het die bevelvoerder van die Duitse duikbootvloot (later admiraal) Karl Dönitz voorsien dat 'n grootskaalse duikbootveldtog teen die Geallieerde handelsvloot Brittanje op sy knieë sou dwing (Clark e.a. 2020:18). Dönitz het egter (korrek) voorsien dat die Geallieerdes 'n strategie geskoei op konvoitaktiek onder militêre geleide sou aanwend. Die Duitse veldtog teen die Geallieerde handelsvloot gedurende die Eerste Wêreldoorlog het gewys dat duikbootaanvalle teen handelskepe uiters doeltreffend gedurende die nag, op die oppervlak, en op kort afstand geloods kon word, ten spyte van die teenwoordigheid van 'n militêre geleide (Cote 2003:8). 'n Groter uitdaging was om die uitwerking van hierdie aanvalle te vergroot en met dié vraagstuk in gedagte, het Dönitz die sogenaamde wolwetroptaktiek (“wolf pack tactics” of *Rudeltaktik* in Duits) ontwikkel, 'n taktiek wat aanvanklik met groot welslae gedurende die Tweede Wêreldoorlog gebruik is (Howe 1971:62). Hiervolgens is voorsien dat groepe Duitse U-bote, by wyse van gekoördineerde taktiek, die konvooi van die Geallieerdes sou konfronteer, en sodoende sou baie U-bote voordeel kon trek uit die opspoor van 'n enkele konvooi (Howe 1971:62).

Met die wolwetroptaktiek in gedagte, het Duitse duikbootontwerpers koorsagtig te werk gegaan om die afstand, reikafstand (“range”) en slaankrag van Duitse duikbote te verbeter (Cote 2003:8). Op hul beurt, het die Japannese Vloot 'n leidende rol in die ontwikkeling van nuwe torpedo's en seemyne gespeel (Clark e.a. 2020:17). Die verdere ontwikkeling van hoëfrekwensieradio as 'n bevel-en-beheermeganisme was sentraal tot die ontwikkeling van die Duitse wolwetroptaktiek, en het oor-die-horison- kommunikasievermoëns vanaf 'n betreklik klein, swak sender (“low-powered transmitter”) moontlik gemaak (Cote 2003:8). Die hoëfrekwensieradio het duikbote in staat gestel om konvooiwaarnemings aan 'n sentrale bevelspos te kommunikeer, waarna die inligting aan alle duikbote in die onmiddellike omgewing versprei is (Cote 2003:8).

Die Duitse U-bootbedreiging vir die konvooi-gebaseerde Geallieerde handelsvloot gedurende die Eerste Wêreldoorlog het beide die Amerikaanse Vloot en die Britse Vloot in die tydperk tussen die twee wêreldoorloë genoop om meer doeltreffende TDO-tegnologie te ontwikkel (Hackmann 1986:87). Daar is algemeen aanvaar dat ondersese waarneming 'n beduidende rol in TDO kon speel en die uiteinde hiervan was die ontwikkeling van die eerste aktiewe sonar, die "Allied Submarine Detection Investigation Committee" (ASDIC) (Fitzgerald en Pittenger 2019). Hoewel daar gedurende die Eerste Wêreldoorlog geredelik van hidrofone gebruik gemaak is, en duikbote soms etlike kilometer ver gehoor kon word, was passiewe sonar gedurende dié oorlog weens twee redes uiters beperk. Die eerste rede was die vereiste dat vlootvaartuie (toegerus met passiewe sonar) geheel en al tot stilstand moes kom ten einde te verseker dat die gedruis van hul eie vaartuie nie die duikbootsein verdoof nie. Die tweede rede was die onvermoë van passiewe sonarstelsels om die rigting én die afstand na 'n teiken te verskaf (Cote 2003:9). Die koms van ASDIC het dié beperkinge uit die weg geruim, soveel so dat 'n Britse admiraal reeds gedurende 1921 gespog het dat die Britse Vloot voldoende beskerming aan toekomstige konvoos kon bied deur die aanwending van ASDIC (Hackman 1986:87).

2.3 Die Tweede Wêreldoorlog

Die Tweede Wêreldoorlog was van meet af deur die Duitse veldtog van onbeperkte duikbootoorlogvoering en in reaksie hierop, Britse konvoitaktiek gekenmerk. Ofskoon die intensiteit van ondersese oorlogvoering gedurende die laaste jare van die Eerste Wêreldoorlog uiters hoog was, was die intensiteit van die Duitse veldtog van onbeperkte duikbootoorlogvoering aan die begin van die Tweede Wêreldoorlog aanvanklik laer. Twee redes kan hiervoor aangevoer word: een, die Duitse Vloot, en dié van die Geallieerdes, het betreklik min duikbote tot hul beskikking gehad; en twee, uiteenlopende operasionele eise is aan hierdie betreklik min duikbote gestel (Cote 2003:9). Aan die begin van die oorlog het die Duitse Vloot oor 57 duikbote beskik, waarvan slegs 27 seevarende Tipe VII's of IX's was (Cote 2003:9). Teen Desember 1941 kon die Duitse Vloot egter 80 duikbote per dag in die Atlantiese Oseaan ontplooi; teen Maart 1943, 'n indrukwekkende 160 duikbote per dag; en ongeveer 80–120 tot en met Augustus 1944 (Clark e.a. 2020:19). Die betreklik klein getal Duitse duikbote aan die begin van die oorlog het óók beteken dat Duitse wolwetroptaktiek aanvanklik onuitvoerbaar was, 'n probleem wat eers ten volle met die koms van meer duikbote uit die weg geruim is.

Nieteenstaande die betreklik klein duikbootgetalle, het Duitse U-bote gedurende die eerste jaar van die oorlog steeds aansienlike skade aan die Geallieerde handelsvloot berokken. Cote (2003:9) vermeld dat gedurende Junie tot Oktober 1940, die Britse handelsvloot 1,4 miljoen grootton aan die hand van Duitse U-bote verloor het, 'n verlies wat des te meer kommerwekkend was gegewe die feit dat 30% van dié Britse handelskepe deur konvoos onder militêre geleide vergesel was. Dié aanvalle het duidelik gewys dat ASDIC-toegeruste konvoos geheel en al ondoeltreffend teen die Duitse U-bootbedreiging was, selfs wanneer individuele duikbote opgeduik en aanvalle vanaf die oppervlakte geloods het (Cote 2003:9). Namate die Duitse duikbootmag vergroot het, het die aanvalle teen die Geallieerde handelsvloot met rasse skrede toegeneem. Gedurende die eerste ses maande van 1942 het die Geallieerdes byna 3,6 miljoen grootton verloor en gedurende Maart 1943 alleen, ongeveer 693 389 grootton (Roskill 1956:103, 485). Dié verliese het kragtig getuig dat die Duitse Vloot gedurende die tydperk tussen die twee wêreldoorloë die doktrinêre stryd tussen enersyds, ASDIC-toegeruste konvoos onder militêre geleide en andersyds, Duitse wolwetroptaktiek gewen het (Cote 2003:10). Nieteenstaande dié vlietende oorwinning, het verskeie TDO-tegnologieë (en innoverende

TDO-strategieë) die Geallieerdes in staat gestel om 'n ommeswaai in hul stryd teen die Duitse U-bote te bewerkstellig (Clark e.a. 2020:10).

Waarskynlik was die deurslaggewende TDO-tegnologie in die stryd teen die Duitse U-bootbedreiging die ontwikkeling en aanwending van radar-toegeruste TDO-seepatrollievliegtuie (Cote 2003:10). Verbeteringe in seepatrollievliegtuie was noodsaaklik vir die Geallieerdes se konvoitaktiek: die beperkte afstand van dié vliegtuie het ruimte vir Duitse U-bote gelaat om 'n dekkingsgaping (die sogenaamde “mid-Atlantiese-Oseaan-gaping”) uit te buit, waartydens wolwetroptaktiek uiters doeltreffend uitgevoer kon word (Clark e.a. 2020:10). Die sukses van luggebaseerde TDO het uit die koppeling van mikrogolfradar met langafstandbomwerpers voortgespruit: radar het seepatrollievliegtuie in staat gestel om duikbote op die oppervlak sowat 20 tot 30 seemyl (37,04–55,56 kilometer) ver op te spoor én langafstandbomwerpers het die weg gebaan vir seepatrollievliegtuie wat die mid-Atlantiese-Oseaan-gaping uitgewis het (Cote 2003:10). Radartoegeruste TDO-seepatrollievliegtuie het eindelijk Duitse U-bote (gekenmerk deur die afwesigheid van verbeterde sluipvermoë, klankonderdrukking (“quieting”) en reikafstand) gedwing om te duik, wat weer die mobiliteit, kommunikasievermoëns en slaanag van die duikbote onderdruk het (Sasgen 2009:41; Cote 2003:10). Met inbegrip van die gebruik van radartoegeruste TDO-seepatrollievliegtuie, het die toename in die aantal beskikbare oppervlakskepe met die doel om konvoie te beskerm die Duitse U-bootbedreiging 'n aansienlike knou toegedien (Friedman 2019:18).

Ondanks die sukses van TDO-seepatrollievliegtuie om die dekkingsgaping te oorbrug, was laasgenoemde steeds 'n blywende bekommernis vir die Geallieerdes, hoofsaaklik omdat langafstandbomwerpers die hoeksteen van die strategiese lugveldtog van die Amerikaanse en Britse Lugmag gevorm het en dié vliegtuie dus elders benodig is (Cote 2003:11). Eers vroeg in 1943, met die aanwending van 'n toereikende hoeveelheid eskaders van die Amerikaanse Lugmag se B-24 *Liberators*-seepatrollievliegtuie, kon die probleem van die mid-Atlantiese-Oseaan-gaping werklik oorbrug word (Clark e.a. 2020:22).

Hoewel Geallieerde sukses betreffende die dekkingsgaping uiters belangrik in die stryd teen die Duitse U-bootbedreiging was, het verskeie ander TDO-tegnologieë eweneens 'n deurslaggewende rol gespeel. Aangesien die dieselaangedrewe duikbote van die Tweede Wêreldoorlog militêre aksies hoofsaaklik bo die water uitgevoer het (gegewe die afhanklikheid van kragopwekkers van suurstof),² was TDO-opsporingstegnologieë veral op die elektromagnetiese spektrum (o.a. radar, duikbootradio- en radarvoortplanting, en ontsyfering van duikbootradio-kommunikasie) gerig (Clark e.a. 2020:20). Kenmerkend van die ontwikkeling van militêre tegnologie deur die geskiedenis, met inbegrip van die ontwikkeling van TDO-tegnologieë gedurende die Tweede Wêreldoorlog, is die verskynsel van “maatreël” en “teëmaatreël”: “vir elke maatreël wat ontwikkel word, is daar 'n teëmaatreël, en vir elke teëmaatreël, 'n teë-teëmaatreël, ad infinitum” (Cohen 2019:140). Hiër kan op twee voorbeelde gewys word. Een, die gebruik van radar-toegeruste TDO-skepe en -seepatrollievliegtuie is betreklik vinnig teëgewerk deur die ontwikkeling van duikbootradarwaarskuwingsontvangtoestelle (“submarine radar warning receivers”) met toenemend hoër frekwensies (vanaf L-, toe S- en tot X-band) (Clark e.a. 2020:20). Twee, die ontsyfering van konvooi- en duikbootbevele is deur nuwe enkripsie-tegnieke teëgewerk, wat weer nuwe ontsyferingstegnieke meegebring het (Clark e.a. 2020:20).

Laasgenoemde, te wete prosesse van syfering en ontsyfering, het tesame met die ontwikkeling van hoëfrekwensie-richtingsbepaling (“High-Frequency Direction-Finding” (HF/DF), oftewel HF/RB) 'n beduidende invloed op die Duitse U-bootbedreiging uitgeoefen. Hoe beduidend

dié invloed was, blyk 'n twispunt te wees (vgl. bv. Deutsch 1978:2). Die sukses van Duitse wolwetroptaktiek het egter op die sentrale koördinasie van U-bootoperasies vanaf 'n landgebaseerde bevelspos berus, wat op sigself op die belangrikheid van tweerigtingradiokommunikasie tussen U-bote en die hoofkwartier gedui het (Cote 2003:11). Duitse tweerigtingradiokommunikasie (geënkripteer deur die syfermasjien, Enigma) kon egter deur die gebruik van HF/RB opgespoor word, waarna die liggingsbepaling van U-bote vasgestel kon word en die inhoud van die kommunikasie deur die Geallieerdes se intelligensieprojek Ultra ontsyfer word (Cote 2003:11). Dié deurbraak het die Geallieerdes in staat gestel om konvooi wat geteiken word, vroegtydig te waarsku en om beter aanwysings aan TDO-seepatrollievliegtuie te verskaf (Clark e.a. 2020:20).

Gedurende die stryd om TDO, was TDO-sensors (o.a. radar, magnetieseafwykingsdetektors, sonoboëie, en HF/RB-antennas) oorwegend van groter nut as TDO-wapens, hoofsaaklik omdat duikbote onmiddellik gepoog het om hulself uit die geveg te verwyder nadat hulle opgespoor is (Clark e.a. 2020:20; Cote 2003:11–2). Nogtans het verskeie ontwikkelinge op die gebied van TDO-wapens verskyn, waarvan die ontwikkeling van die klankaanpeiltorpedo (“acoustic homing torpedo”) soos die Mk. 24-torpedomyn en meer gesofistikeerde dieptebomme (o.a. die Amerikaanse Vloot se sogenaamde K-geskut-dieptebom) noemenswaardig is (Globe Composite 2021). Hoewel die ontwikkeling van TDO-tegnologieë en -strategieë gedurende die Tweede Wêreldoorlog die kern van die Geallieerdes se TDO-sukses was, het dié (kortstondige) oorwinning 'n onomstootlike feit verberg: ontwikkelinge in duikbootontwerp en -tegnologie aan die einde van die oorlog het die slinger toenemend in die guns van duikbote eerder as TDO-magte geswaai, veral teen die agtergrond van die Duitse ontwikkeling van die Tipe XXI-duikbote (Cote 2003:12).

3. Die tydperk van die akoestikus: TDO gedurende die Koue Oorlog

Kort na die einde van die Tweede Wêreldoorlog het die Amerikaanse Hoof van Vlootoperasies admiraal Chester W. Nimitz TDO (tesame met die bedreiging van kernoorlog) tot die dringendste prioriteite van die Amerikaanse Vloot verhef (Holwitt 2019). Vanwaar, kan tereg gevra word, die koorsagtige klemverskuiwing van die Amerikaanse Vloot na TDO, veral gegewe die feit dat dié verskuiwing midde-in 'n tydperk van vrede plaasgevind het? Kort voor die einde van die Tweede Wêreldoorlog het die Duitse Vloot 'n nuwe duikboot – die Tipe XXI – ontplooi, wat ten doel gehad het om die Geallieerdes se TDO-taktiek teen Duitse wolwetroptaktiek tot niet te maak (Cote 2003:13). Hoewel die Tipe XXI te laat op die toneel verskyn het om die uitkoms van die ondersese stryd in die Atlantiese Oseaan beduidend te beïnvloed, was dié duikbootklas een van ongeëwenaarde werkverrigting, wat trouens eers sowat 'n dekade later met die koms van kernduikbote oortref sou word (Fitzgerald en Pittenger 2019). Die Tipe XXI het oor 'n vaartbelynde romp, 'n sterker batterykapasiteit en 'n snorkel (wat die dieselenjin in staat gestel het om lug te skep tydens periskoopdiepte) beskik en kon 'n onderwaterspoed van 15 knope vir twee ure volhou (Cote 2003:13). Daarbenewens het die verhoogde onderwaterspoed van dié duikbote daartoe bygedra dat hulle enige torpedojaer vinnig kon ontduik, wat die moontlikheid van sonarkontak uitgeskakel het (Christley 2007:5). Na die Tweede Wêreldoorlog het die Tipe XXI in die hande van die Amerikaners, Britte en Sowjets geval. Die Amerikaners het vervolgens gevrees dat die Sowjetunie 'n groot getal seevarende Tipe XXI-duikbote sou vervaardig, wat 'n bykans onoorkombare uitdaging vir dié land se TDO-magte sou bied (Fitzgerald en Pittenger 2019).

Ten einde die bedreiging van Sowjetvervaardigde Tipe XXI-duikbote te oorkom, het die Amerikaanse Vloot eindelijk twee benaderings gevolg, die een evolusionêr en die tweede meer revolusionêr. Die evolusionêre benadering, in 'n poging om antwoorde op die bedreiging van die vinnige snorkeltoegeruste duikboot te verskaf, het die ontwikkeling van beter radar vir luggesteunde TDO, beter aktiewe sonars vir oppervlakskepe en beter wapens vir beide daargestel (Cote 2003:14). Teen 1950 het die APS 20-radar grotendeels daarin geslaag om die opsporingsafstand wat met die koms van die snorkeltoegeruste duikboot verloor is, te herwin; op sy beurt, het die QHB-skanderingsonar oppervlakskepe toegerus om langer kontak met duikbote onder die water te behou (Cote 2003:15). Nieteenstaande dié ontwikkelinge, was kenners dit eens dat die “radar-teen-duikbootstryd ’n ongelyke een is, met die duikboot eindelijk die winner” (Cote 2003:15). Laasgenoemde uitkoms was hoofsaaklik weens twee faktore: een, die feit dat die APS 20-radar voortdurend verbeter moes word ten einde tred met moontlike ontwikkelinge in Sowjet- snorkeltoegeruste duikbote te hou; en twee, enige poging deur die Sowjetunie om geometriese kamoeflering te ontgin, sou die opsporingsafstand van die APS 20-radar ingrypend verminder (Cote 2003:16).

Die meer revolusionêre benadering was hoofsaaklik gerig op die ontwikkeling van ’n nuwe sensor en ’n nuwe TDO-platform. Amerikaanse sensorontwikkeling het uiteraard voortgebou op die Duitse sonarsisteme wat tydens die Tweede Wêreldoorlog deur die Geallieerdes gebuit is en daarna deur verskeie navorsingsinstellings verder ontwikkel is (Holwitt 2019). Die uiteinde hiervan was die ontwikkeling van die passief-akoestiese rignet (“passive acoustic array”). Die gebruik van passief-akoestiese TDO-metodes spruit voort uit verskeie ontdekkings oor klankvoortplanting in die see; onder andere, die ontdekking van ’n diep klankkanaal wat laefrekwensieklank vasvang en rig en eindelijk langafstandklankvoortplanting moontlik maak (Cote 2003:16). Dié ontdekking het die ontwikkeling van akoestiese rignette met toenemende krag en verwerkingspoed moontlik gemaak, en die belangrikste uitkoms hiervan was die ontwikkeling van die klankwaarnemingsstelsel (“Sound Surveillance System” (SOSUS), oftewel KWS) (Holwitt 2019). KWS was, en is steeds vandag, ’n ongeëwenaarde waarnemingsstelsel en bestaan uit ’n netwerk van passief-akoestiese rignette wat deur die Amerikaanse Vloot op die seabodem geplaas is om vir vyandige duikbote in die diep klankkanaal te luister (Clark e.a. 2020:25).

Gelyklopend hiermee was die ontwikkeling van ’n nuwe TDO-platform, die TDO-duikboot (die sogenaamde “jagduikboot” of “hunter-killers” (SSK)), wat eweneens van passiewe, laefrekwensie-akoestiese rignette gebruik gemaak het (Cote 2003:17). In 1952 is die eerste TDO-ontwerpte jagduikbote – die Amerikaanse Vloot se SSK’s 1–3 – seevaardig verklaar, en die uitstaande TDO-kenmerk van dié duikbote was die gebruik van ’n groot laefrekwensie-boegrignet (“bow array”), die BQR-4 (Cote 2003:17). Die aanwending van die BQR-4 het die SSK’s toegerus om duikbote, veral dié wat op periskoopdiepte bewegings uitvoer, sowat 30 seemyl (55,56 kilometer) ver op te spoor (Cote 2003:17).

Sowjetvervaardigde duikbote geskoei op die Tipe XII het eers werklik gedurende 1949 in volle swang gekom met die ontwikkeling van die *Whiskey*- en *Zulu*-klas (en betreffende laasgenoemde, in uiters klein getalle), met die gevolg dat die naoorlogse Amerikaanse vrees vir ’n groot Sowjetduikbootvloot (geskoei op die Tipe XII) ongegrond was. Met die eerste kernontploffing van die Sowjetunie in 1949 het die TDO-landskap egter dramaties verander. Daar is wyd aanvaar – én gevrees – dat die duikboot die vernaamste kernwapenplatform sou word (Cote 2003:19). Die eerste kernrevolusie, te wete die gebruik van die duikboot as kernwapenplatform, moet naas die tweede een beskou word, dit is, die ontwikkeling van

kernaangedrewe duikbote. Die moontlikheid van kernaangedrewe Sowjetduikbote (gewapen met kernwapens) het TDO tot 'n missie van uiterste nasionale belang (meer as ooit vantevore) in die Amerikaanse Vloot verhef (Cote 2003:19). Nieteenstaande wydverspreide Amerikaanse kommer gedurende die vroeë 1950's, het die ontwikkeling van Sowjetkernduikbote vir nog sowat 'n dekade getalm.

Intussen het die Amerikaanse Vloot onverpoosd voortgegaan om 'n kernaangedrewe duikboot te vervaardig, een wat byna heeltemal onafhanklik van die oppervlakte kon diens doen en wat die see kon patrolleer sonder om na die oppervlakte te kom (Cote 2003:21). Die uiteinde hiervan was die USS *Nautilus* gedurende 1954, wat van meet af tydens krygsoefeninge 'n uitdaging vir Amerikaanse TDO-spanne gebied het (Cote 2003:21). Gegewe die hoë spoed van die *Nautilus*, met inbegrip van sy onafhanklikheid van die snorkel, kon hy moeiteloos die aktiewe sonarsisteme van TDO-oppervlakskepe ontduik. Terselfdertyd het sy spoed en driedimensionele stuurbaarheid dit haas onmoontlik vir klankaanpeiltorpedo's gemaak om die *Nautilus* te kwes (Cote 2003:21). Kort na die *Nautilus* ontplooi is, het elke ander duikboot in die wêreld verouderd geraak (Sasgen 2009:43). Ondanks sy indrukwekkende werkverrigting, was kernaangedrewe duikbote soos die *Nautilus* uiters luid (Sasgen 2009:43). Anders as dieselaangedrewe duikbote, wat met tussenposes luid is weens die noodsaaklikheid om die snorkel te gebruik, was die vroeë kernaangedrewe duikbote voortdurend luid (veral betreffende die laefrekwensiedeel van die klankspektrum), hoofsaaklik weens roterende masjinerie verbonde aan die kernreaktor (Clark e.a. 2020:38; Cote 2003:21). Dat kernaangedrewe duikbote voortdurend luid was, het twee ontwikkelinge meegebring: enersyds het duikbootontwerpers hulle toenemend op die ontwerp van stil duikbote toegespits; andersyds het die belangrikheid van 'n TDO-strategie en operasionele konsepte dramaties toegeneem (Holwitt 2019; Clark e.a. 2020:39).

Die vereniging van kernaangedrewe duikbote met duikbootgelanseerde ballistiese missiele (DBM), kortom die ontwikkeling van BMDK's, het die TDO-prentjie selfs meer ingewikkeld gemaak – vir die Sowjetunie meer as vir die Verenigde State van Amerika (VSA). Die ontplooiing gedurende 1960 van BMDK's deur sowel die VSA (die *George Washington*, die eerste van 41 *Polaris*-klas-BMDK's) as die Sowjetunie (die *Hotel*-klas) het die idee in beide state sterk tuisgebring dat elk oor die vermoë beskik het om onberekenbare skade aan die ander te berokken indien 'n verrassingsaanval sou plaasvind (Cote 2019:31–2). Gegewe die Amerikaanse voorsprong in passief-akoestiese TDO-metodes (veral met verwysing na KWS) asook duikbootklankonderdrukking (“submarine quieting”), was Sowjet-BMDK's van meet af kwesbaar vir Amerikaanse waarneming. Deur gebruik te maak van smalband-, laefrekwensie-, passief-akoestiese rignette (m.a.w. KWS), kon die Amerikaanse Vloot voortdurend op die spoor van die *George Washington* wees tydens sy vaart oor die Atlantiese Oseaan op weg na sy eerste afskrikingspatroolie in die Noorse See (Taddiken en Krock 2021). Die laefrekwensietonale kenmerkend van BMDK's, die uitwerking van roterende masjinerie, het kragtig oor die breedte van die Noord-Atlantiese Oseaan voortgeplant (Cote 2019:32).

Teen 1964 het KWS of soortgelyke sisteme passief-akoestiese waarneming in die Noord-Atlantiese See, die Noorse See en groot dele van die Stille Oseaan teen enige duikboot wat sodanige laefrekwensietonale voortgebring het, verskaf (Cote 2019:32). Die gebruik van KWS het 'n versperringstrategie moontlik gemaak, waarvolgens versperrings tussen Sowjet-tuishawens en patroolie-areas op die oop see geplaas is (Cote 2003:41). In diep waters, en waar die maritieme geografie dit toegelaat het, kon KWS-rignette op strategiese liggings (sogenaamde “choke points”, oftewel knooppunte) geplaas word, wat vroeëtydige waarskuwing van

duikbootbewegings aan die VSA verskaf het (Cote 2003:41). Soos reeds vermeld, het KWS eindelijk meegebring dat die *Washington*-klas-BMDK's die laaste Amerikaanse BMDK's was wat sonder duikbootklankonderdrukking ontwerp is (Holwitt 2019). Teen dié agtergrond het 'n uiters positiewe wisselwerking of kompetisie tussen die ontwerpers van passief-akoestiese sonar en duikbootontwerpers ontstaan, wat steeds van kritieke belang vir (Amerikaanse) TDO is: namate sonarontwerpers toenemend gevorderde passief-akoestiese rignette ontwikkel het (met die doel om die Amerikaanse Vloot toe te rus om vyandige duikbote op te spoor), het dié ontwikkelinge weer tot vernuwende duikbootontwerpe gelei ten einde die tonale van Amerikaanse duikbote te onderdruk (Christley 2007:32; Cote 2019:32). Die gebruik van KWS, tesame met die ontwikkeling van rignette wat deur oppervlakskepe en duikbote gesleep word, het die Amerikaanse Vloot bemagtig om Sowjetduikbote vroegtydig op te spoor, waarna P-3C-seepatrollievliegtuie gebruik sou maak van sonoboëie (wat op hul beurt toenemend van passiewe akoestiek gebruik gemaak het) om op die spoor van die duikboot te bly (Taddiken en Krock 2021; Cote 2003:49). Hierna sou daar van Amerikaanse AK's gebruik gemaak word om dié duikboot verder waar te neem (Clark e.a. 2020:39; Cote 2003:31). Dié benadering het die Amerikaanse Vloot bemagtig om belangrike inligting oor Sowjetduikbote en -operasies in te win en op grond hiervan, Amerikaanse TDO-magte vroegtydig in posisie te stel voor die aanvang van 'n konflik (Clark e.a. 2020:39).

Die Amerikaanse kompetisie tussen duikbootontwerpers en ontwerpers van TDO-sensors andersyds het vir 'n groot gedeelte van die Koue Oorlog sonder die medewete van die Sowjetunie plaasgevind (Cote 2019:32). Trouens, eers teen die laat 1970's het die Sowjetunie die volle omvang van die kwesbaarheid van hul duikbote vir passiewe akoestiek besef en met dit in gedagte, duikbootklankonderdrukking vooropgestel (Clark e.a. 2020:39). Sowjetduikbootklankonderdrukkingstappe het egter die dekking van KWS en die opsporingsafstand van Amerikaanse sonoboëie verminder en vervolgens, teen die laat-1980's, het Amerikaanse AK's en P-3C's dit ietwat moeiliker gevind om 'n groeiende getal stil Sowjetduikbote op te spoor (Clark e.a. 2020). In reaksie hierop het die Amerikaanse Vloot toenemend van 'n offensiewe TDO-strategie gebruik gemaak, wat ten doel gehad het om Sowjet-BMDK's in hul patrollie-areas in die Noordelike Yssee, die Barentsz-See en die Okhotsk-See (almal Sowjetbastions) te bedreig (Holwitt 2019). Die onderliggende aanname van dié strategie was dat die Sowjet-leierskap hul beste AK's sou stuur ten einde hul BMDK-mag te beskerm, wat die Amerikaanse Vloot met 'n kleiner aantal Sowjet-AK's op die oop see sou laat wat waargeneem en indien nodig, vernietig moes word (Clark e.a. 2020:39). Ondanks die Sowjetunie se koersagtige strewe na duikbootklankonderdrukking, is dit noemenswaardig dat die eerste Sowjetkernduikboot wat van meet af met duikbootklankonderdrukking ontwerp is, te wete die *Akula*-klas-AK, eers teen 1986 ontplooi is (Cote 2019:32). Teen dié tyd het die Amerikaanse Vloot reeds 'n nuwe rignet en opvolger vir KWS – die vastedistribusiesistiem (“fixed distribution system”) – getoets, en hul eerste SURTASS-skip (“surveillance towed array sensor system”) in diens gestel (Taddiken en Krock 2021; Friedman 2019:28). Op stuk van sake het die Amerikaanse passief-akoestiese TDO-strategie Sowjetkernduikbote vir 'n groot deel van die Koue Oorlog kwesbaar vir Amerikaanse waarneming (hoewel nie vernietiging nie) gelaat (Cote 2019:32).

4. TDO in 'n tydperk van tegnologiese verandering: die hede én die toekoms

In die tydperk ná die Koue Oorlog het die klem op die noodsaaklikheid van TDO toenemend gekwyn, veral in Amerikaanse gelede (Taddiken en Krock 2021; Toti 2014). Verskeie navorsingsprogramme en navorsingsinstellings is eindelijk deur die Amerikaanse Vloot tot niet gemaak en ondersese akoestiese waarneming en belegging in mobiele en ontplooibare (“deployable”) akoestiese stelsels het 'n ruk lank gekwyn (Fitzgerald en Pittenger 2019). Daar is egter vandag hernude klem op die noodsaaklikheid van TDO, nie net in Amerikaanse kringe nie, maar ook in dié van die Russe en die Chinese (vgl. bv. Clark e.a. 2020; Friedman 2019; Holwitt 2019; Fitzgerald en Pittenger 2019; Goldstein 2019). Daar is hoofsaaklik twee redes hiervoor: een, die vrees vir 'n oorlog tussen die VSA en Rusland, die VSA en China, of die VSA teen Rusland én China, waarin duikbootoorlogvoering uiters belangrik sal wees, kring uit (Layne 2020; Cote 2019); twee, die groeiende besef dat 'n reeks nuwe tegnologieë moontlik die slinger in die guns van TDO-magte eerder as duikbote (sal) swaai.

Die pas van tegnologiese innovasie het gedurende die laaste twee dekades ingrypend versnel (Vavasseur en Scott 2020:25). Hoewel die TDO-benaderings van die VSA, China en Rusland steeds vandag oorwegend op dié van die Koue Oorlog geskoei is, word daar aangevoer dat nuwe tegnologieë ongekende waarnemingsvermoëns aan state sal verskaf (Clark e.a. 2020:41; Lieber en Press 2018:2). Vervolgens sal die oseane toenemend deursigtig word en sal die stil duikboot, die onkwesbaarste been van kernstate se tweedeslaanaanvalsmagte, bedreig word. Laasgenoemde hou beduidende gevolge vir die uitvoerbaarheid en sukses van 'n kern-afskrikkingstrategie in. Diepgaande ontwikkelinge in afstandswaarneming bied waarskynlik die grootste uitdaging vir duikbote om vyandige waarneming te ontduik. Diegene wat aanvoer dat ontwikkelinge in afstandswaarneming die oseane in die toekoms toenemend deursigtig sal maak, wys gewoonlik op vyf verwante tendense.

Een, sensorplatforms raak toenemend uiteenlopend (Lieber en Press 2018:4). Sensorplatforms is nie meer beperk tot die tradisionele fokus van inligting, waarneming en verkenning (“intelligence, surveillance, and reconnaissance” (ISR), oftewel IWV) kenmerkend van die Koue Oorlog nie, te wete satelliete, duikbote en bemande vliegtuie. Nuwe platforms, onder andere OLV's, OOV's en OOS'e, almal toegerus met toenemend gesofistikeerde sensors, bied nuwe geleenthede vir IWV. Benewens dié ontwikkelinge het 'n nuwe virtuele sensorplatform gedurende die laaste twee dekades na vore getree, te wete die kuberruim (Lieber en Press 2018:4). Twee, die spektrum van seine wat deur sensors ingesamel word, en die tegnieke wat hiervoor aangewend word, het verbreed (Lieber en Press 2018:4). Koue Oorlog-intelligensie was oorwegend van fotoverkenning (“photoreconnaissance”), passiewe akoestiek en die onderskepping van die vyand se kommunikasie afhanklik (Lieber en Press 2018:4). Dié IWV-tegnieke is egter steeds uiters tersaaklik, en het op sigself diepgaande ontwikkelinge ondergaan. Enkele voorbeelde sal voldoende wees om op dié ontwikkelinge te dui. Tradisionele passief-akoestiese rignette en sonoboëie het gewoonlik op die mid-frekwensies (5–15kHz) van die klankspektrum gefokus. Daar is vandag hernude belangstelling in die moontlikheid van ultralae sonarsisteme, met frekwensies in die reeks van 0,01–0,1kHz. Indien dié sisteme verwerklik word, sal dit beteken dat duikbote vanaf groter afstande opgespoor kan word (Hambling 2020:10). Die vastedistribusiesisteme (die voorganger van KWS) is deur die betroubare akoestiese weg (“Reliable Acoustic Path” (RAP), oftewel BAW) vervang. Soortgelyk aan KWS, bestaan BAW uit 'n netwerk van passief-akoestiese rignette wat op die seabodem geplaas is; anders as KWS, is BAW-rignette opwaarts gerig (wat meebring dat ander horisontale seine uitgeskakel word) en seine kan etlike kilometer diep en 20 seemyl (37,04

kilometer) ver op die oppervlak ontvang word (Friedman 2020:26; Cote 2019:33). Benewens dié ontwikkelinge in tradisionele IWW-tegnieke, is moderne sensors toegerus om data in te samel wat die hele elektromagnetiese spektrum kruis en dié data kan met behulp van toenemend vindingryke ontledingstegnieke ontgin word (Lieber en Press 2018:4).

Drie, afstandswaarnemingsplatforms word toenemend deur ononderbroke waarnemingsvermoëns gekenmerk (Lieber en Press 2018:4). Die klem op onbeman-gefokusde TDO-konsepte en onbemande sensors en platforms is hier tersaaklik. Gedurende die vroeë jare van die Koue Oorlog was intelligensie aangewese op sensors wat knakskote (“snapshots”) eerder as ’n ononderbroke vloei van data ingesamel het (Lieber en Press 2018:4). Só het verkenningsvliegtuie byvoorbeeld vinnig oor ’n teiken gevlieg en satelliete oor ’n teiken beweeg en dan weer oor die horison verdwyn (Lieber en Press 2018:4). Mettertyd het dié sensors plek gemaak vir ander meer vaste sensors, wat data meer geredelik opgesuig het, byvoorbeeld passief-akoestiese rignette en geostasionêre satelliete (Lieber en Press 2018:4).

Die neiging in die rigting van ononderbroke waarnemingsvermoëns duur vandag voort. Daar word vandag aangevoer dat OLV’s, OOV’s en OOS’e, toegerus met uiters gesofistikeerde sensors, die ononderbroke waarneming van strategiese teikens en platforms moontlik maak (vgl. Clark e.a. 2020). Rusland se *Poseidon*, ’n kernbewapende OOV toegerus met ’n waarnemingsvermoë, is een voorbeeld hiervan (Axe 2021). ’n Selfs meer tersaaklike voorbeeld is *Orca*, ’n ekstra-groot OOV wat deur Boeing vir die Amerikaanse Vloot vervaardig word. *Orca* is op Boeing se uiters indrukwekkende OOV, die *Echo Voyager*, geskoei, maar na verwagting sal daar beduidende verskille tussen die twee wees. Die *Echo Voyager* het ’n sendbereik van 6 500 seemyl (12 038 kilometer), kan 3 353 meter diep duik en kan vir meer as 70 dae onder die water bewegings uitvoer (Osborn 2019). Hoewel beperkte inligting oor *Orca* bekend is, word daar wyd aanvaar dat dit met mynteëmaatreëls, TDO, elektroniese oorlogvoerings- en aanvalsvermoëns toegerus sal word (Mizokami 2019). Benewens dié maatreëls sal *Orca* oor gesofistikeerde sonarladings (“sonar payloads”) beskik en in staat wees om data byna oombliklik aan oppervlakskepe te versend (Mizokami 2019). ’n Laaste voorbeeld is *SeaGuardian*, ’n OLV wat as ’n seepatrollievliegtuig ontwerp word. Dié OLV het ’n vliegbereik van 5 500 seemyl (10 186 kilometer), ’n reikafstand van 35 ure en kan ’n hoogte van ongeveer 12 192 kilometer bereik (Scott 2020:6). Met OLV’s en OOV’s wat die oseane waarneem en duikbootposisies aan oppervlakskepe kommunikeer, word die voorheen onbegonne taak om duikbote op te spoor aansienlik makliker. Voorts word laasgenoemde verder vergemaklik deurdat die koste verbonde aan OLV’s en OOV’s aansienlik goedkoper as bemande vaartuie is, wat beteken dat meer TDO-platforms beskikbaar gestel kan word (Clark e.a. 2020:48).

Vier, deel van die kwalitatiewe verbeteringe in afstandswaarneming is die toename in sensorskerpte (“sensor resolution”) (Lieber en Press 2018:4). Verbeterde sensors en data-verwerkingstegnieke baan die weg vir meer akkurate afmetings en om dowwe seine van byklanke te onderskei (Lieber en Press 2018:4). Dit is insiggewend om te vermeld dat die eerste Amerikaanse verkenningsatelliet voorwerpe so klein as 7,62 meter kon waarneem; kommersiële satelliete (wat nog te sê militêre satelliete) kan vandag voorwerpe met ’n 0,3 meter-resolusie waarneem (Lieber en Press 2018:4). Sodanige verbeteringe in sensorskerpte bring ook nuwe moontlikhede vir infrarooisensors, gevorderde radars, interferometers en spektrograwe. Dié verbeteringe is egter almal aangewese op die vyfde tendens in afstandswaarneming, te wete verbeterde (d.i. oombliklike) dataversending (Lieber en Press 2018:4).

5. Hoe kwesbaar is duikbote nou eintlik? Implikasies vir kernafskrikking

Die stil duikboot word tradisioneel as die onkwesbaarste been van die kerntriade beskou. Vandag word daar egter aangevoer dat diepgaande ontwikkelinge in IWV die slinger in die guns van TDO-magte eerder as duikbote (sal) swaai (Lieber en Press 2018). In hierdie afdeling sal twee onderling verwante kwessies onder die loep kom: eerstens, die vraag na die kwesbaarheid van duikbote, spesifiek BMDK's as die hoeksteen van die tweedeslaan-aanvalsmagte van kernstate; tweedens, die vraag na die uitwerking van die kwesbaarheid van BMDK's vir kernafskrikking. As 'n vertrekpunt is dit tersaaklik om te noem dat kenners dit eens is dat huidige benaderings tot TDO geensins doeltreffend sal wees om alle vyandige BMDK's op te spoor nie (Clark e.a. 2020:44). Met dít in gedagte, is dit noemenswaardig dat die Amerikaanse Vloot se *Ohio*-klas-BMDK “nog *nooit* deur enige vyandige duikboot opgespoor is nie” (Mizokami 2020). Die onkwesbaarheid van BMDK's is egter nie net beperk tot die Amerikaanse Vloot nie. Gedurende Augustus 2020 het 'n Russiese duikboot in internasionale water aan die kus van Alaska opgeduik en die Amerikaanse Vloot se Noordelike Bevelspos heeltemal verras. Klaarblyklik is dit steeds uiters moeilik om 'n duikboot op te spoor, selfs in 'n tydperk van indrukwekkende tegnologiese ontwikkeling.

Om 'n hele BMDK-mag op te spoor, te agtervolg *en* te vernietig is beswaarlik 'n maklike taak. Toti (2014) verklaar onomwonde dat die taak om 'n vyandige BMDK op te spoor “byna onmoontlik” is. Voorts moet enige passief-akoestiese TDO-strategie wat ten doel het om byvoorbeeld die hele Amerikaanse BMDK-mag op te spoor, te agtervolg en te vernietig, één belangrike vraag oorweeg, te wete, op watter afstand kan 'n Amerikaanse BMDK opgespoor word? Inligting oor die akoestiese sein wat deur die *Ohio*-klas voortgebring word, wat dui op die opsporingsafstand van hierdie duikbootklas, is steeds geklassifiseerde inligting (Snyder e.a. 2019:190). Gedurende die 1980's het waarnemers gemeen dat die akoestiese sein van die *Ohio*-klas tussen 90–110 desibels kan wees, wat meebring dat 'n vyandige duikboot so naby as 1–2 kilometer aan die Amerikaanse duikboot moet wees ten einde opsporing moontlik te maak (Snyder e.a. 2019:190). Daar word vandag algemeen aanvaar dat opsporingsafstande veel korter sal wees en selfs meer in die toekoms sal verkort. Selfs al verkort die opsporingsafstand verder in die toekoms, is dit belangrik om te besef dat enige verdere verbetering geen militêre nut inhou nie. Die akoestiese sein wat deur 'n BMDK voortgebring word, moet eindelijk prakties ver genoeg wees vir akoestiese opsporing om militêr betekenisvol te wees (Snyder e.a. 2019:191). Die *Columbia*-klas-BMD (die opvolger van die *Ohio*-klas) se stiller elektriese aandrywing en byna 0,3048 meter groter romp sal ongetwyfeld opsporingsafstande verder verkort (O'Rourke 2020; Snyder e.a. 2019:191).

Voorts word daar aangevoer dat diepgaande verbetering in die verwerkingsvermoëns van rekenaars duikbote bemagtig om vinnig 'n oorfloed akoestiese data te deursoek, waarna 'n vyandige duikboot gouer opgespoor kan word (Snyder e.a. 2019:191). Alvorens data deursoek kan word, moet 'n duikboot egter eers dié data hê, 'n uiters netelige probleem wanneer 'n BMDK voortdurend aan die beweeg is (Snyder e.a. 2019:191). Dié probleem sal selfs meer indringend word waar die opsporingsafstand van 'n BMDK verkort. Bowendien kan 'n (Amerikaanse) BMD teen 'n onderwaterspoed vaar wat die duikboot in staat sal stel om buite sy maksimum opsporingsafstand te beweeg gedurende die vereiste tydtraamwerk om data in te samel, wat meebring dat die toename in verwerkingspoed nutteloos is (Snyder e.a. 2019:191). Voorts sal die *Columbia*-klas, met 'n X-vormige romp, oor selfs nog vinniger onderwaterspoed in dieper water beskik, wat weer eens dui op die uitdagings om akoestiese data vas te vang onderwyl 'n duikboot binne sy maksimum opsporingsafstand is (Military-Today 2020).

Om suksesvol op die spoor van 'n vyandige duikboot te bly, vereis voorts dat 'n BMDK-sein op *verskeie* hidrofone inwerk, 'n uitdaging wat meebring dat enige verdere verbeteringe in sensors grootliks onbelangrik sal wees (Snyder e.a. 2019:191). 'n Enkele hidrofoon kan nie 'n BMDK-sein van byklanke onderskei nie. 'n Duikboot wat poog om op die spoor van 'n vyandige BMD te bly, sal gevolglik van verskeie hidrofone gebruik moet maak om, eerstens, die vyandige BMD op te spoor, tweedens, die rigting waarin dié duikboot vaar vas te stel (ten einde op die spoor van die duikboot te bly) en laastens, 'n aanval te loods om dit te vernietig (Snyder e.a. 2019:191). Hoewel 'n toename in hidrofone die moontlikheid van die opsporing van 'n BMDK verhoog, is dit tersaaklik om te noem dat die korrelasie tussen 'n BMDK-sein en verskeie hidrofone vir slegs 'n paar sekondes volgehou kan word, wat 'n teenwig skep vir enige verbeteringe in die verwerkingsvermoëns van rekenaars (Snyder e.a. 2019:191).

Enige poging om aktief op die spoor van 'n BMDK te bly, sal in elk geval nie onopgemerk bly nie. Wanneer sodanige pogings aangewend word, sal 'n BMDK 'n aktiewe sein (dat dit deur 'n vyandige duikboot agtervolg word) opmerk. Trouens, lank voordat 'n vyandige duikboot op die spoor van 'n BMDK kom, sal laasgenoemde 'n aktiewe sein opmerk (Snyder e.a. 2019:191). In elk geval, wanneer 'n BMDK 'n aktiewe sein opmerk, sal dit spoedig optree – deur die gebruik van óf gereëlde ploftoestelle (“timed explosive devices”) óf tydige aanlokkingsmiddele (“decoys”) – om vyandige duikbote te vernietig (Friedman 2019:33). Belangriker, selfs al is dit moontlik om 'n duikboot op te spoor én op sy spoor te bly, is die vraag of 'n BMDK wel vernietig kan word, 'n geheel en al andersoortige een. Om 'n BMDK te vernietig, meen Friedman (2020:79), is geensins 'n eenvoudige onderneming nie. Baie hang af van hoe presies die BMDK opgespoor kan word, waarna die vernietiging van die duikboot 'n verdere poging om die BMDK se posisie vas te stel ten einde 'n aanval te loods, verg (Friedman 2019:33). Baie hang ook af van die praktiese, eerder as die teoretiese, doeltreffendheid van TDO-wapens (Friedman 2019:33). Wanneer 'n BMDK wel aangeval word, kan teëmaatreëls aangewend word ten einde die duikboot 'n kans op oorlewing te bied. Huidige navorsing oor die nut van teen-torpedowapens om oppervlakskepe te beskerm, kan waarskynlik lei tot die ontwikkeling van doeltreffende duikbootselverdedigingswapens (Friedman 2019:33). Met dié wapens in gedagte, is dit insiggewend om te noem dat die Amerikaanse Vloot poog om 'n veelvlakkige verdediging (“layered defence”) van teen-torpedo-aanlok-en-fopmiddels (“anti-torpedo decoys”) te ontwikkel, wat duikbote teen TDO-wapens sal beskerm (Peck 2020). Uiteraard sal dié veelvlakkige verdediging soortgelyk wees aan die elektroniese oorlogstelsels wat militêre vliegtuie teen lugafweerwapens beskerm (Peck 2020). Hoewel selfverdediging ongetwyfeld 'n diepgaande probleem in die ondersese omgewing is, is dit egter nie 'n onoorkomelike een nie (Friedman 2019:33).

Vervolgens is dit uiters moeilik om 'n BMDK (wat nog te sê van 'n *hele* BMDK-mag) op te spoor, te agtervolg *en* te vernietig. Hierteenoor kan daar gevra word: sal die diepgaande ontwikkelinge in afstandswaarneming nie die opsporing en agtervolging van BMDK's vergemaklik nie? Die bondige, dog kragtige, antwoord is: stellig nie. Etlike redes voortspuitend uit die bespreking van TDO in hierdie ondersoek kan aangevoer word om dié antwoord te staaf. Allereers dui die geskiedenis van TDO (soos uiteengesit in hierdie ondersoek) sterk daarop dat ontwikkelinge in militêre tegnologie nooit slegs in een rigting beweeg nie. Trouens, soos Fitzgerald en Pittenger (2020) kundig uitwys, “die geskiedenis van TDO is een van verrassings”, met maatreëls wat verskeie teëmaatreëls, en teëmaatreëls wat teë-teëmaatreëls meebring, ad infinitum (Cohen 2019:140). Gevolglik, indien sekere tegnologieë die slinger in die guns van TDO-magte sal swaai, sal ander pro-duikboottegnologieë ongetwyfeld die wanbalans herstel.

Enkele voorbeelde kan hier ter illustrasie genoem word. Hoewel diepgaande ontwikkelinge in sensors en sensorplatforms indrukwekkend is, word daar reeds onverpoosd gestreef na die skep van kuberopleidingsomgewings wat ten doel het om 'n vyand se sensors te infiltrer, te manipuleer en aan te val (Hitchens 2019). Voorts bou die Amerikaanse Vloot tans voort op bestaande navorsing oor die gebruik van lasers om sensors en sensorplatforms te verblind en te ontwrig (Scott 2021:7). Terselfdertyd word daar vandag gegis oor die bedreiging van “swarms” OLV’s (en gelyklopend hiermee, die toekomstige bedreiging van ’n skool OOV’s). Dit is noemenswaardig dat ’n teen-OOV-swarmstryd (“counter UAS-swarm fight”) reeds goed op dreef is, met die ontwikkeling van Lockheed Martin se MORFIUS, “’n OLV gewapen met ’n kragtige mikrogolf” wat verskeie teikens gelyktydig kan vernietig (Atherton 2021). Duikbootklankonderdrukking gaan terselfdertyd onverpoosd voort. Met dít in gedagte, is dit noemenswaardig dat een van die beslissende oorwegings in die ontwerp en vervaardiging van die *Columbia*-klas die noodsaaklikheid van nuwerwetse tegnologie was, veral tegnologie wat dié duikbootklas se sluipvermoë oor die volgende vier dekades sal verseker (O’Rourke 2020). Vervolgens sal die *Columbia*-klas met ’n kernreaktor, wat na bewering so stil is “dat dit minder klank as ’n 20 watt-gloeilamp sal voortbring”, toegerus word (Military-Today 2020). Soortgelyk aan die *Virginia*-klas-AK, sal die *Columbia*-klas van eggolose verf gebruik maak om die bedreiging van vyandige aktiewe sonar te verminder (Military-Today 2020). Op hul beurt is die Chinese Vloot koorsagtig besig om hul volgende generasie van BMDK’s met ’n pompstralerskroef (“pumpjet propulsor”) toe te rus. As ’n alternatief vir ’n konvensionele skroef, beloof pompstralerskroewe om duikbootklank wat deur kavitasie veroorsaak word, aansienlik te verminder (Tate 2020). ’n Laaste illustrasie is gepas: hoewel ontwikkelinge in die sensorskerpte van verkenningsatelliete onverpoosd voortgaan, is kenners dit eens dat selfs die mees gesofistikeerde verkenningsatelliete óf gefop kan word óf deur teenruimwapens (“anti-space weapons”) vernietig kan word (Younger 2010:130; Skibba 2020).

’n Tweede les wat uit die geskiedenis van TDO geleer kan word, is dat tegnologiese ontwikkeling in TDO nooit ’n beslissende oorwinning in die stryd teen die opsporing en belangriker, die vernietiging van BMDK’s meebring nie. Sukses in die opsporing van enkele vyandige BMDK’s (wat nog te sê van ’n hele BMDK-mag) is byna altyd kortstondig én voorwaardelik. Só kon KWS slegs kernduikbote (en nie dieselaangedrewe duikbote nie) opspoor en uitsluitlik passief-akoestiese TDO bied. Tersaakliker, KWS kon *nie* ’n duikboot so presies opspoor dat ’n langafstandmissiel dit kon beskadig of vernietig nie (Friedman 2019:26). Waar KWS-data op ’n moontlike opsporingsarea van BMDK’s gedui het, kon TDO-magte en AK’s dié data uitbuit deur vinnig op die opsporingsarea toe te sak. Daar was egter *geen* waarborg dat nadat KWS ’n BMDK opgespoor het, kontak met dié duikboot herwin kon word nie en sonder kontak was daar *geen* kans dat die opgespoorde duikboot vernietig kon word nie (Friedman 2019:26). Hoewel Sowjet-BMDK’s in die Atlantiese Oseaan opgespoor kon word, was “dit beswaarlik die tipe strategiese TDO wat eensklaps die strategiese balans laat kantel het” (Friedman 2019:26).

Gedurende die Koue Oorlog was die uitvoer van ’n suksesvolle TDO-strategie aangewese op die integrasie en noue samewerking van *verskeie* TDO-magte, doeltreffende TDO-konsepte, aansienlike befondsing (gegewe die uiters hoë kostes verbonde aan TDO-operasies en die noodsaaklikheid van voortdurende TDO-gefokusde navorsing), maritieme geografie en die kundigheid van TDO-magte. Vandag is die versperrings om ’n uiters doeltreffende TDO-operasie te loods selfs nóg hoër, veral gegewe die ontwikkeling van toenemend stil duikbote. Daar is vandag slegs een vloot (dié van die Amerikaners) wat hoegenaamd doeltreffend in TDO is (Cote 2019:33; Friedman 2019:33). Meer as ooit vantevore vereis TDO uiters hoë

investering, 'n mylpaal wat vir die meeste lande nie haalbaar is nie. Trouens, klem op TDO vereis disinvestering in ander moontlik belangriker vlootmissies. Die uitvoer van 'n TDO-missie verg voorts dat skaars hulpbronne (o.a. oppervlakskepe en vliegtuie) van ander kritieke missies herontplooi moet word. Gevolglik, soos Friedman (2019:33) uitwys, beteken dit dat “selfs al tree 'n betroubare duikbootopsporingsmetode na vore, die ontginning daarvan uiters duur, selfs onbekostigbaar, sal wees”. Dit is tersaaklik om hier te noem dat selfs die Amerikaanse Vloot, waarskynlik die enigste vloot wat oor die volle spektrum (“full spectrum”) TDO-vermoëns beskik, nie *alle* vyandige BMDK's *gelyktydig* kan opspoor, agtervolg *en* vernietig nie, soos die Noordelike Kommandement se onvermoë gedurende Augustus 2020 om 'n Russiese duikboot aan die kus van Alaska op te spoor, duidelik wys. Gedurende die Koue Oorlog, vandag én in die toekoms, was en is dit duidelik dat daar met groot omsigtigheid te werk gegaan moet word wanneer daar aangeneem word dat 'n nuwe tegnologie die strategiese balans onherroeplik sal verander.

Die derde tersaaklike les wat uit die geskiedenis van TDO geleer kan word, is die belangrikheid van maritieme geografie vir TDO. Wat die ontwikkeling (én sukses) van KWS moontlik gemaak het, was nie die onvermoë van die Sowjetunie om innoverende tegnologiese ontwikkelinge voort te bring nie, maar “'n asimmetrie in die gevolge van 'n gemeenskaplike maritieme geografie” (Cote 2019:32). KWS-rignette was aangewese op 'n koppeling met die vasteland, waar ondersese kables met dataverwerkingsfasiliteite verbind is. Soortgelyk aan KWS gedurende die Koue Oorlog, is die sleutel tot ondersese waarneming vandag die bestaan van 'n gunstige maritieme geografie (Cote 2019:32). Die uitwerking van 'n gunstige maritieme geografie op TDO kan ten beste geïllustreer word deur oorweging te skenk aan hoe die maritieme geografie wat die VSA en China in die Stille Oseaan deel, eersgenoemde bevoordeel.

Die gebruik van BAW-rignette deur die Amerikaanse Vloot in die Stille Oseaan bring mee dat enige Chinese duikboot wat poog om die Filippynse See of die groter Stille Oseaan vanaf die Geel See en die Oos- en Suid-Chinese See binne te vaar, opgespoor sal word (Cote 2019:33). Die teendeel is egter nie waar vir Amerikaanse AK's en BMDK's wat poog om die Chinese Binneseë (“Inner seas”) binne te dring nie (Cote 2019:33). BAW (of sodanige sisteme) is, soortgelyk aan KWS, aangewese op 'n koppeling met die vasteland. Vanuit die Amerikaanse perspektief beskou, word BAW-rignette in die Westelike Stille Oseaan aangebring (of is dalk reeds aangebring) (Cote 2019:33). Hierteenoor sal 'n dergelike Chinese BAW-sisteem vereis dat veseloptykabels by die ingang na die Binneseë vanuit die Filippynse See gelê word, 'n enorme gebied wat vanaf die Oos- tot Suid-Chinese See strek, en waarvan die vlak water sal meebring dat dié kables geensins in 'n oorlog beskerm kan word nie (Cote 2019:34). Die interaksie van maritieme geografie met tegnologie bevoordeel derhalwe sommiges meer as ander. Ten einde dié tekortkominge die hoof te bied, sal die Chinese, soos die Sowjetunie gedurende die Koue Oorlog, genoop word om toenemend staat te maak op die ontwikkeling en aanwending van duikbootgelanseerde ballistiese missiele, waartydens Chinese BMDK's naby tuishawens kan patroleer en vandaar vyandige strategiese teikens bedreig. Die afwesigheid van enige Chinese BAW sal beteken dat daar bykans géén manier vir die Chinese Vloot sal bestaan om die Amerikaanse *Columbus*-klasduikbote op te spoor nie (Cote 2019:34–5).

Oseanografiese inligting is nou verweef met die belangrikheid van maritieme geografie vir TDO. Oseanografiese data – onder andere, chlorofil- en suurstofvlakke, watertemperatuur, southheid en troebelheid – bied uiters nuttige inligting vir TDO én duikbootverbergingsoperasies (Wong 2021:8). Temperatuurlae in die oseaan is byvoorbeeld uiters veranderlik en

juis hierom absorbeer dit beide breëband- en smalbandklank én beïnvloed die rigting en intensiteit van klankvoortplanting (Sasgen 2009:47). Sodanige omstandighede bemoeilik die opspoor van vyandige duikbote, ’n onderneming wat alreeds uiters twyfelagtig is (Sasgen 2009:47). Hoewel diepgaande oseanografiese kennis TDO-magte bemagtig om vyandige duikbote te jag, is die teendeel egter ook waar: sodanige kennis bemagtig duikbote om meer ongemerk op te tree en die waarskynlikheid van opsporing te verminder (Wong 2021:8). Daar word vandag toenemend van outonome onderwatersweeftuie (“autonomous underwater gliders”), wat uiters koste-effektief is en oor ’n reikafstand van etlike maande beskik, gebruik gemaak om oseanografiese inligting in te samel (Wong 2021:9). Verbeterde oseanografiese kennis, meen Friedman (2019:33), sal tot die voordeel van duikbote strek wat poog om hulself te verberg. Voorts sal die toenemende industriële gebruik van die oseane, wat die oseane eindelijk luider sal maak, tesame met ’n toekomstige wêreld waarin meer lande duikbote ontplooi, enige toekomstige opsporingsmaatreëls bemoeilik (Friedman 2019:33).

Ondanks wat algemeen aanvaar word, is BMDK’s vandag en terloops, vir ten minste die volgende twee dekades, hoegenaamd nie kwesbaar vir enige vorm van TDO nie (Friedman 2019:33). Vier kragtige redes ondersteun dié gevolgtrekking. Een, om ’n enkele BMDK (wat nog te sê van ’n hele BMDK-mag) op te spoor, te agtervolg *en* te vernietig, is beswaarlik ’n maklike taak. Selfs indien sekere tegnologieë in die toekoms die opsporing van BMDK’s vergemaklik, bly die probleem van die vernietiging van ’n enkele BMDK (wat nog te sê van ’n hele BMDK-mag) ’n netelige een. Twee, die geskiedenis van TDO wys duidelik dat ontwikkelinge in militêre tegnologie ’n wederkerige proses is. Waar innoverende TDO-oplossings na vore tree, kan verwag word dat insgelykse innoverende pro-duikbootoplossings sal verskyn. Trouens, sodanige ontwikkelinge is reeds besig om te ontvou. Drie, tegnologiese ontwikkelinge in TDO bring nooit ’n beslissende oorwinning in die stryd teen die opsporing en belangriker, die vernietiging van BMDK’s mee nie. Selfs die beste opsporingsisteme het beperkings. Voorts berus ’n suksesvolle TDO-strategie op verskeie onderling afhanklike faktore, onder andere *verskeie* TDO-magte, doeltreffende TDO-konsepte, aansienlike befondsing, maritieme geografie en die kundigheid van TDO-magte. Slegs een vloot (dié van die VSA) beskik vandag oor die nodige vaardighede om ’n doeltreffende TDO-strategie te loods en selfs dié land se vloot kan nie *alle* vyandige BMDK’s *gelyktydig* opspoor, agtervolg *en* vernietig nie.

Vier, die geskiedenis van TDO leer verder dat maritieme geografie, met inbegrip van oseanografie, uiters belangrik vir sowel TDO as duikbootverberging is. Huidige en toekomstige akoestiese waarnemingstelsels sal steeds afhanklik van ’n koppeling met die vasteland wees, met die gevolg dat maritieme geografie sommige lande meer as ander sal bevoordeel. Oseanografiese data word toenemend verbreed deur die gebruik van onderwatersweeftuie, wat duikbootverberging verder sal versterk. Toenemende industriële gebruik van die oseane, tesame met die aantal lande wat duikbote ontplooi, sal die opsporing van BMDK’s selfs meer bemoeilik. Die prentjie wat hiér na vore tree, is een waarin die onkwesbaarheid van BMDK’s – vandag én in die toekoms – sal voortduur. Waar die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate onkwesbaar is, sal ’n kernafskrikkingstrategie uiters doeltreffend bly en strategiese stabiliteit voortduur.

6. Gevolgtrekking

Hierdie ontleding wys daarop dat diepgaande ontwikkelinge in veral afstandswaarneming *nie* BMDK's as die hoeksteen van die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate kwesbaar laat nie. 'n Bespreking van die geskiedenis van TDO (en lesse wat hieruit geleer kan word), asook 'n ondersoek na die praktiese uitdagings om 'n BMDK op te spoor, te agtervolg *en* te vernietig, lê die grondslag vir optimisme oor die voortdurende onkwesbaarheid van BMDK's en gepaardgaande hiermee, die voortdurende stabiliteit van kernafskrikking. Ontluikende tegnologiese ontwikkelinge, onder andere grootdata, kunsmatige intelligensie en kwantum-berekening, word ook dikwels voorgehou as ontwikkelinge wat *moontlik* vanaf 2050 TDO-magte meer doeltreffend kan maak. Anders as diepgaande ontwikkelinge in afstandswaarneming, is dié ontwikkelinge steeds ver in die toekoms geleë en vandag te vaag om werklik hul uitwerking op die kwesbaarheid van BMDK's te verreken. Daar is egter drie redes tot optimisme rakende die voortdurende onkwesbaarheid van BMDK's, *ongeag die rigting van tegnologiese ontwikkeling*. Een, soos Cote (2019:33) tereg uitwys, dit is "hoogs onwaarskynlik" dat enige toekomstige tegnologie ooit die oseaan geheel en al deursigtig sal maak. Twee, die geskiedenis van TDO wys daarop dat die stryd tussen TDO-magte en duikbote 'n *voortdurende* een is, een waarin ontwikkelinge in TDO nooit 'n beslissende oorwinning in die stryd teen die opsporing en belangriker, die vernietiging van BMDK's meebring nie. Die geskiedenis van TDO is een van verrassings. Drie, en waarskynlik die belangrikste rede, selfs al word BMDK's makliker om op te spoor, sal dit slegs 'n strategie van kernafskrikking ondermyn en die moontlikheid van 'n voorkomende aanval verhoog, indien 'n toekomstige aanvalsal glo dat *al* die BMDK's van 'n kernstaat *gelyktydig* vernietig kan word. Derhalwe, vandag én in die nabye toekoms, is daar beswaarlik gronde om te glo dat BMDK's, met inbegrip van die tweedeslaanaanvalsmagte van kernstate, kwesbaar is.

Bibliografie

Atherton, K. 2021. Drones vs. drones: Lockheed MORFIUS uses microwaves to kill swarms. *Breaking Defense*, 19 Maart. <https://breakingdefense.com/2021/03/drones-vs-drones-lockheed-morfius-uses-microwaves-to-kill-swarms/> (20 Maart 2021 geraadpleeg).

Axe, D. 2021. Russia is building four special submarines to haul its weird doomsday drone. *Forbes*, 21 Januarie. <https://www.forbes.com/sites/davidaxe/2021/01/21/russia-is-building-four-special-submarines-to-haul-its-grotesque-doomsday-drone/?sh=6a6708e33703> (26 April 2021 geraadpleeg).

Baylis, J., J.J. Wirtz en C.S. Gray (reds.). 2019. *Strategy in the contemporary world*. 6de uitgawe. Oxford, New York: Oxford University Press.

Christley, J. 2007. *US nuclear submarines: the fast attack*. Oxford: Osprey Publishing.

Clark, B., S. Cropsey en T.A. Walton. 2020. *Sustaining the undersea advantage: disrupting anti-submarine warfare using autonomous systems*. Washington, D.C.: Hudson Institute.

Cohen, E.A. 2019. Technology and warfare. In Baylis e.a. (reds.) 2019.

Cote, O.R. 2003. *The Third Battle: innovation in the U.S. Navy's silent Cold War struggle with Soviet submarines*. Newport: Naval War College Press.

—. 2019. Invisible nuclear-armed submarines, or transparent oceans? Are ballistic missile submarines still the best deterrent for the United States? *Bulletin of the Atomic Scientists*, 75(1):30–5.

Deutsch, H.C. 1978. The influence of Ultra on World War II. *Parameters*, VIII(4):2–15.

Emley, B. 2017. How the diving bell opened the ocean's depths. *The Atlantic*, 23 Maart. <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2017/03/diving-bell/520536/> (20 Januarie 2021 geraadpleeg).

Fitzgerald, J.R. en R.F. Pittenger. 2019. ASW – Will we ever learn? *Proceedings*, 145(4). <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2019/april/asw-will-we-ever-learn> (22 Januarie 2021 geraadpleeg).

Friedman, N. 2019. *Strategic submarines and strategic stability: looking towards the 2030s*. Canberra: The National Security College.

—. 2020. Strategic submarines and strategic stability: looking towards the 2030s. In Medcalf e.a. (reds.) 2020.

Geist, E. en A.J. Lohn. 2018. *How might artificial intelligence affect the risk of nuclear war?* Santa Monica: Rand Corporation.

Globe Composite. 2021. A brief history of anti-submarine warfare. <https://www.globecomposite.com/blog/history-anti-submarine-warfare> (20 April 2021 geraadpleeg).

Goldstein, L.J. 2019. China is building a “undersea Great Wall” to take on America in a war. *The National Interest*, 27 Oktober. <https://nationalinterest.org/blog/buzz/china-building-undersea-great-wall-take-america-war-90601> (23 Augustus 2020 geraadpleeg).

Hackmann, W.D. 1986. Sonar research and naval warfare 1914–1954: a case study of a twentieth-century establishment science. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 16(1):83–110.

Hambling, D. 2020. Listening down: ULF sonar attracts new interest for ASW applications. *Janes Navy International*, 125(7):10–1.

Hitchens, T. 2019. AFRL cyber center to train how to hack sensors (think IoT). *Breaking Defense*, 8 Oktober. <https://breakingdefense.com/2019/10/afri-cyber-center-to-train-how-to-hack-sensors-think-iot/> (9 Oktober 2019 geraadpleeg).

Holwitt, J.I. 2019. Sub vs. sub: ASW lessons from the Cold War. *Proceedings*, 145(10). <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2019/october/sub-vs-sub-asw-lessons-cold-war> (10 Maart 2021 geraadpleeg).

- Howe, J.A. 1971. Wolfpack: measure and counter. *Naval War College Review*, 23(8):61–5.
- Janicki, D.A. 2014. The British blockade during World War I: the weapon of deprivation. *Inquiries*, 6(6). <http://www.inquiriesjournal.com/articles/899/the-british-blockade-during-world-war-i-the-weapon-of-deprivation> (11 Februarie 2021 geraadpleeg).
- Klare, M.T. 2020. A strategy for reducing the escalatory dangers of emerging technologies. *Arms Control Today*. <https://www.armscontrol.org/act/2020-12/features/strategy-reducing-escalatory-dangers-emerging-technologies> (12 Januarie 2021 geraadpleeg).
- Lautenschlager, K. 1986. The submarine in naval warfare, 1901–2001. *International Security*, 11(3):94–140.
- Layne, C. 2020. Coming storms: the return of great-power war. *Foreign Affairs*, 99(6):42–8.
- Lieber, K.A. en D.G. Press. 2017. The new era of counterforce: technological change and the future of nuclear deterrence. *International Security*, 41(4):9–49.
- . 2018. The new era of nuclear arsenal vulnerability. *Physics and Society*, 47(1):2–6.
- Lindsey, G.R. 1976. Tactical anti-submarine warfare: the past and the future. *The Adelphi Papers*, 16(122):30–9.
- Medcalf, R., K. Mansted, S. Frühling en J. Goldrick (reds.). 2019. *The future of the undersea deterrent: a global survey*. Acton: National Security College.
- Military-Today. 2020. Columbia class. http://www.military-today.com/navy/columbia_class.htm (15 Mei 2020 geraadpleeg).
- Mizokami, K. 2019. The Navy just ordered the “Orca,” an Extra-Large Unmanned Submarine by Boeing. *Popular Mechanics*, 14 Februarie. <https://www.popularmechanics.com/military/navy-ships/a26344025/navy-extra-large-unmanned-submarines-boeing/> (12 Junie 2019 geraadpleeg)
- . 2020. Rethinking the triad: Does a nuclear “dyad” make more sense? *Popular Mechanics*, 23 Februarie. <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a31046179/nuclear-triad/> (12 November 2020 geraadpleeg).
- Moe, B. 2003. The impact of the invention of the torpedo on the U.S. Navy. *Naval Undersea Warfare Center*, 1 September. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a498698.pdf> (18 Februarie 2021 geraadpleeg).
- National Oceanic and Atmospheric Administration. 2001. *The NOAA diving manual*. Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce.
- Naval History and Heritage Command. 2017. The submarine Turtle: naval documents of the Revolutionary War. <https://www.history.navy.mil/research/library/online-reading-room/title-list-alphabetically/s/submarine-turtle-naval-documents.html> (26 Februarie 2021 geraadpleeg).

- O'Rourke, R. 2020. Navy Columbia (SSBN-826) class ballistic missile submarine program: background and issues for Congress. *CRS Report*, 28 Julie. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R41129/182> (21 Augustus 2020 geraadpleeg).
- Osborn, K. 2019. This photo is dangerous: it could be the future of navy submarines. *The National Interest*, 24 Junie. <https://nationalinterest.org/blog/buzz/photo-dangerous-it-could-be-future-navy-submarines-63956> (12 Januarie 2020 geraadpleeg).
- Peck, M. 2020. New anti-torpedo decoys could give U.S. Navy submarines a fighting chance against Russia or China. *The National Interest*, 3 Februarie. <https://nationalinterest.org/blog/buzz/new-anti-torpedo-decoys-could-give-us-navy-submarines-fighting-chance-against-russia-or> (20 Februarie 2020 geraadpleeg).
- Roskill, S.W. 1956. *War at sea 1939–1945. Volume II: the period of balance*. London: HMSO.
- Sagan, S.D. en K.N. Waltz (reds.). 2013. *The spread of nuclear weapons: an enduring debate*. 3de uitgawe. New York, Londen: W.W. Norton.
- Sasgen, P. 2009. *Stalking the Red Bear: the true story of a U.S. Cold War submarine's covert operations against the Soviet Union*. New York: St. Martin's Press.
- Scott, R. 2020. SeaGuardian UAS performs first flight trials. *Janes Navy International*, 125(8):6.
- . 2021. CNO visit reveals ODIN-HELICAP laser weapon transition plan. *Janes Navy International*, 126(1):7.
- Skibba, R. 2020. The ripple effects of a space skirmish. *The Atlantic*, 12 Julie. <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2020/07/space-warfare-unregulated/614059/> (12 April 2021 geraadpleeg).
- Snyder, R., B. Pelopidas, K.A. Lieber en D.G. Press. 2019. New era or new error? Technology and the future of deterrence. *International Security*, 43(3):190–3.
- Taddiken, B. en K. Krock. 2021. 66 Years of undersea surveillance. *Naval History*, 35(1). <https://www.usni.org/magazines/naval-history-magazine/2021/february/66-years-undersea-surveillance> (11 Maart 2021 geraadpleeg).
- Tate, A. 2020. Research papers point to PLAN's next-gen submarine technologies. *Jane's Defence Weekly*, 57(17):4.
- Toti, W.J. 2014. The hunt for full-spectrum ASW. *Proceedings*, 140(6). <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2014/june/hunt-full-spectrum-asw> (5 Desember 2020 geraadpleeg).
- Vavasseur, X. en R. Scott. 2020. Quiet revolution: FREMM multi-mission frigates strengthen the backbone of France's surface fleet. *Janes Navy International*, 125(8):20–5.

Venter, A., S. Botha, L. du Plessis en M. Alberts. 2017. *Verklarende politieke woordeboek: tweetalige kernterme en -definisies in Politieke Wetenskap*. Kaapstad: Juta.

Waltz, K.N. 2013. More may be better. In Sagan en Waltz (reds.) 2013.

Wong, K. 2021. Lost in translation: growing number of Chinese-made underwater gliders discovered in Indonesian waters. *Janes Navy International*, 126(2):7–9.

Younger, S.M. 2010. *The bomb: a new history*. New York: HarperCollins.

Erkennung: Ek bedank die Suid-Afrikaanse Akademie vir Wetenskap en Kuns vir die finansiële ondersteuning van navorsing waarop hierdie artikel steun.

Eindnotas

¹ Hoewel die term “nuclear submarine” as “kernduikboot” in Afrikaans vertaal word, is ’n verdere onderskeid noodsaaklik. Die Engelse term “nuclear-powered attack submarine (SSN)”, wat dui op die aandrywingsbron van ’n duikboot (te wete, kernenergie), word vervolgens onderskei van “nuclear powered ballistic missile submarine” (Ship, Submersible, Ballistic, Nuclear (SSBN)), wat dui op die bewapening van die duikboot. Daar bestaan huidig geen onderskeid tussen “SSN” en “SSBN” in Afrikaans nie. ’n Meer noukeurige vertaling sal heet: kernaangedrewe aanvalsdrukboot (Aanvalsdrukboot, kernaangedrewe (AK)) vir die SSN en kernaangedrewe ballistiese missiedrukboot (Ballistiese Missiedrukboot, Kernaangedrewe (BMDK)) vir die SSBN. Die term *kerndrukboot* verwys na enige drukboot wat deur kernenergie aangedryf word.

² Die snorkel was op hierdie stadium nog nie vervolmaak en wyd in gebruik nie (Clark e.a. 2020:20).